

DIN EN 1993-1-11



ICS 91.010.30; 91.080.13; 93.040

Einsprüche bis 2024-03-12
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1993-1-11:2010-12**Entwurf****Eurocode 3 –
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-11: Zugglieder;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-1-11:2024**

Eurocode 3 –
Design of steel structures –
Part 1-11: Tension components;
German and English version prEN 1993-1-11:2024

Eurocode 3 –
Calcul des structures en acier –
Partie 1-11: Éléments tendus;
Version allemande et anglaise prEN 1993-1-11:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-01-12 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 174 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-11:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) 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.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (SpA zu CEN/TC 250/SC 3, ISO/TC 167/SC 1)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

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

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 1993-1-11:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) technische Überarbeitung des Normeninhalts;
- b) komplette redaktionelle Überarbeitung.

<i>Titel de:</i>	Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Zugglieder
<i>Titel en:</i>	Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-11: Tension components
<i>Titel fr:</i>	Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-11: Éléments tendus

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
0 Einleitung	6
0.1 Einleitung zu den Eurocodes	6
0.2 Einleitung zu der Normenreihe EN 1993	6
0.3 Einleitung zu EN 1993-1-11	8
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen	8
0.5 Nationaler Anhang zu EN 1993-1-11	8
1 Anwendungsbereich	10
1.1 Anwendungsbereich von EN 1993-1-11	10
1.2 Voraussetzungen	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe und Formelzeichen	11
3.1 Begriffe	11
3.1.1 Bauteile und Elemente	11
3.1.2 Werkstoffeigenschaften	12
3.1.3 Herstellung und Einbau	13
3.2 Formelzeichen	13
3.2.1 Allgemeines	13
3.2.2 Auf lateinischen Großbuchstaben basierende Formelzeichen	13
3.2.3 Auf lateinischen Kleinbuchstaben basierende Formelzeichen	14
3.2.4 Auf griechischen Großbuchstaben basierende Formelzeichen	15
3.2.5 Auf griechischen Kleinbuchstaben basierende Formelzeichen	15
3.3 Gruppen	16
4 Grundlagen der Tragwerksplanung	17
4.1 Allgemeine Regeln	17
4.1.1 Grundlegende Anforderungen	17
4.1.2 Tragwerkszuverlässigkeit	17
4.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen	17
4.3 Einwirkungen	18
4.3.1 Eigengewicht von Zuggliedern	18
4.3.2 Windeinwirkungen	18
4.3.3 Eislasten	18
4.3.4 Temperatureinwirkungen	18
4.3.5 Vorspannung	18
4.3.6 Austausch und plötzlicher Ausfall von Zuggliedern	18
4.3.7 Ermüdungsbeanspruchungen	19
4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	19
5 Werkstoffe	21
5.1 Allgemeines	21
5.2 Zuelemente der Gruppe A	21
5.2.1 Nennzugfestigkeit und Nennstreckgrenze	21
5.2.2 Elastizitätsmodul	22
5.2.3 Kriechen und Relaxation	22
5.3 Zuelemente der Gruppe B	22
5.3.1 Nennzugfestigkeit von Stahldrähten	22

5.3.2	Verformungsmodul.....	23
5.3.3	Kriechen und Relaxation	23
5.3.4	Reibbeiwerte.....	24
5.4	Zugelemente der Gruppe C	24
5.4.1	Nennzugfestigkeit von Stahldrähten und -litzen	24
5.4.2	Elastizitätsmodul.....	24
5.4.3	Kriechen und Relaxation	25
5.4.4	Reibbeiwerte.....	25
6	Dauerhaftigkeit.....	25
7	Tragwerksberechnung.....	26
7.1	Allgemeines	26
7.2	Nichtlineare Wirkungen infolge Verformungen	26
7.3	Nichtlineare Berechnung.....	26
7.4	Dynamische Berechnung.....	27
7.5	Aerodynamische Instabilität.....	28
8	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	28
8.1	Allgemeines	28
8.2	Zugglieder der Gruppe A.....	28
8.2.1	Zugstabsystem aus Baustahl oder nichtrostendem Stahl.....	28
8.2.2	Zugstabsystem aus Betonstahl oder Spannstahl	29
8.3	Zugglieder der Gruppe B.....	29
8.4	Zugglieder der Gruppe C.....	31
8.5	Sättel.....	32
8.5.1	Allgemeines	32
8.5.2	Zugglieder der Gruppe B.....	32
8.5.3	Zugglieder der Gruppe C.....	35
8.6	Klemmen.....	38
8.6.1	Allgemeines	38
8.6.2	Verhinderung des Rutschens von Klemmen	39
8.6.3	Querpressung	42
9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	43
10	Ermüdung.....	43
10.1	Allgemeines	43
10.2	Verankerungen	43
10.3	Zugelemente.....	44
11	Versuche	46
Anhang A (normativ) Produkt- und Versuchsanforderungen an Zugglieder		47
A.1	Anwendung dieses Anhangs.....	47
A.2	Anwendungsbereich und Geltungsbereich.....	47
A.3	Zugglieder der Gruppe A.....	47
A.3.1	Anforderungen an das Zugglied	47
A.3.2	Versuchsanforderungen	47
A.4	Zugglieder der Gruppe B.....	50
A.4.1	Anforderungen an das Zugglied	50
A.4.2	Versuchsanforderungen	51
A.4.3	Vorrecken.....	56
A.4.4	Markieren und Ablängen.....	56
A.5	Zugglieder der Gruppe C.....	56
A.5.1	Anforderungen an das Zugglied	56
A.5.2	Versuchsanforderungen	58
Anhang B (informativ) Glossar		67

B.1	Anwendung dieses Anhangs	67
B.2	Anwendungsbereich und Geltungsbereich	67
B.3	Zugglieder der Gruppe A.....	68
B.3.1	Zugglieder.....	68
B.3.2	Zugelemente	69
B.3.3	Verankerungen.....	70
B.4	Zugglieder der Gruppe B.....	71
B.4.1	Zugglieder.....	71
B.4.2	Zugelemente	72
B.4.3	Verankerungen.....	74
B.5	Zugglieder der Gruppe C	76
B.5.1	Zugglieder.....	76
B.5.2	Zugelemente	77
B.5.3	Verankerungen.....	78
B.6	Paralleldraht-Zugglieder der Gruppe D für Hängekonstruktionen.....	79
B.6.1	Zugglieder.....	79
B.6.2	Zugelemente	80
B.6.3	Verankerungen.....	80
Anhang C (normativ) Zusätzliche Regeln für Zugglieder mit parallelen Drähten für Hängekonstruktionen (Gruppe D)		81
C.1	Anwendung dieses Anhangs	81
C.2	Anwendungsbereich und Geltungsbereich	81
C.3	Werkstoffe.....	81
C.3.1	Nennzugfestigkeit von Stahldrähten	81
C.3.2	Elastizitätsmodul.....	82
C.4	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	82
C.4.1	Allgemeines	82
C.4.2	Zugelement	82
C.4.3	Sättel.....	82
C.4.4	Klemmen.....	84
Literaturhinweise.....		87

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-11:2024) 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 wird EN 1993-1-11:2006 und deren Berichtigungen 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.

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 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 der Normenreihe EN 1993

(1) Die Normenreihe EN 1993 gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwerken aus Stahl. Sie entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken* enthalten sind.

(2) Die Normenreihe EN 1993 behandelt ausschließlich Anforderungen an die Beanspruchbarkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand von Tragwerken aus Stahl. Andere Anforderungen, wie z. B. Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht berücksichtigt.

(3) Die Normenreihe EN 1993 ist in folgende Teile unterteilt:

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: Stahlbrücken*

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*

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: Bemessung von Sandwich-Elementen*

(4) EN 1993-1 existiert nicht als ein physisches Dokument, sondern besteht aus den folgenden 14 gesonderten Teilen, 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 Hohlprofile 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: Aus Blechen zusammengesetzte Bauteile unter Querlasten*

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 Stahlsorten bis S700*

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*

(5) Alle Teile von EN 1993-1-2 bis EN 1993-1-14 behandeln allgemeine Themen, die unabhängig von der Art des Bauwerks sind, wie die Tragwerksbemessung für den Brandfall, ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche, ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen, plattenförmige Bauteile usw.

(6) Alle Teile von EN 1993-2 bis EN 1993-7 behandeln Themen, die für eine bestimmte Bauwerksart relevant 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 in EN 1993-1 und ergänzen, ändern oder ersetzen diese.

0.3 Einleitung zu EN 1993-1-11

EN 1993-1-11 enthält, ergänzend zu anderen Teilen von EN 1993, Regeln für die Bemessung von Zuggliedern aus Stahl für die Verwendung in Bauwerken aus Stahl oder anderen Materialien, wie z. B. Stahlbeton, Stahl-Beton-Verbund und Holz.

EN 1993-1-11 ist für die Anwendung durch

- Normenausschüsse, in denen für die Bemessung maßgebende Produkt-, Prüf- und Ausführungsnormen erarbeitet werden;
- Bauherren (z. B. bei der Formulierung ihrer spezifischen Anforderungen);
- Tragwerksplaner und Ausführende;
- zuständige Behörden gedacht.

Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte und andere Zuverlässigkeitsparameter werden als Richtwerte empfohlen, die zu einem annehmbaren Niveau der Zuverlässigkeit führen. Sie wurden unter der Voraussetzung gewählt, dass ein angemessenes Niveau der Bauausführung und des Qualitätsmanagements gegeben 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 Verfahrensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen angewendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Verfahrensweise 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 1993-1-11

Nationale Festlegungen zu dieser Norm sind dann erlaubt, wenn diese im Rahmen von Anmerkungen ausdrücklich gestattet sind. Zu den nationalen Festlegungen gehört die Auswahl von Werten für die national festzulegenden Parameter (NDPs, en: Nationally Determined Parameters).

Die jeweilige Nationale Norm zur Umsetzung von EN 1993-1-11 kann einen Nationalen Anhang mit allen nationalen Festlegungen enthalten, die für den Entwurf und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, so ist der in dieser Norm angegebene Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und kein Standardwert in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden oder, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, können die betroffenen Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung treffen.

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-1-11 im Rahmen von Anmerkungen zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4.3.6(1)	4.3.6(3)	4.4(3)	5.2.1(2)
5.3.1(2)	5.4.1(2)	8.2.2(1)	8.3(1)
8.4(1)	8.5.2.2(1)	8.5.3.2(1)	8.6.2(1)
10.3(1)	11(1)	C.3.1(1)	C.4.2(1)
C.4.3.2(1)	C.4.4.1(1)		

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-1-11 bezüglich der Anwendung des folgenden informativen Anhangs gestattet:

Anhang B

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 1993-1-11

(1) EN 1993-1-11 enthält, ergänzend zu anderen Teilen von EN 1993, Regeln für die Bemessung und Konstruktion von Zuggliedern aus Stahl für die Verwendung in Tragwerken aus Stahl oder anderen Werkstoffen, wie z. B. Stahlbeton, Stahl-Beton-Verbund und Holz.

(2) EN 1993-1-11 behandelt die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Zuggliedern aus Stahl.

(3) Die folgenden Punkte/Aspekte fallen nicht in den Anwendungsbereich von EN 1993-1-11:

- vorgespannte Systeme mit oder ohne Verbund nach EN 1992-1-1 und EN 1992-2;
- Betonstahl als Teil eines Betontragwerks nach EN 1992-1-1;
- Zugglieder bei Pfählen und Spundwänden;
- detaillierte Bemessung von Verankerungen.

1.2 Voraussetzungen

(1) Sofern nicht ausdrücklich angegeben, gelten EN 1990, EN 1991 und Normenreihe EN 1993-1.

(2) Die in EN 1993-1-11 angegebenen Bemessungsverfahren sind anwendbar, wenn:

- die Ausführungsqualität EN 1090-2 entspricht; und
- die verwendeten Baustoffe und Produkte den maßgebenden Teilen der Normenreihe EN 1993 oder den maßgebenden Werkstoff- und Produktspezifikationen entsprechen.

(3) EN 1993-1-11 wird in Verbindung mit ENs, EADs und ETAs für Zugglieder angewendet.

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 Im Literaturverzeichnis sind weitere zitierte Dokumente aufgelistet, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „Sollte(n)“-Abschnitte) und Erlaubnisse (d. h. durch „Darf/Dürfen“-Abschnitte) oder Möglichkeiten (durch „Kann/Können“-Abschnitte) 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 1990:2023¹, *Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*

¹ Geändert durch EN 1990:2023/prA1:2024.

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

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

3 Begriffe und Formelzeichen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1 Bauteile und Elemente

3.1.1.1

Zugglied

Zugelement mit Verankerungen, gegebenenfalls einschließlich Zubehör (z. B. Korrosionsschutz, Führungselement, ...)

3.1.1.2

Zugelement

Bauteil zur Übertragung von Zugkräften von einer Verankerung zur anderen

3.1.1.3

Verankerung

Bauteil zur Übertragung von Zugkräften aus dem Zugelement in das Tragwerk oder in axial verbundene Zugelemente

3.1.1.4

Stab

runder Vollstab aus Baustahl, nichtrostendem Stahl, Betonstahl oder Spannstahl

3.1.1.5

Draht

Erzeugnis, das durch Kaltverformung von Walzdraht gewonnen wird, das sich in einem für die Kaltverformung geeigneten metallurgischen Zustand befindet

3.1.1.6

Litze

Erzeugnis, das aus einer Anordnung von Drähten mit geeignetem Querschnitt und Abmessungen besteht, die spiralförmig lagenweise gleichgerichtet oder gegengerichtet um einen Kerndraht gelegt sind

3.1.1.7

siebendrähtige Litze

Erzeugnis, das aus sechs kaltgezogenen Drähten besteht, die spiralförmig in derselben Richtung und mit derselben Schlaglänge um einen Kerndraht gelegt sind

3.1.1.8

Spiralseil

Erzeugnis, das aus mindestens zwei Drahtlagen besteht, die spiralförmig um einen Kerndraht gelegt sind

3.1.1.9

offenes Spiralseil

OSS

Erzeugnis, das nur aus runden Drähten besteht

3.1.1.10

Rundlitzenseil

Erzeugnis aus mehreren Litzen, die spiralförmig in einer oder mehreren Lagen um einen Kern (einlagiges Seil) oder ein Zentralstück (drillfreies oder parallel geschlossenes Seil) gelegt sind

3.1.1.11

vollverschlossenes Spiralseil

VVS

Erzeugnis, das aus einem Kerndraht und aus einer oder mehreren Lagen von Runddrähten, die um diesen Kerndraht gelegt sind, sowie einer oder mehreren Lagen von Profildrähten in abwechselnder Richtung besteht

3.1.1.12

Paralleldrahtbündel

PWS

Erzeugnis, das aus einem Bündel paralleler Spanndrähte mit Verankerungen besteht

3.1.1.13

Litzenbündelseil

LBS

Erzeugnis, das aus einem Bündel von parallelen siebendräftigen Litzen mit Verankerungen besteht

3.1.1.14

vorgefertigte parallele Drahtlitze

PPWS

Erzeugnis, das aus einem Bündel paralleler hochfester Stahldrähte mit Verankerungen besteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die parallelen Drähte in jedem PPWS werden üblicherweise mit Hilfe von speziellen Bändern zu einer sechseckigen Form zusammengefügt. Mehrere PPWS werden üblicherweise zu einem kreisförmigen Querschnitt zusammengefügt und in eine runde Form gepresst, die mit einem unlegierten Stahldraht umwickelt wird.

3.1.1.15

luftgesponnenes Bündel

durch Luftspinnen von parallelem hochfestem Draht hergestelltes Zugelement

Anmerkung 1 zum Begriff: Üblicherweise werden mehrere Bündel in eine runde Form gepresst und mit einem unlegierten Stahldraht umwickelt.

3.1.1.16

Sattel

Auflager zwischen einem durchlaufenden Zugelement und dem Tragwerk, das Umlenkkräfte überträgt

3.1.1.17

Klemme

Element, das die Last von einem sekundären Zugelement auf ein durchlaufendes Zugelement überträgt

3.1.2 Werkstoffeigenschaften

3.1.2.1

Verformungsmodul

Axiale Verformungseigenschaft von Zugelementen, die eine Kombination aus dem Drahtmodul und der geometrischen Anordnung der Drähte sein kann, wenn diese in Spiralen angeordnet sind

3.1.2.2

Kriechen

zeitabhängige Verlängerung (Dehnung) von Zugelementen unter konstanter Spannung

3.1.2.3

Relaxation

zeitabhängiger Abbau von Spannungen in Zugelementen unter konstanter Dehnung

3.1.3 Herstellung und Einbau

3.1.3.1

Vorrecken

mehrere Belastungszyklen, die im Rahmen des Herstellungsprozesses auf ein Spiralseil aufgebracht werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Vorrecken beseitigt die anfängliche bleibende Verlängerung und macht das Seil linear elastisch.

3.1.3.2

Vorspannen

Vorgang des Spannsens eines Zugglieds durch das Aufbringen einer kontrollierten Verformung oder einer kontrollierten Kraft

3.2 Formelzeichen

3.2.1 Allgemeines

(1) Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Formelzeichen.

3.2.2 Auf lateinischen Großbuchstaben basierende Formelzeichen

A_m	metallische Nennquerschnittsfläche des Zugelements
E	Elastizitätsmodul des im Zugelement verwendeten Stahls
E_{d1}	Bemessungswert der Schnittgröße, wenn alle Zugglieder intakt sind
E_{d2}	Bemessungswert der Schnittgröße bei ausgefallenem Zugglied
E_d	Bemessungswert der Schnittgröße beim plötzlichen Ausfall des Zugglieds (der Zugglieder)
E_Q	Verformungsmodul von Zugelementen der Gruppe B
E_t	effektiver Elastizitätsmodul des Zugelements
$F_{c,min}$	rechnerische Mindestbruchkraft des Zugelements
F_{Ed}	Bemessungswert der Zugkraft im Zugelement
$F_{Ed }$	zum Zugelement parallele Komponente der äußeren Belastung
$F_{Ed\perp}$	zum durchlaufenden Zugelement rechtwinklige Komponente der äußeren Belastung
F_{frict}	beim Klemmen-Rutschversuch gemessene Reibungskraft
F_m	charakteristischer Wert der Bruchkraft des Spannstahls
$F_{p0,1}$	charakteristischer Wert der Zugkraft bei der 0,1-%-Dehngrenze des Spannstahls
$F_{p,C}$	Vorspannkraft für eine Schraube
F_{Rd}	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Zugelements
F_r	Klemmkraft
F_{ri}	Anfangsklemmkraft, die der über alle Schrauben aufsummierten Anfangsvorspannkraft entspricht
$F_{r }$	beim Klemmen-Rutschversuch gemessene Reibungskraft
F_{uk}	charakteristischer Wert der Bruchkraft des Zugelements

F_{yk}	charakteristischer Wert der Dehngrenze des Zugelements
L_1	gesamte Bogenlänge des Sattels
L_2	Bogenlänge des Sattels zwischen den beiden theoretischen Tangentenpunkten des Zugelements unter der ungünstigsten charakteristischen Kombination von Einwirkungen und Durchhang
L_{clamp}	Kontaktlänge der Klemme
L_h	horizontale Projektionslänge des Zugglieds von einer Verankerung zur anderen
N	Schwingenzahl während der geplanten Nutzungsdauer
N^*	Bezugswert für die Schwingenzahl für den Ermüdungswiderstand $\Delta\sigma^*$
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Schwingenzahl
P	Verbundumfang
P_k	charakteristischer Wert der Vorspannung
R	Krümmungsradius des Zugelements im Inneren des Sattels
R_{min}	kleinster Krümmungsradius des Sattels bei Zuggliedern der Gruppe C

3.2.3 Auf lateinischen Kleinbuchstaben basierende Formelzeichen

d	Nenn Durchmesser des Seils, des Drahtes oder der Litze
d'	Kontaktbreite des Seils
f_{bpd}	Verbundfestigkeit zwischen Litzen und Verpressmaterial oder zwischen Verpressmaterial und Sattelrohr im Grenzzustand der Tragfähigkeit
f_{ctd}	Bemessungswert der Zugfestigkeit des Verpressmaterials
f_{pk}	Charakteristischer Wert der Zugfestigkeit von Spannstahl
f_t	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit von Betonstahl
f_{uk}	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit von Stahldrähten oder (Spann-)Litzen
f_{yk}	charakteristischer Wert der 0,2-%-Dehngrenze des Betonstahls
n_w	Anzahl der einzelnen Drähte oder Litzen, die über den Sattel geführt werden
n_b	Anzahl der Schrauben einer Klemme
n_s	Anzahl der zur Scherkraftübertragung aktivierten Flächen
n_{sl}	Anzahl der Litzenlagen bei einem Sattel des Typs 2 bei Zuggliedern der Gruppe C
k	Faktor zur Berücksichtigung der dynamischen Auswirkung beim plötzlichen Ausfall eines Zugglieds (von Zuggliedern)
m_1, m_2	Neigungen der Ermüdungswiderstandskurve
k_b	Biegefaktor zur Berücksichtigung von Maßnahmen zur Minimierung der Biegespannungen des Zugelements an der Verankerung
$k_{c,s}$	Klemmkraftbeiwert zur Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen Schraubkraft und der für jede Fläche aufintegrierten Kontaktpressung zwischen Klemme und Zugelement
k_e	Verlustfaktor für die Verankerung
$k_{ef,s}$	äußerer Belastungsbeiwert
k_F	Einflussfaktor für Maßnahmen zur Abgrenzung der Zuverlässigkeit

$k_{p,B}$	Phasenfaktor zur Berücksichtigung der Bemessungssituation für Zugglieder der Gruppe B
$k_{p,C}$	Phasenfaktor zur Berücksichtigung der Bemessungssituation für Zugglieder der Gruppe C
k_r	Beiwert für die Verringerung der Schraubenkraft aufgrund von Langzeiteffekten
q_{Ed}	Querpressung aufgrund der Klemmkraft
q_{lim}	Grenzwert der Querpressung für Klemmen und Sättel
r_1	Radius des Sattels an der Kontaktfläche mit dem Zugelement
r_2	Ausrundungsradius an den Sattelenden
w	Einheitslast des Zugelements

3.2.4 Auf griechischen Großbuchstaben basierende Formelzeichen

ΔE_d	zusätzliche dynamische Wirkung beim plötzlichen Ausfall des Zugglieds (der Zugglieder)
ΔL_2	zusätzliche Bogenlänge des Sattels
$\Delta \alpha$	vorgegebene Verdrehung des Zugelements beim Versuch
$\Delta \sigma$	Spannungsschwingbreite
$\Delta \sigma^*$	Bezugswert des Ermüdungswiderstands bei N^* Schwingspielen
$\Delta \sigma_c$	Bezugswert des Ermüdungswiderstands bei $N_c = 2$ Millionen Schwingspielen (Kerbfall)
$\Delta \sigma_{Ed}$	Bemessungswert für die aufgebrachte Spannungsschwingbreite nach EN 1993-1-9
$\Delta \sigma_t$	axiale Spannungsschwingbreite beim Probekörper
ΔT	Temperaturwechsel des Probekörpers

3.2.5 Auf griechischen Kleinbuchstaben basierende Formelzeichen

α	Bogenwinkel, im Bogenmaß, zwischen theoretischen Tangentenpunkten (Umlenkwinkel) des über den Sattel verlaufenden Zugelements
γ_E	Teilsicherheitsbeiwert für Schnittgrößen, der die durch γ_f und γ_{Rd} abgedeckten Unsicherheiten berücksichtigt
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen, der die durch γ_f und γ_{Rd} abgedeckten Unsicherheiten berücksichtigt
γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen
$\gamma_{G,fav}$	Teilsicherheitsbeiwert für eine ständige Einwirkung, die günstige Auswirkungen hat
γ_{Mf}	Teilsicherheitsbeiwert für den Ermüdungswiderstand
$\gamma_{M,fr,B1}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe B und dem Sattel die sich aus der Umlenkkraft des Zugelements ergibt
$\gamma_{M,fr,B2}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe B und einer Klemme oder einem Sattel, die sich aus der Klemmkraft ergibt
$\gamma_{M,fr,B3}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe B und einer Klemme, die sich aus der zum durchlaufenden Zugelement rechtwinkligen Komponente der äußeren Belastung ergibt
$\gamma_{M,fr,B4}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe B und einer Klemme, die sich aus der Klemmkraft ergibt

$\gamma_{M,fr,C1}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe C und dem Sattel, die sich aus der Umlenkkraft des Zugelements ergibt
$\gamma_{M,fr,D1}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe D und dem Sattel, die sich aus der Umlenkkraft des Zugelements ergibt
$\gamma_{M,fr,D3}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe D und einer Klemme, die sich aus der zum durchlaufenden Zugelement rechtwinkligen Komponente der äußeren Belastung ergibt
$\gamma_{M,fr,D4}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe D und einer Klemme, die sich aus der Klemmkraft ergibt
$\gamma_{Mt,A}$	Teilsicherheitsbeiwert für Zugelemente der Gruppe A
$\gamma_{Mt,B}$	Teilsicherheitsbeiwert für Zugelemente der Gruppe B
$\gamma_{Mt,C}$	Teilsicherheitsbeiwert für Zugelemente der Gruppe C
$\gamma_{Mt,D}$	Teilsicherheitsbeiwert für Zugelemente der Gruppe D
γ_{PT}	Teilsicherheitsbeiwert für die Vorspannung des Zugglieds
$\gamma_{PT,fav}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Vorspannung des Zugglieds, der günstige Wirkungen erzeugt
γ_s	Teilsicherheitsbeiwert für Baustahl oder Spannstahl
μ	Reibbeiwert
η_{p2}	Beiwert, der die Art des Spannglieds und die Verbundbedingungen am Sattel berücksichtigt
σ	Spannung im Zugelement
σ_{cst}	konstante Axialspannung des Probekörpers
σ_{max}	größte Axialspannung des Probekörpers
σ_{min}	kleinste Axialspannung des Probekörpers
$\sigma_{sup,Cd}$	größte Spannung in Abhängigkeit vom Kerbfall
$\sigma_{sup,Ed}$	größte Spannung, die durch die häufigen Einwirkungskombinationen verursacht wird
$\sigma_{u,k}$	charakteristischer Wert der Bruchfestigkeit des für das Zugelement verwendeten Stahls

3.3 Gruppen

(1) Die Zugglieder werden nach Tabelle 3.1 in die Gruppen A, B und C eingeteilt.

Tabelle 3.1 — Gruppen von Zuggliedern

Gruppe	Zugelement	Zugglied
A	Stab aus Baustahl oder nichtrostendem Stahl	Zugstabsystem aus Baustahl oder nichtrostendem Stahl
	Stab aus Betonstahl	Zugstabsystem aus Betonstahl
	Stab aus Spannstahl	Zugstabsystem aus Spannstahl
B	Seil aus Runddrähten	offenes Spiralseil (mit Endverbindungen): OSS
	Seil aus Runddrähten und Rundlitzen	Litzenseil (mit Endverbindungen): IWRC oder WSC

Gruppe	Zugelement	Zugglied
	Seil aus Runddrähten und Z-förmigen Drähten	vollverschlossenes Spiralseil (mit Endverbindungen): VVS
C	Bündel aus parallelen Runddrähten	Paralleldrahtbündel: PWS
	Bündel aus parallelen siebendräftigen (Vorspann-)Litzen	Litzenbündelseil: LBS

ANMERKUNG 1 Darüber hinaus sind Zugglieder der Gruppe D in Anhang C „Zusätzliche Regeln für Zugglieder mit parallelen Drähten für Hängekonstruktionen“ festgelegt.

ANMERKUNG 2 Beispiele für Zugglieder der Gruppen A, B, C und D sind in Anhang B dargestellt.

(2) Für die Bemessung von Zuggliedern der Gruppe D mit parallelen Drähten (d. h. für Hängebrücken und andere Hängekonstruktionen) werden die in Anhang C (normativ) enthaltenen zusätzlichen Vorgaben angewendet.

(3) Für Zugstäbe als Hänger von Stabbogenbrücken sollten zusätzlich die Regeln aus prEN 1993-2:2024, Anhang A angewendet werden.

4 Grundlagen der Tragwerksplanung

4.1 Allgemeine Regeln

4.1.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Die Bemessung von Zuggliedern muss in Übereinstimmung mit den in EN 1990:2023 und in der Normenreihe EN 1991 angegebenen allgemeinen Regeln und den in den anderen maßgebenden Teilen der Normenreihe EN 1993-1 angegebenen speziellen Bemessungsvorschriften für Stahlbauten erfolgen.

(2) Nach diesem Dokument bemessene Zugglieder müssen nach EN 1090-2 ausgeführt werden.

(3) Für die nach diesem Dokument bemessenen Zugglieder sind Werkstoffe und Produkte zu verwenden, die in den maßgebenden Teilen von EN 1993 oder in den maßgebenden Werkstoff- und Produktspezifikationen festgelegt sind.

4.1.2 Tragwerkszuverlässigkeit

(1) Es gelten die in EN 1993-1-1 angegebenen Regeln.

4.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen

(1) Bei der Bemessung von Zuggliedern sind die folgenden Grenzzustände zu berücksichtigen:

- 1) Grenzzustände der Tragfähigkeit (ULS): Die aufgebrachten Axiallasten dürfen den Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit nach Abschnitt 8 nicht überschreiten.

Ermüdungsspannungsschwingbreiten aus axialer Belastung dürfen die Grenzwerte nach Abschnitt 10 nicht überschreiten.

Schnittgrößen aus Querbelastrung sind durch geeignete konstruktive Durchbildung nach Abschnitt 8 und Abschnitt 10 zu berücksichtigen.

- 2) Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS): Das Spannungsniveau und die Verformung des Zugglieds müssen Abschnitt 9 entsprechen.

4.3 Einwirkungen

4.3.1 Eigengewicht von Zuggliedern

- (1) Der charakteristische Wert des Eigengewichts von Zuggliedern sollte anhand ihrer Geometrie und der Dichte der Werkstoffe, gegebenenfalls einschließlich Korrosionsschutzsystem und Hüllrohr, ermittelt werden.
- (2) Für Zugelemente der Gruppe B dürfen die Angaben zum Eigengewicht EN 12385-2, EN 12385-4 und EN 12385-10 entsprechen.

4.3.2 Windeinwirkungen

- (1) In die Windauswirkungen sollte Folgendes einbezogen werden:
- die Auswirkungen der Windbelastung auf das Zugglied nach EN 1991-1-4, einschließlich Verformungen und Biegewirkungen in der Nähe der Enden des Zugglieds;
 - aerodynamische und andere Erregungen, die zu möglichen Schwingungen der Zugglieder führen, in Übereinstimmung mit 7.4 und 7.5 sowie EN 1991-1-4.

4.3.3 Eislasten

- (1) Die Eislasten sollten EN 1991-1-9 entsprechen.

4.3.4 Temperatureinwirkungen

- (1) Die Temperatureinwirkungen nach EN 1991-1-5 sollten Temperaturänderungen und die Auswirkungen von Temperaturunterschieden zwischen den Zuggliedern und dem Tragwerk umfassen.

4.3.5 Vorspannung

- (1) Das Vorspannen eines Zugglieds sollte entweder durch Aufbringen einer kontrollierten Verformung oder einer kontrollierten Kraft erfolgen.
- (2) Der Bemessungswert der Vorspannung darf auf dem charakteristischen Wert der Vorspannkraft P_k nach EN 1990:2023, 6.1.3, basieren.

4.3.6 Austausch und plötzlicher Ausfall von Zuggliedern

- (1) Falls erforderlich, sollte der Austausch eines Zugglieds bei der Bemessung als vorübergehende Bemessungssituation berücksichtigt werden. Für Tragwerke unter Ermüdungseinwirkung oder für Tragwerke mit einer angenommenen Nutzungsdauer, die die Lebensdauer des Zugglieds selbst übersteigt, wird empfohlen, derartige Lastfälle zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Die vorübergehenden Bemessungssituationen können durch den Nationalen Anhang festgelegt werden.

- (2) Falls erforderlich, sollte der plötzliche Ausfall von Zuggliedern bei der Bemessung als außergewöhnliche Bemessungslastkombination berücksichtigt werden.

ANMERKUNG EN 1990 enthält zusätzliche Informationen über den plötzlichen Ausfall von Zuggliedern und Robustheitskriterien.

(3) Die dynamische Auswirkung beim plötzlichen Ausfall der relevanten Zuelemente im Tragwerk sollte auf der Grundlage von Erfahrungen, nichtlinearen dynamischen Zeitverlaufsrechnungen oder Messungen festgelegt werden, wie von der zuständigen Behörde vorgegeben oder, falls nicht vorgegeben, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den Beteiligten vereinbart wurde.

(4) Liegt keine dynamische Zeitverlaufsrechnung vor, so darf die dynamische Wirkung im Tragwerk, ΔE_d , durch einen dynamischen Faktor k berücksichtigt werden, der auf die Differenzschnittgröße angewendet wird, die sich aus dem Wegfall des (der) betreffenden Zuelements (Zuelemente) ergibt.

ANMERKUNG 1 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Wert von k 2,0.

ANMERKUNG 2 Ein niedrigerer k -Faktor kann aufgrund von Erfahrungen, nichtlinearer dynamischer Zeitverlaufsrechnung oder Messungen festgelegt werden.

(5) Die Berechnung darf durch Aufbringen entgegengesetzter Kräfte, einschließlich der dynamischen Verstärkung, an beiden Endpunkten des (der) ausgefallenen Zugglieds (Zugglieder) oder, im Falle eines linearen Systemverhaltens, durch Überlagerung der Bemessungswerte, einschließlich der dynamischen Verstärkung, nach den folgenden Gleichungen durchgeführt werden:

$$\Delta E_d = k (E_{d2} - E_{d1}) \quad (4.1)$$

$$E_d = E_{d1} + \Delta E_d \quad (4.2)$$

Dabei ist

ΔE_d die dynamische Auswirkung beim plötzlichen Ausfall des Zugglieds (der Zugglieder);

E_{d1} der Bemessungswert der Schnittgröße, wenn alle Zugglieder intakt sind;

E_{d2} der Bemessungswert der Schnittgröße bei ausgefallenem Zugglied (ausgefallenen Zuggliedern);

E_d der Bemessungswert der Schnittgröße beim plötzlichen Ausfall des Zugglieds (der Zugglieder);

k ein dynamischer Faktor.

4.3.7 Ermüdungsbeanspruchungen

(1) Ermüdungsbeanspruchungen in Zuggliedern resultieren aus Verkehrslasten und windbedingten oder anderweitig induzierten Schwingungen.

(2) Ermüdungsrelevante Einwirkungen durch Verkehr sollten EN 1991-2 entsprechen. Sie können veränderliche Längs- und Querbeanspruchungen und, bei Einspannung an einer Verankerung, Biegemomente verursachen. Biegemomente dürfen durch geeignete konstruktive Durchbildung reduziert werden.

(3) Ermüdungsrelevante Einwirkungen durch Wind sollten EN 1991-1-4 entsprechen. Windbedingte oder anderweitig induzierte Schwingungen verursachen in erster Linie veränderliche Querkräfte und Biegemomente.

4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

(1) Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mt} sollten Folgendem entsprechen:

— Abschnitt 8, außer für den Ermüdungsnachweis;

— EN 1993-1-9 für Ermüdungsnachweise.

(2) Bei ULS- und SLS-Nachweisen sollten die Einwirkungen Eigengewicht „G“ und Vorspannung „P“ in die maßgebenden Einwirkungskombinationen einbezogen werden.

(3) Bei ULS-Nachweisen sollte der Teilsicherheitsbeiwert γ_{PT} auf die Kräfte der Zuelemente angewendet werden.

ANMERKUNG Der Wert für den Teilsicherheitsbeiwert γ_{PT} ist in Tabelle 4.1 für den Fall angegeben, dass im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind.

- Wenn eine direkte Korrelation zwischen der Spannung in den Zuelementen und dem Eigengewicht besteht (z. B. Hängebrücken oder Schrägseilbrücken), wird ein einziger Teilsicherheitsbeiwert γ_{PT} für „G + P“ ($\gamma_{PT} = \gamma_G$) mit γ_G und k_F nach EN 1990 angewendet.
- Wenn es keine Korrelation zwischen der Spannung in den Zuelementen und dem Eigengewicht gibt (z. B. Vorspannung, die gegen die Steifigkeit wirkt, die andere tragende Bauteile, wie z. B. Masten, Seilnetzfassaden, Speichenraddachkonstruktionen, dem Tragwerk verleihen), wird in Übereinstimmung mit EN 1990 ein Teilsicherheitsbeiwert γ_G auf „G“ und ein Teilsicherheitsbeiwert γ_{PT} auf „P“ angewendet. In Tabelle 4.1 sind Werte für qualifizierte Vorspannverfahren (ETA oder gleichwertig) oder in Kombination mit einer direkten Überwachung der Vorspannkräfte angegeben. Für andere Verfahren können Abweichungen erwogen werden.

Tabelle 4.1 (NDP) — Teilsicherheitsbeiwerte γ_{PT} (ständige und vorübergehende) Bemessungssituationen

Einwirkung oder Auswirkung				Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und γ_E		
Typ	Berechnung	Formelzeichen	Resultierende Auswirkung	Tragsicherheit	Lagesicherheit und Abheben	
Bemessungsfall (DC) ^e				DC1	DC2(a)	DC2(b)
a) Vorspannung korreliert mit dem Eigengewicht ($P_{k,G}$)	linear und nichtlinear	γ_{PT}	ungünstig	γ_G	γ_G	γ_G
		$\gamma_{PT,fav}$	günstig	$\gamma_{G,fav}$	$\gamma_{G,fav}$	$\gamma_{G,fav}$
b) Vorspannung gegen Steifigkeit (korreliert nicht mit dem Eigengewicht) ($P_{k,E}$)	linear ^b	γ_{PT}	ungünstig	1,0	1,1 k_F^d	1,0
		$\gamma_{PT,fav}$	günstig	1,0	0,9	1,0
	nichtlinear ^c	γ_{PT}	ungünstig	1,1 ^a k_F^d	1,1 k_F^d	1,0
		$\gamma_{PT,fav}$	günstig	0,9 ^a	0,9	1,0
^a Der Teilsicherheitsbeiwert berücksichtigt Schwankungen der Vorspannung bis $\pm 5\%$, die auf das Vorspannverfahren, das Markieren und das Ablängen (nach A.4.4) und/oder die Genauigkeit des Spannverfahrens und sowie des bei der Kraftmessung angewendeten Verfahrens zurückzuführen sind.						
^b i) γ_F nach EN 1990:2023, 8.3.2.1(3) bei der Anwendung von Faktoren auf Einwirkungen im Falle einer linearen Berechnung nach EN 1990:2023, 7.2.1 oder einer nichtlinearen Berechnung nach EN 1990:2023, 7.2.2. ii) γ_E nach EN 1990:2023, 8.3.2.1(4) bei der Anwendung von Faktoren auf Einwirkungen im Falle nichtlinearer Berechnung nach EN 1990:2023, 8.3.2.1(4).						
^c γ_F nach EN 1990:2023, 8.3.2.2 bei der Anwendung von Faktoren auf Einwirkungen im Falle nichtlinearer Berechnung nach EN 1990:2023, 7.2.2 und 8.3.2.1(4).						
^d k_F in Übereinstimmung mit EN 1990.						
^e Für die geotechnischen Bemessungsfälle SC3 und DC4 sollte den in EN 1990 angegebenen Auswahlmöglichkeiten gefolgt werden.						

(4) Die in Tabelle 4.1 angegebenen Auswahlmöglichkeiten sollten der in EN 1990:2023, 8.3.4.2(2), verwendeten Einwirkungskombination entsprechen.

5 Werkstoffe

5.1 Allgemeines

(1) Die charakteristischen Werte der Werkstoffeigenschaften für Zugelemente sollten 5.2, 5.3 und 5.4 entsprechen.

(2) Die charakteristischen Werte der Werkstoffeigenschaften für Verankerungen sollten den maßgebenden technischen Spezifikationen entnommen werden.

(3) Der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient sollte für Stahl EN 1993-1-1 und für andere Werkstoffe prEN 1991-1-5:2023, Anhang C, entnommen werden.

ANMERKUNG Die charakteristischen Werte werden auch als Nennwerte bezeichnet.

5.2 Zugelemente der Gruppe A

5.2.1 Nennzugfestigkeit und Nennstreckgrenze

(1) Die Nennwerte der Zugfestigkeit und der Streckgrenze sollten den in Tabelle 5.1 angegebenen Bezugsdokumenten entnommen werden.

Tabelle 5.1 — Nennzugfestigkeit und Nennstreckgrenze — Bezugsdokumente

Baustahl	EN 1993-1-1, EN 10343, EN 1993-1-8
Nichtrostender Baustahl	EN 1993-1-4
Gussstahl	EN 10340
Spannstahl	EN 1992-1-1, EN 10138-3
Betonstahl	EN 1992-1-1, EN 10080

(2) Aus Gründen der Dauerhaftigkeit sollte ein Höchstwert für die Nennzugfestigkeit angegeben werden.

ANMERKUNG Die Höchstwerte der Nennzugfestigkeit entsprechen den Werten in Tabelle 5.2, sofern im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind.

Tabelle 5.2 — (NDP) Nennzugfestigkeit: empfohlene Höchstwerte

Spannstahl	$f_{pk} = 1\,050\text{ N/mm}^2$
Betonstahl	$f_t = 600\text{ N/mm}^2$

(3) Bei der konstruktiven Durchbildung der Verankerungen von Zugelementen aus Spannstahl sollte berücksichtigt werden, dass Spannstahl eine geringere Duktilität als Betonstahl und Baustahl hat.

5.2.2 Elastizitätsmodul

(1) Der Wert des Elastizitätsmoduls sollte den in Tabelle 5.3 angegebenen Bezugsdokumenten entnommen werden. Für Spannstahl und Betonstahl handelt es sich um Empfehlungswerte. Genauere Werte dürfen den Herstellerangaben entnommen werden.

Tabelle 5.3 — Elastizitätsmodul E für Zuelemente der Gruppe A — Bezugsdokumente

Baustahl	nach EN 1993-1-1
Nichtrostender Baustahl	nach EN 1993-1-4
Spannstahl	nach EN 1992-1-1
Betonstahl	nach EN 1992-1-1

5.2.3 Kriechen und Relaxation

(1) Bei Zuggliedern der Gruppe A aus Spannstahl sollte(n) Kriechen und/oder Relaxation berücksichtigt werden, wenn die damit verbundene Längenzunahme und/oder der Kraftverlust von Bedeutung ist (sind).

(2) Kriechen und/oder Relaxation von Zuggliedern der Gruppe A darf (dürfen) außer Acht gelassen werden, wenn die durch die quasi-ständige Einwirkungskombination hervorgerufene Zugkraft höchstens 50 % von F_{uk} beträgt.

(3) Bei Zuggliedern der Gruppe A aus Spannstahl sollte, falls die durch die quasi-ständige Einwirkungskombination verursachte Zugkraft 50 % von F_{uk} überschreitet, EN 1992-1-1:2023, Anhang B, angewendet werden.

5.3 Zuelemente der Gruppe B

5.3.1 Nennzugfestigkeit von Stahldrähten

(1) Der Wert der Nennzugfestigkeit von Stahldrähten, f_{uk} , sollte den in Tabelle 5.4 angegebenen Bezugsdokumenten entnommen werden.

Tabelle 5.4 — Nennzugfestigkeit von Stahldrähten — Bezugsdokumente

Unlegierte Stahldrähte	EN 10264, Teil 1 bis Teil 3
Drähte aus nichtrostendem Stahl	EN 10264, Teil 1 und Teil 4

(2) Aus Gründen der Dauerhaftigkeit sollte ein Höchstwert für die Nennzugfestigkeit f_{uk} angegeben werden.

ANMERKUNG Die Höchstwerte für f_{uk} entsprechen Tabelle 5.5, sofern im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind.

Tabelle 5.5 — (NDP) Nennzugfestigkeit von Stahldrähten: empfohlene Höchstwerte

Runde Stahldrähte	1 770 N/mm ²
Z-förmige Stahldrähte	1 570 N/mm ²
Runde Drähte aus nichtrostendem Stahl	1 570 N/mm ²
Z-förmige Drähte aus nichtrostendem Stahl	1 350 N/mm ²

(3) Rundlitzenseile sollten EN 12385-4 entsprechen.

(4) Offene Spiralseile und vollverschlossene Spiralseile sollten EN 12385-10 entsprechen.

5.3.2 Verformungsmodul

(1) Der Verformungsmodul E_Q sollte als Elastizitätsmodul für die Tragwerksberechnung verwendet werden.

(2) Die in Tabelle 5.6 angegebenen Nennwerte des Verformungsmoduls E_Q dienen als erste Abschätzung.

Tabelle 5.6 — Nenn-Verformungsmodul E_Q für Zugelemente der Gruppe B

Zugelemente	E_Q N/mm ²	
	Stahldrähte	Drähte aus nichtrostendem Stahl
Seil aus Runddrähten	160 000 ± 10 000	130 000 ± 10 000
Seil aus Runddrähten und Rundlitzen	100 000 ± 10 000	90 000 ± 10 000
Seil aus Runddrähten und Z-förmigen Drähten	160 000 ± 10 000	130 000 ± 10 000

(1) Der tatsächliche Wert des Verformungsmoduls sollte gemessen werden. Hierfür sollte das in Anhang A beschriebene Messverfahren angewendet werden. Die Auswirkungen des tatsächlichen Wertes auf das Tragwerk sollten im Vergleich zu dem als erste Schätzung verwendeten Nennwert beurteilt werden.

(2) Für vollständig vorgereckte Zugglieder darf ein konstanter Verformungsmodul angenommen werden. Um eine vollständige Reckung der Zugglieder zu erreichen, sollte das in Anhang A beschriebene Verfahren angewendet werden.

(3) Nicht oder nur teilweise vorgereckte Zugglieder der Gruppe B weisen sowohl elastische als auch bleibende Verformungen auf, die zu berücksichtigen sind.

5.3.3 Kriechen und Relaxation

(1) Bei Zuggliedern der Gruppe B sollte(n) Kriechen und/oder Relaxation berücksichtigt werden, wenn die damit verbundene Längenzunahme und/oder der Kraftverlust von Bedeutung ist (sind).

ANMERKUNG Zugglieder der Gruppe B finden Verwendung sowohl in a) Bauteilen mit einem durch Eigengewicht verursachten Vorspannungszustand, bei dem hauptsächlich Kriechen auftritt, als auch in b) Bauteilen, die gegen die Steifigkeit anderer tragender Bauteile vorgespannt sind und bei denen daher hauptsächlich Relaxation auftritt. Bei Zuggliedern der Gruppe B werden üblicherweise Kriechversuche nach Anhang A durchgeführt. Die aus Kriechversuche abgeleiteten Kriechkennwerte können auch zur Berücksichtigung der Auswirkung der Relaxation herangezogen werden, sofern die Verringerung der Vorspannung 20 % nicht überschreitet.

(2) Die Kriechwerte sollten auf Versuchsergebnissen oder Daten ähnlicher Tragwerke basieren.

Im Falle vollständig vorgereckter, verzinkter, vollverschlossener Spiralseile beträgt ein typisches Ergebnis der Kriechversuch nach Anhang A 0,035 % nach 1 000 Stunden. Für längere Nutzungsdauern werden höhere Bemessungswerte empfohlen.

ANMERKUNG Nicht oder nur teilweise vorgereckte Seile haben einen höheren Kriechwert als vollständig vorgereckte Seile.

(3) Falls die Kriechdehnung durch Prüfungen nach Anhang A und Abschnitt 11 (z. B. im Rahmen des Qualitätskontrollplans) bestimmt wird, sollte sie die spezifisch für das betreffende Bauvorhaben geltenden Anforderungen (z. B. Vorreckzustand, Belastungen) widerspiegeln.

5.3.4 Reibbeiwerte

(1) Der Reibbeiwert sollte zur Berechnung der Reibungskraft zwischen dem Zugelement und den durch Klemmung mit diesem verbundenen Anbauteilen aus Stahl herangezogen werden.

(2) Die Werte für den Reibbeiwert dürfen auf Versuchsergebnissen oder Daten ähnlicher Tragwerke basieren.

(3) Die Versuche zur Bestimmung des Reibbeiwerts sollten nach Anhang A und Abschnitt 11 durchgeführt werden.

(4) Bei Spirallitzenseilen, die über Weichmetall oder thermisch gespritztes Zink nach 8.5.2.1(3) mit durch Klemmung verbundenen Anbauteilen aus Stahl in Berührung kommen, darf der Reibbeiwert ohne Versuch als $\mu = 0,1$ oder mit Bestätigung durch Eignungsversuche nach Tabelle 8.6 mit $\mu = 0,15$ angesetzt werden.

(5) Bei offenen Spiralseilen, die über Weichmetall oder thermisch gespritztes Zink nach 8.5.2.1 (3) mit durch Klemmung verbundenen Anbauteilen aus Stahl in Berührung kommen, darf der Reibbeiwert ohne Versuch als $\mu = 0,1$ angesetzt werden.

5.4 Zugelemente der Gruppe C

5.4.1 Nennzugfestigkeit von Stahldrähten und -litzen

(1) Für die Nennzugfestigkeit f_{uk} gelten die in Tabelle 5.7 angegebenen Bezugsdokumente.

Tabelle 5.7 — Nennzugfestigkeit von Stahldrähten und -litzen— Bezugsdokumente

Stahldrähte	EN 10138-1 ^a
Litzen	EN 10138-2
^a nur Relaxationsklasse R1	

(2) Aus Gründen der Dauerhaftigkeit sollte ein Höchstwert für die Nennzugfestigkeit f_{uk} angegeben werden.

ANMERKUNG Die Höchstwerte für f_{uk} entsprechen Tabelle 5.8, sofern im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind.

Tabelle 5.8 — (NDP) Nennzugfestigkeit von Stahldrähten und -litzen: empfohlene Höchstwerte

Stahldrähte	1 770 N/mm ²
Litzen	1 860 N/mm ²

5.4.2 Elastizitätsmodul

(1) Der Elastizitätsmodul für Zugelemente der Gruppe C darf in Übereinstimmung mit EN 10138-1 für Drähte und EN 10138-2 für Litzen Tabelle 5.9 entnommen werden. Alternativ dürfen die Werte auch den Herstellerangaben entnommen werden.

Tabelle 5.9 — Nenn-Elastizitätsmodul E für Zugelemente der Gruppe C

Zugelement	E N/mm²
Bündel aus parallelen Runddrähten	205 000
Bündel aus parallelen siebendräftigen (Vorspann-)Litzen	195 000 ± 10 000

5.4.3 Kriechen und Relaxation

(1) Bei Zuggliedern der Gruppe C sollte(n) Kriechen und/oder Relaxation berücksichtigt werden, wenn die damit verbundene Längenzunahme und/oder der Kraftverlust von Bedeutung ist (sind).

(2) Kriechen und/oder Relaxation von Zuggliedern der Gruppe C darf (dürfen) außer Acht gelassen werden, wenn die durch die quasi-ständige Einwirkungskombination hervorgerufene Zugkraft höchstens 50 % von F_{uk} beträgt.

(3) Falls die durch die quasi-ständige Einwirkungskombination verursachte Zugkraft 50 % von F_{uk} überschreitet, sollte EN 1992-1-1:2023, Anhang B angewendet werden.

5.4.4 Reibbeiwerte

(1) Der Reibbeiwert sollte zur Berechnung der Reibungskraft zwischen dem Zugelement und den durch Klemmung mit diesem verbundenen Anbauteilen (einschließlich Sätteln) herangezogen werden.

(2) Die Werte für den Reibbeiwert sollten auf Versuchsergebnissen oder Daten ähnlicher Tragwerke basieren.

(3) Die Versuche zum Nachweis des Reibbeiwerts sollten nach Anhang A und Abschnitt 11 durchgeführt werden.

6 Dauerhaftigkeit

(1) Es sollte ein Korrosionsschutzsystem basierend auf

- der geplanten Nutzungsdauer nach EN 1990:2023, 4.6,
- der Korrosionsbeanspruchung, beschrieben durch die Expositionsklassen C1 bis C5 nach EN ISO 12944-2,
- der Zugänglichkeit für Inspektionen und den Wartungsintervallen, und
- der Art des Zugelements oder der Verankerung

ausgewählt werden.

ANMERKUNG Die Dauerhaftigkeit von Zugelementen und Verankerungen wird hauptsächlich durch die Korrosionsbeanspruchung und die Wahl des Korrosionsschutzsystems, der Konstruktion, der Ausführung und der Wartung beeinflusst.

(2) Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit sollten die Zugglieder der Gruppen A, B und C den in Anhang A aufgeführten Regeln entsprechen.

(3) Alle Bestandteile des Korrosionsschutzsystems sollten untereinander verträglich sein.

(4) Die Dauerhaftigkeit von Verankerungen, Sätteln und Klemmen sollte grundsätzlich mindestens der Dauerhaftigkeit des angeschlossenen Zugelements entsprechen.

7 Tragwerksberechnung

7.1 Allgemeines

(1) Die Berechnung muss sowohl für die Grenzzustände für die vorübergehenden Ausführungs- oder Instandhaltungsphasen als auch für die Grenzzustände für die ständige Nutzungsphase nach Abschluss der Bauarbeiten durchgeführt werden.

(2) Die Bemessung für die vorübergehende Ausführungsphase sollte auf dem festgelegten Programm der abschnittsweisen Montagevorgänge und Kontrollmaßnahmen basieren.

(3) Das Werkstoffverhalten (z. B. Kriechen, Schwinden und Rissbildung usw.) des Tragwerks selbst, einschließlich der Zugglieder sollte den Vorgaben der maßgebenden werkstoffspezifischen Bemessungsregeln entsprechen. Sofern anwendbar sollten obere und untere Bemessungswerte der Werkstoffeigenschaften bei der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden.

(4) Um die Anforderungen an die Kontrollmaßnahmen (z. B. Messungen von Form, Neigungen, Verformungen, Frequenzen oder Kräften) während der gesamten Bauarbeiten einzuhalten, sollten alle Berechnungen unter Ansatz der tatsächlichen Werte der ständigen Lasten, aufgetragten Verformungen und aller Nutzlasten nachgeprüft werden.

(5) Gegebenenfalls sollten die Auswirkungen der dynamischen Wechselwirkungen zwischen dem Zugglied und dem Tragwerk berücksichtigt werden.

(6) Gegebenenfalls sollten die Auswirkungen von Kriechen und/oder Relaxation berücksichtigt werden.

7.2 Nichtlineare Wirkungen infolge Verformungen

(1) Sofern nach EN 1990:2023, 7.2.2, gefordert, sollte das nichtlineare Verhalten von Tragwerken mit Zuggliedern in die Tragwerksberechnung einbezogen werden.

(2) Nichtlineare Berechnung sollte auf der Geometrie basieren, die durch die ständige Einwirkung „ $G + P$ “ und die Aufstelltemperatur T_0 nach EN 1991-1-5 bestimmt wird.

(3) Geeignete Annahmen für die Imperfektionen des Tragwerks sollten berücksichtigt werden. Die entsprechenden Werte sollten den einschlägigen Eurocodes entnommen werden.

7.3 Nichtlineare Berechnung

(1) Die nichtlineare Berechnung von Stahltragwerken nach der Finite-Elemente-Methode sollte nach EN 1993-1-14 durchgeführt werden.

(2) Der Durchhang eines Zugglieds sollte bei der Ermittlung der äquivalenten Steifigkeit, die es dem Tragwerk verleiht, berücksichtigt werden, und dieser Durchhang und daraus folgende Endverdrehungen sollten bei der konstruktiven Durchbildung der Verankerungen berücksichtigt werden

(3) Die äquivalente Steifigkeit des Zugglieds darf durch Verwendung des effektiven Moduls E_t berücksichtigt werden:

$$E_t = \frac{E}{1 + \frac{w^2 L_h^2 E}{12 \sigma^3}} \quad (7.1)$$

Dabei ist

- E der Elastizitätsmodul des für das Zugglied verwendeten Stahls (für Zugglieder der Gruppe B nach 5.3.2(1));
- w die Einheitslast des Zugelements einschließlich des Korrosionsschutzes und gegebenenfalls des Hüllrohrs;
- L_h die horizontale Projektionslänge des Zugglieds zwischen den Verankerungen
- σ die Spannung im Zugglied.

ANMERKUNG Gleichung (7.1) approximiert das nichtlineare Verhalten des Zugglieds für einen bestimmten Spannungszustand. Für die Bestimmung der äquivalenten Steifigkeit des Zugglieds kann, wenn die erzeugte Spannung in hohem Maße von der Steifigkeit abhängt, ein iterativer Prozess erforderlich sein.

(4) Zugglieder sollten so bemessen sein, dass sie unter Spannung bleiben. Falls dies nicht möglich ist, sollten die nichtlinearen Effekte eines vollständigen Spannungsverlusts des Zugglieds bei der Berechnung berücksichtigt werden.

7.4 Dynamische Berechnung

(1) Bei nicht vorwiegend ruhenden Einwirkungen (z. B. wind- oder verkehrsbedingte Schwingungen) sollte eine dynamische Berechnung durchgeführt werden.

ANMERKUNG Windinduzierte Schwingungen des Zugelements können verursacht werden durch:

- a) Buffeting (aus Turbulenzen der anströmenden Luft);
- b) Wirbelablösung (durch Karmanwirbel im Nachlauf hinter dem Zugelement);
- c) Galloping (selbsterregte Schwingung);
- d) Interferenzgalloping (Wechselwirkung mit benachbarten Zugelementen oder dem Tragwerk);
- e) durch Regen-Wind-induzierte Schwingungen.

(2) Gegebenenfalls sollte das aerodynamische Verhalten eines Tragwerks mit Zuggliedern in Bezug auf Buffeting und Wirbelablösung durch Windkanalprüfungen ermittelt werden. Turbulenzmerkmale wie Böenspektren und räumliche Zusammenhänge sollten in die Berechnung einbezogen werden. Wenn das geprüfte Modell nicht das gesamte Tragwerk abbildet, sollten die Randbedingungen so gewählt werden, dass das Verhalten des restlichen Tragwerks simuliert wird.

(3) Obgleich Galloping bei einem Zugglied mit kreisförmigem Querschnitt aus Symmetriegründen nicht möglich ist, kann dieses Phänomen auftreten, wenn sich die äußere Form verändert hat, z. B. durch die Bildung von Eisschichten. Kräfte aufgrund von c), d) und e) können infolge aeroelastischer Instabilität zu Schwingungen mit großen Amplituden führen. Wenn dies nicht durch geeignete Maßnahmen verhindert wird, können experimentelle Untersuchungen erforderlich sein.

(4) Der inhärente Dämpfungsbeiwert sollte auf Erfahrung und an ähnlichen Tragwerken durchgeführten Vor-Ort-Messungen basieren.

7.5 Aerodynamische Instabilität

(1) Tragwerke mit Zuggliedern dürfen nicht durch aerodynamische Instabilität versagen.

(2) Entsprechende Kriterien sind in prEN 1991-1-4:2024, Anhang H, angegeben. Für den Nachweis von Tragwerken, bei denen die kritische Windgeschwindigkeit während der Errichtung oder nach Fertigstellung unter den darin geforderten Werten liegt, sollten Windkanalprüfungen durchgeführt werden, sofern dies durch die zuständige Behörde festgelegt oder für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart wurde.

8 Grenzzustände der Tragfähigkeit

8.1 Allgemeines

(1) Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit muss nachgewiesen werden, dass gilt:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0 \quad (8.1)$$

Dabei ist

F_{Ed} der Bemessungswert der Zugkraft im Zugelement;

F_{Rd} der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit des Zugelements.

(2) Die Tragfähigkeit von Verankerungen sollte entweder durch Prüfungen nach Anhang A oder durch Berechnungen auf der Grundlage der maßgebenden Teile von EN 1993-1 ermittelt werden.

ANMERKUNG 1 Für Werkstoffeigenschaften von Stahlguss für das Bauwesen gilt auch EN 10340.

ANMERKUNG 2 Beispiele für Verankerungen sind in Anhang B dargestellt.

(3) Falls die Tragfähigkeit der Verankerungen durch numerische Berechnungen ermittelt wird, sollte EN 1993-1-14 angewendet werden.

(4) Die Verankerungen sollten so ausgelegt werden, dass der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit der Verankerungen mindestens gleich dem Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Zugelements ist. Wenn Versuche durchgeführt werden, sollten die in Anhang A angegebenen Abnahmekriterien erfüllt werden.

ANMERKUNG 1 Für den Einsatz im Brückenbau siehe die zusätzlichen in EN 1990:2023, Abschnitt A.2, angegebenen Anforderungen an die Festigkeit der Verbindungselemente.

ANMERKUNG 2 Abschnitt 11 enthält zusätzliche Informationen zu den Versuchen.

8.2 Zugglieder der Gruppe A

8.2.1 Zugstabsystem aus Baustahl oder nichtrostendem Stahl

(1) Die Zugstabelemente aus Baustahl oder nichtrostendem Stahl sollten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach den maßgebenden Teilen von EN 1993-1 bemessen werden.

(2) Außengewinde am Zugstab sollten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach EN 1993-1-8 bemessen werden. Die Bemessung anderer Gewindearten sollte auf der Grundlage von Versuchen nach Abschnitt 11 erfolgen, sofern keine harmonisierten Produktnormen oder Europäische Technische Bewertungen vorliegen.

8.2.2 Zugstabsystem aus Betonstahl oder Spannstahl

(1) Für die Zugstabelemente aus Betonstahl oder Spannstahl sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit unter Zugbelastung, F_{Rd} , wie folgt angesetzt werden:

$$F_{Rd} = \min \left\{ \frac{F_{uk}}{\gamma_{Mt,A} \gamma_s}; \frac{F_{yk}}{\gamma_s} \right\} \quad (8.2)$$

Dabei ist

$$F_{uk} = A_m f_t \text{ (Betonstahl);}$$

$$F_{yk} = A_m f_{yk} \text{ (Betonstahl);}$$

$$F_{uk} = F_m \text{ (Spannstahl);}$$

$$F_{yk} = F_{p0,1} \text{ (Spannstahl);}$$

und

A_m die metallische Nennquerschnittsfläche;

f_t der charakteristische Wert der Zugfestigkeit des Betonstahls;

f_{yk} der charakteristische Wert der 0,2-%-Dehngrenze des Betonstahls;

F_m der charakteristische Wert der Bruchkraft des Spannstahls;

$F_{p0,1}$ der charakteristische Wert der Zugkraft bei der 0,1-%-Dehngrenze des Spannstahls;

$\gamma_{Mt,A}$ der Teilsicherheitsbeiwert.

ANMERKUNG 1 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Mt,A}$ 1,2.

γ_s der Teilsicherheitsbeiwert nach EN 1992-1-1:2023, 4.3. 3, Tabelle 4.3(NDP).

ANMERKUNG 2 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Teilsicherheitsbeiwert γ_s 1,15.

(2) Außengewinde am Zugstab sollten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach EN 1993-1-8 bemessen werden. Die Bemessung anderer Gewindearten sollte auf der Grundlage von Versuchen nach Abschnitt 11 erfolgen, sofern keine harmonisierten Produktnormen oder Europäische Technische Bewertungen vorliegen.

(3) Geschweißte Verankerungen sollten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach EN 1993-1-8 und EN ISO 17660-2 bemessen werden.

8.3 Zugglieder der Gruppe B

(1) Bei diesen Zugelementen sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit unter Zugbelastung, F_{Rd} , wie folgt angesetzt werden:

$$F_{Rd} = \frac{k_e F_{uk}}{k_{p,B} \gamma_{Mt,B}} \quad (8.3)$$

Dabei ist

F_{uk} der charakteristische Wert der Bruchkraft des Zuelements. Er darf als gleich der auf den Drahtnennmaßen, der Drahtzugfestigkeiten und dem Verseilverlustfaktor für die Seilklasse und Seilkonstruktion nach den Angaben des Herstellers basierenden rechnerischen Mindestbruchkraft $F_{c,min}$ oder gleich F_{uk} , wie in den entsprechenden ETA festgelegt, angenommen werden. Für das Beschaffungswesen sollte die erforderliche Mindestbruchkraft festgelegt werden;

ANMERKUNG 1 Typische Werte für die rechnerische Mindestbruchkraft $F_{c,min}$ sind in EN 12385-10 angegeben.

ANMERKUNG 2 Werte für die rechnerische Mindestbruchkraft $F_{c,min}$ von offenen Spiralseilen und vollverschlossenen Spiralseilen werden vom Hersteller nach EN 12385-2 bestimmt. Ein Bezugswert kann nach EN 12385-2 mit einem Verseilverlustfaktor $k = 0,92$ und eine Füllfaktor $f = 0,85$ geschätzt werden.

$\gamma_{Mt,B}$ der Teilsicherheitsbeiwert;

ANMERKUNG 3 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Mt,B}$ 1,5.

$k_{p,B}$ der Phasenfaktor zur Berücksichtigung der Bemessungssituation nach Tabelle 8.1.

Tabelle 8.1 — Werte für den Phasenfaktor $k_{p,B}$

Bemessungssituation	Phasenfaktor $k_{p,B}$
Ständig — während der Nutzung	1,00
Vorübergehend — während des Einbaus	0,90

k_e der Verlustfaktor für die Verankerung ($k_e \leq 1,0$). Es handelt sich um einen durch Versuche ermittelten Faktor, der den Einfluss der Verankerung auf die gemessene Bruchkraft berücksichtigt. In Tabelle 8.2 sind Bezugswerte für einige Arten von Endverbindungen angegeben.

Tabelle 8.2 — Werte für den Verlustfaktor k_e

Verankerungstyp	Verlustfaktor k_e
Seilhülse mit Metallverguss nach EN 13411-4	1,0
Seilhülse mit Kunstharzverguss nach EN 13411-4	1,0
Stahlpressfittinge nach EN 13411-8	0,9
Pressklemmen nach EN 13411-3	0,9
U-förmiger Klemmbügel nach EN 13411-5	0,8 ^a
^a Bei U-förmigen Klemmbügeln kann ein Verlust der Vorspannkraft auftreten.	

8.4 Zugglieder der Gruppe C

(1) Bei diesen Zugelementen sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit unter Zugbelastung, F_{Rd} , wie folgt angesetzt werden:

$$F_{Rd} = \frac{F_{uk}}{k_{p,C} \gamma_{Mt,C} k_b} \quad (8.4)$$

Dabei ist

F_{uk} der charakteristische Wert der Bruchkraft;

$\gamma_{Mt,C}$ der Teilsicherheitsbeiwert.

ANMERKUNG Sofern im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind, beträgt der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Mt,C}$ 1,50.

$k_{p,C}$ der Phasenfaktor zur Berücksichtigung der Bemessungssituation nach Tabelle 8.3.

Tabelle 8.3 — Werte für den Phasenfaktor $k_{p,C}$

Bemessungssituation	Phasenfaktor $k_{p,C}$
Ständig — während der Nutzung	1,00
Vorübergehend — während des Einbaus (z. B. Einbau anderer Zugglieder)	0,90
Vorübergehend — während des litzenweisen Einbaus eines Zugglieds	0,83

k_b der Biegefaktor nach Tabelle 8.4, der berücksichtigt, ob an den Endverbindungen Maßnahmen zur Minimierung der Biegespannungen im Zugelement getroffen wurden oder nicht.

Tabelle 8.4 — Werte für den Biegefaktor k_b

Maßnahmen an den Verankerungen zur Minimierung von Biegespannungen im Zugelement	Biegefaktor k_b
Vorübergehend — während des Einbaus	1,00
Ständig — während der Nutzung — Maßnahmen getroffen	0,90
Ständig — während der Nutzung — keine Maßnahmen getroffen	1,00

(2) Der charakteristische Wert der Bruchkraft sollte wie folgt bestimmt werden:

$$F_{uk} = A_m \cdot f_{uk} \quad (8.5)$$

Dabei ist

A_m die metallische Nennquerschnittsfläche des Zugelements;

f_{uk} der charakteristische Wert der Zugfestigkeit der Stahldrähte oder (Spannstahl-)Litzen entsprechend der maßgebenden Produktnorm.

8.5 Sättel

8.5.1 Allgemeines

(1) Die folgenden Bemessungsregeln gelten nur für Zugglieder der Gruppe B und Gruppe C.

(2) Sättel sollten nach Normenreihe EN 1993 bemessen werden.

(3) Für Anwendungen, bei denen die Ermüdungsanforderungen maßgebend sind, sollte das Verhalten des Zugglieds am Sattel durch einen Ermüdungsversuch mit anschließendem Zugversuch in Originalgröße nachgewiesen werden.

ANMERKUNG Zu Stahlgussteilen siehe auch EN 10340.

8.5.2 Zugglieder der Gruppe B

8.5.2.1 Geometrische Bedingungen

(1) Unter der Voraussetzung, dass die im Folgenden und in (2) und (3) angegebenen, auf Bild 8.1 basierenden geometrischen Bedingungen, erfüllt sind, muss im ULS kein Verlust der Mindestbruchkraft des Seils berücksichtigt zu werden:

$$0,6 d \leq d' \leq d$$

$$r_2 \geq 20 \text{ mm}$$

$$\Delta L_2 \geq 0,03 L_2$$

Dabei ist

L_1 die gesamte Bogenlänge des Sattels;

L_2 die Bogenlänge des Sattels zwischen den beiden theoretischen Tangentialpunkten T_2 unter der ungünstigsten charakteristischen Kombination von Einwirkungen und Durchhang;

ΔL_2 die zusätzliche Bogenlänge des Sattels;

d der Nenndurchmesser des Seils;

d' die Kontaktbreite des Seils.

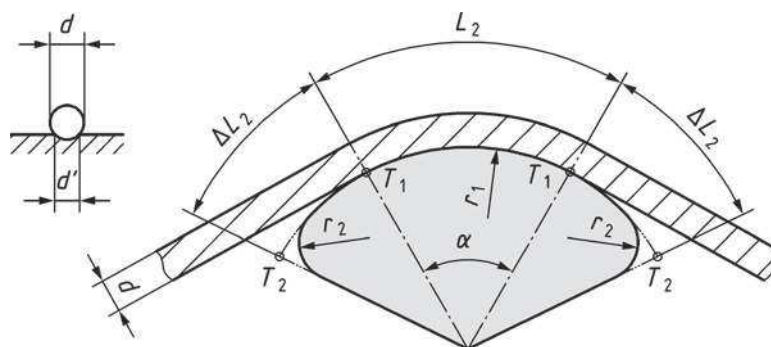


Bild 8.1 — Lagerung einer Litze/eines Seils auf einem Sattel

(2) Der Radius r_1 des Sattels sollte mindestens $30 d$ betragen.

(3) Der Wert von r_1 darf auf $20 d$ verringert werden, wenn die zur Lagerung genutzte Nut im Sattel mit Weichmetall oder einer thermischen Spritzverzinkung mit einer Mindestdicke von 1 mm überzogen ist.

8.5.2.2 Verhinderung des Rutschens von Seilen über Sättel

(1) Um zu verhindern, dass es zum Rutschen eines Seils über seinen Sattel kommt, sollte die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\frac{F_{Ed1}}{F_{Ed2}} \leq e^{\left\{ \frac{\mu \alpha}{\gamma_{M,fr,B1}} \right\}} \quad (8.6)$$

Dabei ist bzw. sind

F_{Ed1}, F_{Ed2}	die zueinander gehörenden Bemessungswerte der Zugkraft im Zugelement auf beiden Seiten des Sattels für die maßgebende Bemessungskombination und $F_{Ed1} \geq F_{Ed2}$;
μ	der Reibbeiwert zwischen Zugelement und Sattel nach 5.3.4;
α	der Bogenwinkel, im Bogenmaß, zwischen theoretischen Tangentenpunkten (Umlenkwinkel) des über den Sattel verlaufenden Zugelements nach Bild 8.1, der als Wert für die ständigen Einwirkungen angesetzt werden darf;
$\gamma_{M,fr,B1}$	der Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen dem Zugelement der Gruppe B und dem Sattel, die sich aus der Umlenkkraft des Zugelements ergibt.

ANMERKUNG Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fr,B1}$ 1,65.

(2) Wird (1) nicht erfüllt, so sollten Klemmen zur Erzeugung einer Klemmkraft F_r angebracht werden, so dass gilt:

$$\frac{F_{Ed1} - \frac{\sum_1^{n_s} (k_{c,s} k_r F_{ri}) \mu}{\gamma_{M,fr,B2}}}{F_{Ed2}} \leq e^{\left\{ \frac{\mu \alpha}{\gamma_{M,fr,B1}} \right\}} \quad (8.7)$$

Dabei ist bzw. sind

n_s	die Anzahl der zur Scherkraftübertragung aktivierten Flächen der Klemme nach 8.6.2(1);
$k_{c,s}$	der Klemmkraftbeiwert zur Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen der Schraubenkraft und der für jede Fläche s aufintegrierten Kontaktpressung zwischen Klemme und Zugelement:
$k_{c,1} = 1,0$ und $k_{c,2} = 0$	bei Klemmen ohne Knaggen;
$k_{c,1} = 1,0$ und $k_{c,2} = 1,0$	bei Klemmen mit Knaggen, die die Scherkraft von der Klemme auf den Sattel übertragen.

ANMERKUNG 1 Im Falle der Verwendung von biegeweichen Klemmen können höhere Werte als $k_{c,s} = 1,0$ angesetzt werden, sofern diese durch Versuche nachgewiesen wurden. Eine übliche Versuchsanordnung ist in Anhang A beschrieben.

- k_r ein Beiwert für die Verringerung der Schraubenkraft aufgrund von Langzeiteffekten nach 8.5.2.2(3) a) bis c) und in Übereinstimmung mit 8.6.2(2);
- F_{ri} die Anfangsklemmkraft, die der über alle Schrauben aufsummierten Anfangsvorspannkraft entspricht, nach 8.6.2(1);
- $\gamma_{M,fr,B2}$ der Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe B und einer Klemme oder einem Sattel, die sich aus der Klemmkraft ergibt.

ANMERKUNG 2 Sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist, beträgt der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fr,B2}$ 1,65.

Die Klemmen brauchen nicht über die gesamte Länge L_2 verteilt zu sein.

(3) Bei der Bestimmung der Klemmkraft F_r aus der Vorspannung von Klemmschrauben sollten folgende Effekte berücksichtigt werden:

- a) das Langzeitkriechen;
- b) die mit zunehmender Spannung einhergehende Verringerung des Durchmessers;
- c) die Verdichtung/Eindrückung des Zugelements oder Ovalisierung.

8.5.2.3 Querpressung

(1) Unter der Voraussetzung, dass das in (2) angegebene Bemessungskriterium erfüllt ist, braucht im ULS kein Verlust der Bruchfestigkeit des Seils berücksichtigt zu werden.

(2) Die Querpressung q_{Ed} infolge der zusätzlichen Klemmkraft F_r sollte folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{q_{Ed}}{q_{lim}} \leq 1 \quad (8.8)$$

Dabei ist

$$q_{Ed} = \frac{F_r}{d' \cdot L_{clamp}}$$

d' die Kontaktbreite des Seils nach Bild 8.1;

q_{lim} der Grenzwert der Querpressung nach Tabelle 8.5 oder durch Versuche bestimmt;

L_{clamp} die Kontaktlänge der Klemme.

Die Pressung aus F_{Ed1} braucht beim Nachweis nicht berücksichtigt zu werden, weil sie durch die in 8.5.2.2 angegebenen Regeln abgedeckt ist.

Tabelle 8.5 — Grenzwert der Querpressung q_{lim} für Klemmen und Sättel

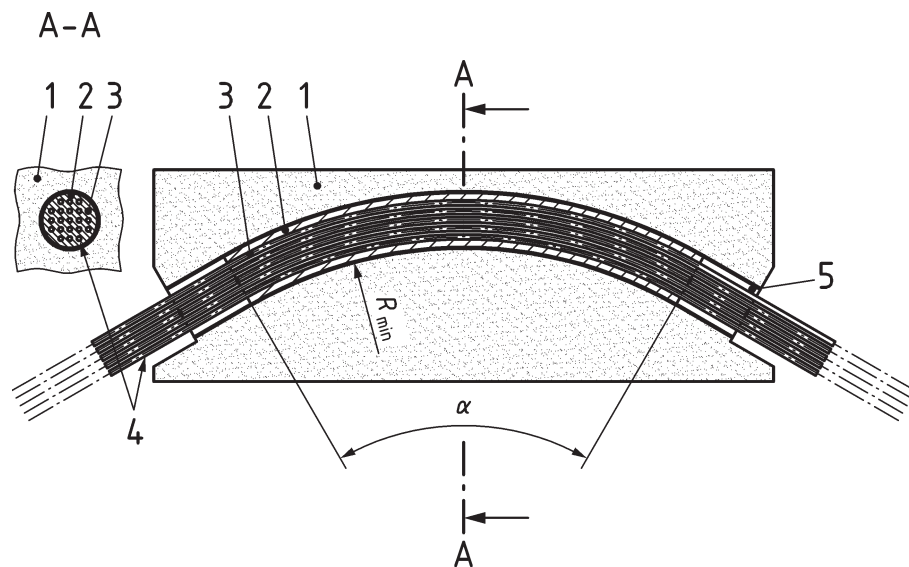
Zugelement	q_{lim} N/mm ²	
	Stahlklemmen und -sättel	Gefutterte Klemmen und Sättel
Vollverschlossenes Spiralseil	40	100
Offenes Spiralseil	25	60

(3) Gefutterte Klemmen sollten mit einer Schicht aus Weichmetall oder einer Spritzverzinkung mit einer Mindestdicke von 1 mm versehen sein.

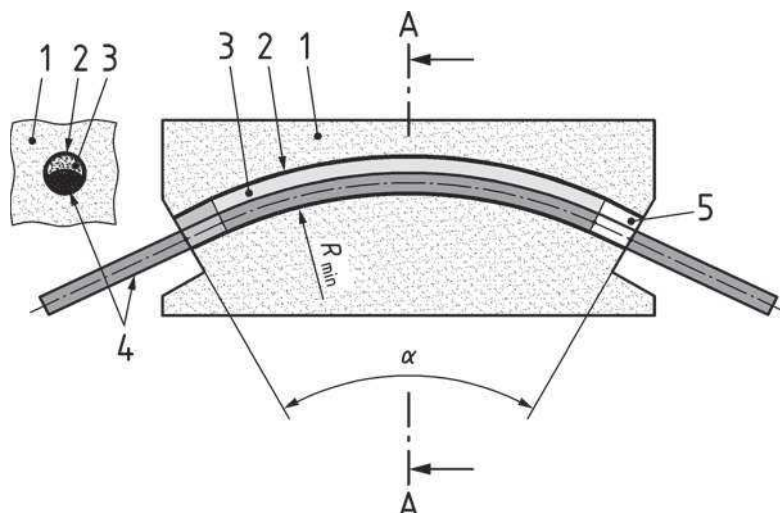
8.5.3 Zugglieder der Gruppe C

8.5.3.1 Geometrische Bedingungen

(1) Die Konstruktionstypen 1 und 2 sollten den in Bild 8.2 angegebenen geometrischen Bedingungen entsprechen.



a) Konstruktionstyp 1: in einzelnen gekrümmten Kanälen geführte Litzen, die eine unabhängige Lasteinleitung in den Sattel ermöglichen



b) Konstruktionstyp 2: in einem gekrümmten Sattel geführtes Zugelement

Legende

- 1 Tragwerk
- 2 Sattel
- 3 Führungskanal
- 4 Stahldraht oder -litze
- 5 Übergangsbereich

Bild 8.2 — Sattelkonstruktionen für Zugglieder der Gruppe C

(2) Der Mindestkrümmungsradius des Sattels, $R_{\min}$, sollte folgende Bedingungen erfüllen:

- im Falle von Konstruktionstyp 1: $R_{\min} \geq 400 d$, wobei d der Durchmesser des Drahtes oder des einzelnen Drahtes einer Litze ist;
- im Falle von Konstruktionstyp 2: $R_{\min} \geq \max \{2,0; 0,85 n_{sl}\}$ in Metern, wobei n_{sl} die Anzahl der Litzenlagen ist.

Zur Verringerung von sekundären Biegeauswirkungen auf ein Mindestmaß ist eine geeignete konstruktive Durchbildung der Sattelausgangsbereiche erforderlich.

ANMERKUNG Es können auch andere geometrische Anordnungen gewählt werden, sofern ihr Leistungsverhalten durch Berechnungen und Versuche nach Abschnitt 11 nachgewiesen wurde.

8.5.3.2 Verhinderung des Rutschens von Zugelementen über Sättel

(1) Um ein Rutschen zwischen den Hauptzugelementen und dem Sattel zu verhindern, sollte die folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\frac{F_{Ed1}}{F_{Ed2}} \leq e^{\left\{ \frac{\mu \cdot \alpha}{\gamma_{M,fr,C1}} \right\}} \quad (8.9)$$

Dabei ist bzw. sind

F_{Ed1} und F_{Ed2} die zueinander gehörenden Bemessungswerte der Zugkraft im Zugelement auf beiden Seiten des Sattels für die maßgebende Bemessungskombination mit $F_{Ed1} \geq F_{Ed2}$;

- μ der Reibbeiwert zwischen Zugelement und Sattel nach 5.4.4;
- α der Bogenwinkel, im Bogenmaß, zwischen den Bemessungstangentenpunkten nach Bild 8.2, der als Wert für die ständigen Einwirkungen angesetzt werden darf;
- $\gamma_{M,fr,C1}$ der Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen Zugelement und Sattel.

ANMERKUNG Sofern im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind, beträgt der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fr,C1}$ 1,50.

(2) Falls der Sattel verpresst ist, darf der Verbund zwischen dem Hauptzugelement und dem Verpressmaterial berücksichtigt werden und lautet die Bedingung für das Nicht-Rutschen:

$$\frac{F_{Ed1} - S_{ad} f_{bpd}}{F_{Ed2}} \leq e^{\left(\frac{\mu \cdot \alpha}{\gamma_{M,fr,C1}}\right)} \quad (8.10)$$

Dabei ist

f_{bpd} die Verbundfestigkeit zwischen Litzen und Verpressmaterial oder zwischen Verpressmaterial und Sattelrohr im Grenzzustand der Tragfähigkeit für einen vollständig mit schwindfreiem Verpressmaterial gefüllten Sattel, gegeben durch:

$$f_{bpd} = \eta_{p2} f_{ctd} \quad (8.11)$$

Dabei ist

η_{p2} der Beiwert, der die Art des Zugelements und die Verbundbedingungen am Sattel berücksichtigt; im Falle siebendrätiger Litzen beträgt dieser Beiwert 1,2;

f_{ctd} der Bemessungswert der Zugfestigkeit des Verpressmaterials.

$$S_{ad} = P \cdot R \cdot \alpha \quad (8.12)$$

Dabei ist

R der Krümmungsradius des Zugelements im Inneren des Sattels (bei Konstruktionstyp 1 ist R der Radius jeder einzelnen Litze, bei Konstruktionstyp 2 ist $R = R_{min}$);

P der Verbundumfang; dieser ist für den Konstruktionstyp 1 nach Bild 8.3 gegeben mit

$$P = n_w \cdot d \cdot \pi \quad (8.13)$$

Dabei ist

n_w die Anzahl der einzelnen Stahldrähte oder -litzen;

d der äußere Nenndurchmesser eines Einzeldrahts oder einer einzelnen Litze;

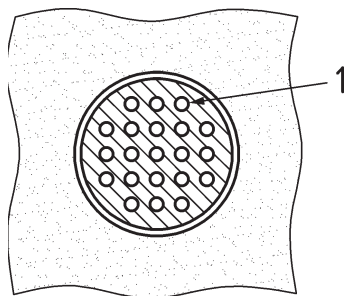
und für den Konstruktionstyp 2 nach Bild 8.3 gegeben durch die konvexe Einhüllende des Bündels mit

$$\text{Bündel aus parallelen Runddrähten} \quad P = 3,7\sqrt{A_m} \quad (8.14)$$

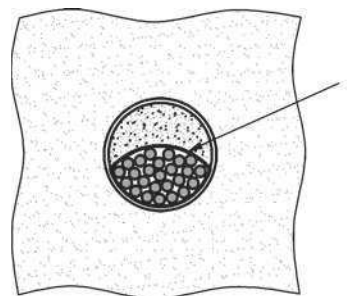
$$\begin{array}{l} \text{Bündel aus parallelen siebendräftigen} \\ \text{Litzen} \end{array} \quad P = 4,2\sqrt{A_m} \quad (8.15)$$

Dabei ist

A_m die metallische Querschnittsfläche des Zugelements.



Konstruktionstyp 1



Konstruktionstyp 2

Legende

1 Verbundumfang P

Bild 8.3 — Sattelkonstruktionen für Zugglieder der Gruppe C (Querschnitt)

8.5.3.3 Querpressung

(1) Die Querpressung braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn die in 8.5.3.1 angegebenen geometrischen Bedingungen erfüllt sind.

8.5.3.4 Bemessung der Sättel

(1) Das tatsächliche Verhalten von Sattelsystemen sollte durch Versuche nach A.5.2 nachgewiesen werden.

(2) Beim Konstruktionstyp 1 sollte die Unabhängigkeit der Lasteinleitung von den einzelnen Litzen in den Sattel durch Berechnung nachgewiesen werden.

8.6 Klemmen

8.6.1 Allgemeines

(1) Klemmen sollten nach Normenreihe EN 1993 bemessen werden.

(2) Klemmen sollten entsprechend der Geometrie des durchlaufenden Zugelements konstruiert werden.

(3) Die folgenden Bemessungsregeln gelten für Zugelemente der Gruppe B mit metallischer Kontaktfläche zwischen Klemme und Zugelement.

ANMERKUNG Für andere Anwendungen sind besondere Erwägungen, hinsichtlich u. a. der zulässigen Querpressung, Relaxation, Scherkraftübertragung, örtlichen Biegung und Korrosionsschutz, erforderlich.

8.6.2 Verhinderung des Rutschens von Klemmen

(1) Falls Klemmen Längskräfte auf ein Zugelement übertragen, sollte jegliches Rutschen vermieden werden, indem Folgendes nachgewiesen wird:

$$F_{Ed\parallel} \leq \frac{\sum_1^{n_s} (k_{c,s} k_r F_{ri}) \mu}{\gamma_{M,fr,B4}} + \frac{\sum_1^{n_s} (k_{ef,s} F_{Ed\perp}) \mu}{\gamma_{M,fr,B3}} \quad (8.16)$$

Dabei ist

$F_{Ed\parallel}$ die zum Zugelement parallele Komponente der äußeren Belastung;

$F_{Ed\perp}$ die zum durchlaufenden Zugelement rechtwinklige Komponente der äußeren Belastung.

ANMERKUNG Je nach Konstruktion der Klemme kann $F_{Ed\perp}$ die die Reibung erzeugende Kontaktpressung erhöhen oder verringern.

F_{ri} die Anfangsklemmkraft, die der über alle Schrauben aufsummierten Anfangsvorspannkraft entspricht;

n_s die Anzahl der zur Scherkraftübertragung aktivierten Flächen einer Klemme;

$n_s = 1,0$, wenn $F_{Ed\parallel}$ nur in eine Hälfte der Klemme eingeleitet wird (Bild 8.4) oder im Falle von Klemmen ohne Knaggen;

$n_s = 2,0$, wenn $F_{Ed\parallel}$ in beide Hälften der Klemme eingeleitet wird (Bild 8.5) oder im Falle von Klemmen mit Knaggen (Bild 8.6);

$k_{c,s}$ der Klemmkraftbeiwert zur Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen der Schraubenkraft und der für jeden Teil der Klemme aufintegrierten Kontaktpressung zwischen Klemme und Zugelement;

k_r ein Beiwert für die Verringerung der Schraubenkraft aufgrund von Langzeiteffekten nach 8.5.2.2(3) a) bis c);

$k_{ef,s}$ ein äußerer Belastungsbeiwert, der die Auswirkung der Verringerung oder Erhöhung der Kontaktpressung aufgrund einer äußeren Belastung berücksichtigt;

μ der Reibbeiwert nach 5.3.4;

$\gamma_{M,fr,B3}$ der Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe B und einer Klemme, die sich aus der zum durchlaufenden Zugelement rechtwinkligen Komponente der äußeren Belastung $F_{Ed\perp}$ ergibt.

ANMERKUNG 1 Sofern im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind, ist der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fr,B3}$ gleich 1,0, wenn die Wirkung der Belastung $F_{Ed\perp}$ ungünstig ist (Verringerung der Kontaktpressung), und gleich 1,65, wenn die Wirkung der Belastung $F_{Ed\perp}$ günstig ist (Erhöhung der Kontaktpressung).

$\gamma_{M,fr,B4}$ der Teilsicherheitsbeiwert für die Reibung zwischen einem Zugelement der Gruppe B und einer Klemme, die sich aus der Klemmkraft ergibt.

ANMERKUNG 2 Tabelle 8.6 enthält Werte für den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fr,B4}$, die für den Fall gelten, dass im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind. Mindestanforderungen für Versuche mit Klemmen und Sätteln mit Klemmen können im Nationalen Anhang festgelegt werden.

Tabelle 8.6 (NDP) — Werte für den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fr,B4}$

Versuchsumfang	$\gamma_{M,fr,B4}$
Kein Rutschversuch	1,65
Rutschversuch als Eignungsversuch (1 Versuch)	1,65
Rutschversuch als Eignungsversuch mit mindestens 3 Versuche und einem Variationskoeffizienten $< 0,10$	1,25

(2) Der Beiwert zur Verringerung der Schraubenkraft, k_r , sollte in Abhängigkeit von der Anzahl der Anziehschritte vor oder nach der Belastung des Zugelements und der Setzungszeit zwischen den Anziehschritten festgelegt werden. Bei mindestens zwei Anziehschritten darf $k_r = 0,35$ angenommen werden. Für mindestens einen Anziehschritt, bei dem mindestens 70 % der charakteristischen Einwirkungskombination im Zugelement wirken, darf $k_r = 0,5$ angenommen werden. Andere Werte dürfen auf der Grundlage genauerer Berechnungen angenommen werden, wobei besondere Vorgaben für das Nachziehen der Schrauben während des Einbaus und nach der Belastung des Zugelements zu berücksichtigen sind.

(3) Falls $F_{ri} > 0,80 n_b F_{p,c}$, wobei n_b die Anzahl der Schrauben der Klemme und $F_{p,c}$ die Vorspannkraft je einzelner Schraube nach EN 1993-1-8 ist, ist eine Qualifizierung des Anziehverfahrens erforderlich.

(4) Der Klemmkraftbeiwert darf mit $k_{c,s} = 1,0$ angenommen werden. Bei Verwendung von biegeweichen Klemmen dürfen auf der Grundlage von Berechnungen oder Prüfungen höhere Werte für $k_{c,s}$ angenommen werden.

ANMERKUNG 1 Für weiche Klemmen für Zugglieder mit parallelen Drähten für Hängekonstruktionen, wie in Bild 8.6 dargestellt, können die in Bild 8.6 angegebenen $k_{c,s}$ -Werte verwendet werden. Der theoretische Wert von $k_{c,1} = k_{c,2}$ für Klemmen mit Knaggen, die die Reibungskraft von der oberen auf die untere Hälfte übertragen können, beträgt $\pi/2$. Dieser Wert beruht auf der Annahme, dass die Klemmen biegeweich sind (Vernachlässigung der Biegesteifigkeit) und einen Spalt zwischen den beiden Hälften aufweisen, so dass ein hydrostatischer Druck erzeugt werden kann. Um der Umfangsreibung und dem Spalt zwischen den beiden Hälften Rechnung zu tragen, wird ein Abminderungsfaktor von 0,9 angewendet, d. h. der üblicherweise für jede Klemmenhälfte verwendet Wert ist $k_{c,1} = k_{c,2} = 0,9\pi/2 = 1,4$.

ANMERKUNG 2 Beispiele für $k_{c,s}$ -Werte sind in Bild 8.4, Bild 8.5, Bild 8.6 und Bild 8.7 angegeben.

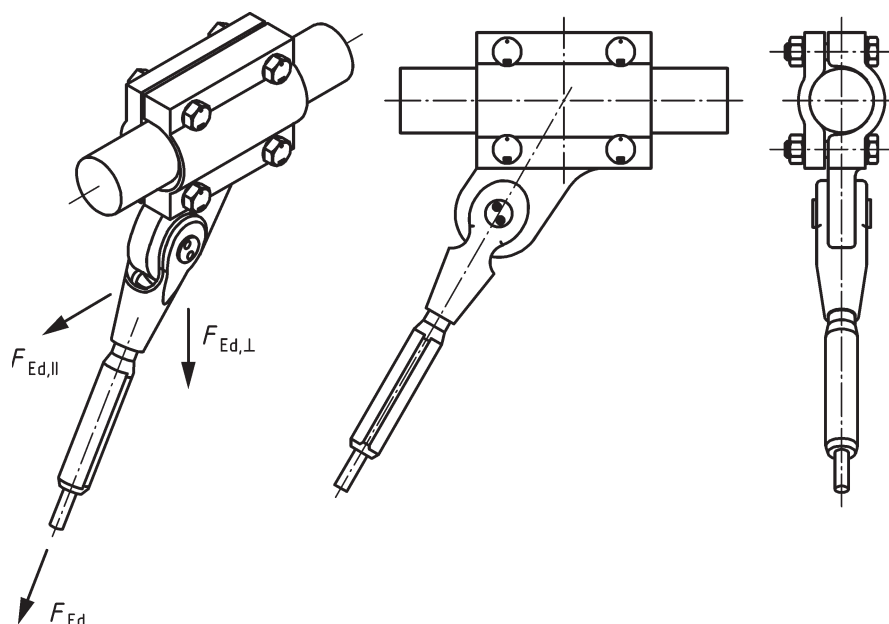


Bild 8.4 — Beispiel für eine Klemme mit $n_s = 1, 0$; $k_{c,1} = 1, 0$ ($k_{c,2} = 0$); $k_{ef,1} = 0$

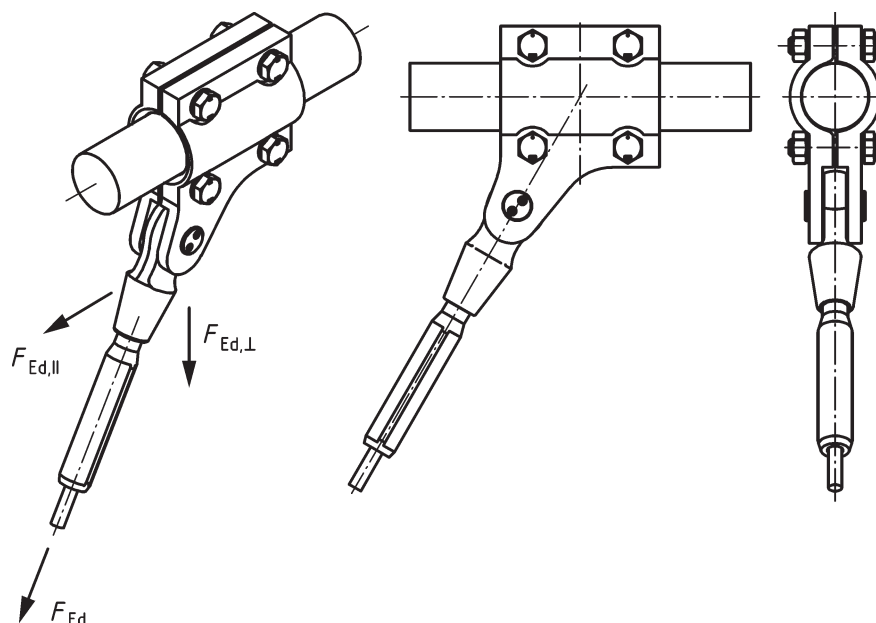


Bild 8.5 — Beispiel für eine Klemme mit $n_s = 2, 0$; $k_{c,1} = k_{c,2} = 1, 0$; $k_{ef} = 0$

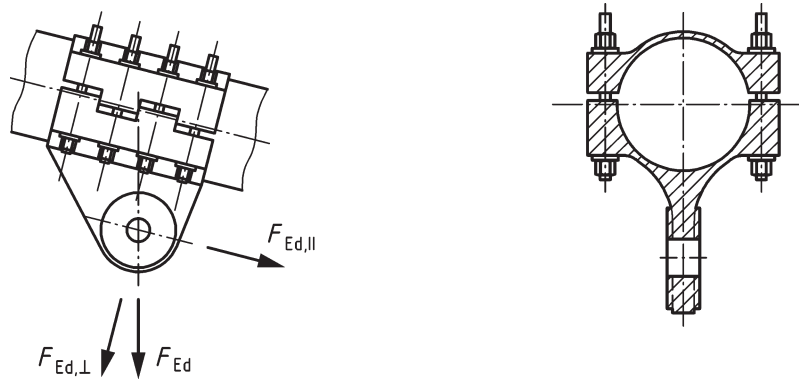


Bild 8.6 — Beispiel für eine Klemme mit Knaggen: $n_s = 2, 0$; $k_{c,1} = k_{c,2} = 1, 4$; $k_{ef,1} = -1, 4$; $k_{ef,2} = 0$

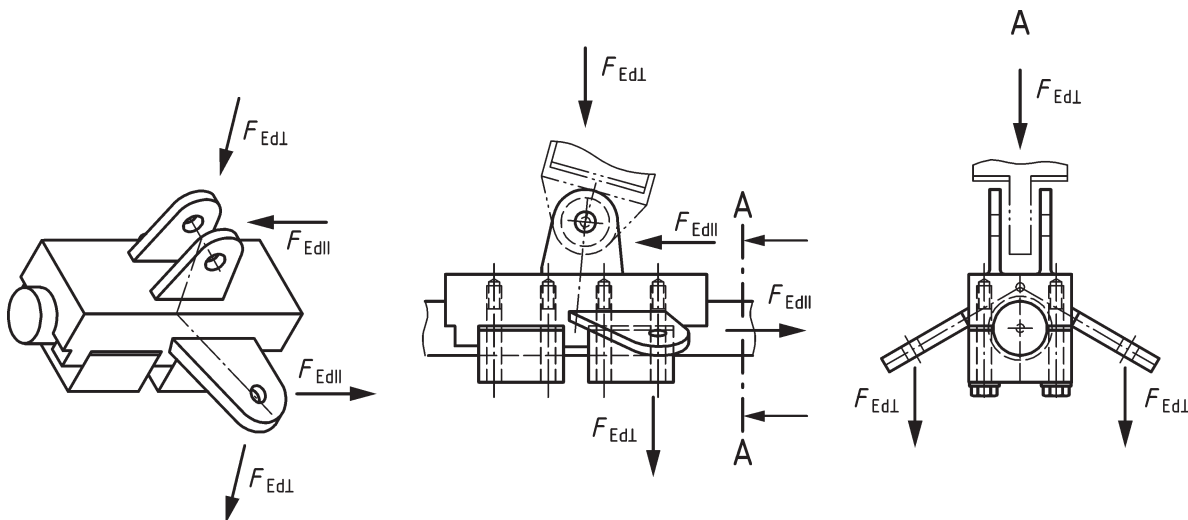


Bild 8.7 — Beispiel für eine biegesteife Klemme mit Knaggen: $n_s = 2, 0$; $k_{c,1} = k_{c,2} = 1, 0$; $k_{ef,1} = 1, 0$; $k_{ef,2} = 0$

(5) Im Falle der in Bild 8.4 und Bild 8.5 dargestellten Klemmen kann die Wirkung der Belastung $F_{Ed\perp}$ je nach dem Verhältnis der Steifigkeit der Klemme zur Steifigkeit des Seils ungünstig oder günstig sein. Bei biegesteifen Klemmen an vollverschlossenen Spiralseilen, bei denen die Wirkungsrichtung der äußeren Kraft wie in Bild 8.4 und Bild 8.5 rechtwinklig zur Achse der Schrauben verläuft, darf der Einfluss von $F_{Ed\perp}$ vernachlässigt werden, womit gilt: $k_{ef} = 0$.

(6) Für die in Bild 8.6 dargestellte Klemme wird, solange keine genaueren Untersuchungen vorliegen, konservativ angenommen, dass die äußere Belastung nur die untere Hälfte der Klemme entlastet und die obere Hälfte nicht belastet, womit gilt: $k_{ef,1} = -1,4$ und $k_{ef,2} = 0$. Günstigere k_{ef} -Werte dürfen verwendet werden, sofern sie durch Berechnungen oder Versuche nachgewiesen wurden.

(7) Falls die Belastung $F_{Ed\perp}$ von der belasteten Klemme durch Druck direkt in das Zugelement eingeleitet wird, wie in Bild 8.7 dargestellt, darf $k_{ef,1} = 1,0$ verwendet werden.

ANMERKUNG Beispiele für k_{ef} -Beiwerte sind in Bild 8.4, Bild 8.5, Bild 8.6 und Bild 8.7 angegeben.

8.6.3 Querpressung

(1) Die Querpressung infolge der Anwendung von F_r und $F_{Ed\perp}$ sollte die in 8.5.2.1 angegebenen Anforderungen erfüllen.

9 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

- (1) Begrenzungen der Spannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind als Voraussetzung für den Ermüdungsnachweis nach 10.3(3) erforderlich.
- (2) Weitere Begrenzungen der Spannungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind nicht erforderlich, vorausgesetzt, der Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Abschnitt 8 wurde erfolgreich geführt.
- (3) Das Lösen von Verankerungen während der Bauausführung oder der Nutzung sollte durch geeignete Verankerungen, konstruktive Durchbildung und/oder eine dauerhafte Mindestzugkraft im Zugglied verhindert werden.
- (4) Gegebenenfalls sollte die Verformung von Zuggliedern begrenzt werden, um die Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks sicherzustellen.
- (5) Die Verdrehung von Zuggliedern an den Verankerungen sollte begrenzt werden, um die Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks sicherzustellen.
- (6) Die Zubehörteile für die Zugglieder sollten so konstruiert sein, dass ihre Gebrauchstauglichkeit bei Verformung der Zugelemente und Verdrehung an den Verankerungen sichergestellt ist.
- (7) Maßnahmen zur Begrenzung von Schwingungen (anfängliche oder spätere Vorkehrungen, wie z. B. der Einbau von Dämpfern) sollten in Erwägung gezogen werden, wenn Schwingungen das Tragwerk sonst nachteilig beeinflussen würden. Wenn eine aerodynamische Gegenmaßnahme zur Vermeidung von Schwingungen vorgeschlagen wird, sollte durch Vor-Ort-Messungen bestätigt werden, dass die geplante Wirkung erzielt wird.

10 Ermüdung

10.1 Allgemeines

- (1) Der Ermüdungsnachweis von Zuggliedern sollte unter Verwendung der Ermüdungseinwirkungen nach EN 1991 und der entsprechenden Tragwerkskerbfälle geführt werden.
- (2) Für die Durchführung von axialen Ermüdungs- und Zugversuchen ist Anhang A (normativ) zu verwenden.
- (3) Der Ermüdungsnachweis sollte sowohl für die Verankerungen als auch das Zugelement geführt werden.
- (4) Der Ermüdungsnachweis sollte nach EN 1993-1-9 und EN 1990 angewendet werden.

ANMERKUNG Sättel und Klemmen können einen zusätzlichen Einfluss auf den Ermüdungswiderstand des Zugelements haben.

10.2 Verankerungen

- (1) Verankerungen sollten so bemessen werden, dass ihr Ermüdungswiderstand höher ist als der Ermüdungswiderstand des Zugelements.
- (2) Der Ermüdungswiderstand von Verankerungen sollte durch Versuche (nach Anhang A und EN 1993-1-9 für die Bewertung der Prüfungen) oder durch Ermüdungsnachweis nach EN 1993-1-9 bestimmt werden.

ANMERKUNG Ermüdungsversuche für Verankerungen werden an den vollständig zusammengebauten Zuggliedern durchgeführt.

10.3 Zugelemente

(1) Der Ermüdungswiderstand von Zugelementen sollte auf der Grundlage der betreffenden Ermüdungswiderstandskurven aus Bild 10.1 berechnet werden.

ANMERKUNG 1 Die Ermüdungswiderstandskurven sind Kerbfällen zugeordnet.

ANMERKUNG 2 Tabelle 10.1 (NDP) enthält Werte für die Kerbfälle und Parameter für die Ermüdungswiderstandskurven für den Fall, dass im Nationalen Anhang keine anderen Werte angegeben sind.

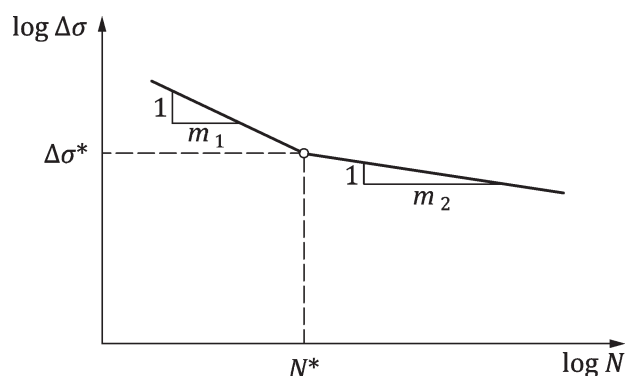


Bild 10.1 — Kurve des axialen Ermüdungswiderstands für Zugelemente

Tabelle 10.1 (NDP) — Kerbfälle $\Delta\sigma_c$ und Parameter für die Kurven des axialen Ermüdungswiderstands

Gruppe	Zugelement	$\sigma_{\text{sup,Cd}}/\sigma_{u,k}$	N^*	m_1	m_2	$\Delta\sigma^*$ N/mm ²	$\Delta\sigma_c$ N/mm ²
A	Zugstab aus Baustahl oder nichtrostendem Stahl	Werte nach EN 1993-1-9					
	Zugstab aus Betonstahl mit Schweißnaht/geschnittenem oder gerolltem Gewinde	$\leq 0,55$	1×10^7	3	5	35	60
	Zugstab aus Spannstahl mit gerolltem Gewinde	$\leq 0,65$	2×10^6	5	5	70	70
B	Offenes Spiralseil mit metall- oder kunstharzvergossener Seilhülse	$\leq 0,45$	5×10^6	4	6	115	145
	Rundlitzenseil	Es liegen keine validierten Werte vor — es sind Qualifizierungsprüfungen nach Abschnitt 11 erforderlich.					
	Vollverschlossenes Spiralseil mit metall- oder kunstharzvergossener Seilhülse	$\leq 0,45$	5×10^6	4	6	115	145
C	Bündel aus parallelen Runddrähten	$\leq 0,45$	2×10^6	4	6	160	160
		$> 0,45$ $\leq 0,55$	2×10^6	4	6	112	112
	Bündel aus parallelen siebendräftigen Litzen	$\leq 0,45$	2×10^6	4	6	160	160
		$> 0,45$ $\leq 0,55$	2×10^6	4	6	112	112

Gruppe	Zugelement	$\sigma_{\text{sup,Cd}}/\sigma_{\text{u,k}}$	N^*	m_1	m_2	$\Delta\sigma^*$ N/mm ²	$\Delta\sigma_c$ N/mm ²
$\sigma_{\text{u,k}} = f_t$	für Zugelemente der Gruppe A aus Betonstahl						
$\sigma_{\text{u,k}} = f_{\text{pk}}$	für Zugelemente der Gruppe A aus Spannstahl						
$\sigma_{\text{u,k}} = F_{\text{uk}}/A_m$	für Zugelemente der Gruppe B						
$\sigma_{\text{u,k}} = f_{\text{uk}}$	für Zugelemente der Gruppe C						

ANMERKUNG 3 Bei nichtrostendem Stahl ist Tabelle 10.1, sofern nicht anders angegeben, nicht anwendbar.

Die in Tabelle 10.1 angegebenen Kerbfälle beziehen sich hauptsächlich auf axiale Ermüdungsbeanspruchungen. Bei kombinierten Ermüdungsbeanspruchungen in Längsrichtung und in seitlicher Richtung sind zusätzliche konstruktive Schutzmaßnahmen erforderlich, um Biegespannungen auf ein Mindestmaß zu verringern.

(2) Die in Tabelle 10.1 angegebenen Kerbfälle gelten nur, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Zugelemente mit Verankerungen sollten die in Anhang A angegebenen Anforderungen erfüllen.
- b) Die Bemessung von Zugelementen, Sätteln und Klemmen sollte Abschnitt 8 entsprechen. Bei Zuggliedern der Gruppe C gelten die Kerbfälle nicht für Sättel des Konstruktionstyps 2.
- c) Der Korrosionsschutz sollte die in Abschnitt 6 angegebenen Anforderungen erfüllen.

(3) Die größte Spannung $\sigma_{\text{sup,Ed}}$, die durch die häufige Einwirkungskombination hervorgerufen wird, sollte wie folgt begrenzt werden:

$$\frac{\sigma_{\text{sup,Ed}}}{\sigma_{\text{sup,Cd}}} \leq 1 \quad (10.1)$$

Dabei ist

$\sigma_{\text{sup,Cd}}$ die größte Spannung nach Tabelle 10.1.

(4) Ermüdungsnachweise sollten entsprechend den folgenden Gleichungen der axialen Ermüdungswiderstandskurve durchgeführt werden:

- a) Für einen gegebenen Bemessungswert für die aufgebrachte Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{Ed}}$ sollte der Bemessungswert der einwirkenden Schwingspielzahl N_{Ed} folgende Bedingung erfüllen:

$$N_{\text{Ed}} \leq \begin{cases} N^* \left(\frac{\Delta\sigma^*/\gamma_{\text{Mf}}}{\Delta\sigma_{\text{Ed}}} \right)^{m_1} & \text{wenn } \Delta\sigma_{\text{Ed}} \geq \Delta\sigma^*/\gamma_{\text{Mf}} \\ N^* \left(\frac{\Delta\sigma^*/\gamma_{\text{Mf}}}{\Delta\sigma_{\text{Ed}}} \right)^{m_2} & \text{wenn } \Delta\sigma_{\text{Ed}} < \Delta\sigma^*/\gamma_{\text{Mf}} \end{cases} \quad (10.2)$$

- b) Für eine gegebene Schwingspielzahl N_c sollte der Bemessungswert für die Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{Ed}}$ folgende Bedingungen erfüllen:

$$\Delta\sigma_{Ed} \leq \begin{cases} \Delta\sigma^*/\gamma_{Mf} \left(\frac{N^*}{N_C}\right)^{\frac{1}{m_1}} & \text{wenn } N_C < N^* \\ \Delta\sigma^*/\gamma_{Mf} \left(\frac{N^*}{N_C}\right)^{\frac{1}{m_2}} & \text{wenn } N_C \geq N^* \end{cases} \quad (10.3)$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_{Ed}$ der Bemessungswert für die Spannungsschwingbreite nach EN 1993-1-9;

N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Schwingspielzahl;

N_C die mit dem charakteristischen Bezugswert des Ermüdungswiderstands $\Delta\sigma_C$ verbundene Schwingspielzahl ($N_C = 2$ Millionen Schwingspiele);

γ_{Mf} der Teilsicherheitsbeiwert für den Ermüdungswiderstand nach EN 1993-1-9.

11 Versuche

(1) Es werden die folgenden Arten von Versuchen unterschieden: Eignungsversuche, Qualifizierungsversuche und produktionsbegleitende Versuche. Die Versuche sollten sowohl für das Zugelement als auch für die Verankerungen durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Qualifizierungsversuche nach EN 1990 können durchgeführt werden, um Tragfähigkeitswerte für ein bestimmtes System zu ermitteln, falls keine harmonisierten Produktnormen oder Europäische Technische Bewertungen vorliegen. Für die statistische Auswertung ist üblicherweise die Durchführung mehrerer Versuche am selben Produkt erforderlich. Qualifizierungsversuche werden speziell für das jeweilige Erzeugnis durchgeführt. Anhang A kann als Grundlage für Qualifizierungsversuche angewendet werden.

ANMERKUNG 2 Bei den produktionsbegleitenden Versuchen handelt es sich um eine Qualitätssicherungsmaßnahme nach EN 1090-1 für die Produktion im Werk oder für die Baustelle. Produktionsbegleitende Versuche können am vollständigen System oder an einzelnen Bauteilen (z.B. einzelnen Litzen oder Drähten) durchgeführt werden. Die produktionsbegleitenden Versuche werden von EN 1993-1-11 nicht abgedeckt. Siehe auch die einschlägigen Produktnormen oder Europäische Technische Bewertungen. Einige der in Anhang A angegebenen Versuche können jedoch als Grundlage für produktionsbegleitende Versuche dienen.

ANMERKUNG 3 Art und Anzahl der erforderlichen Versuche können im Nationalen Anhang festgelegt werden.

(2) Eignungsversuche sollten durchgeführt werden, um zu bestätigen, dass die in diesem Regelwerk angegebenen Bemessungsregeln eingehalten werden und auch dass die verschiedenen Bauteile miteinander verträglich sind. Falls für das Bauvorhaben oder durch Nationale Anforderungen nicht anders festgelegt, ist die Durchführung von Eignungsversuchen auf Zugglieder unter Ermüdungsbeanspruchung beschränkt. Für die Bemessung nach Tabelle 10.1 ist eine verbindliche Bestätigung der Bemessung durch einen Eignungsversuch erforderlich. Eignungsversuche für ein bestimmtes Bauvorhaben sollten nach Anhang A durchgeführt werden.

Anhang A (normativ)

Produkt- und Versuchsanforderungen an Zugglieder

A.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser Normative Anhang enthält zusätzliche Produktanforderungen und Versuchsanforderungen, die in Produktnormen nicht enthalten sind.

A.2 Anwendungsbereich und Geltungsbereich

(1) Dieser Normative Anhang enthält Versuchsanforderungen an Zugglieder.

(2) Die Anforderungen orientieren sich an der spezifischen Verwendung des vorgefertigten Zugglieds einschließlich der Umgebungs- und Belastungsbedingungen.

(3) Die hierin beschriebenen Versuche sollten als Eignungsversuche durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Die hierin beschriebenen Versuche können auch im Rahmen von Qualifizierungsversuche oder produktionsbegleitende Versuche durchgeführt werden.

ANMERKUNG 2 Die hierin beschriebenen Ermüdungsversuche dienen der Eignungsversuche. Für im Rahmen von Qualifizierungsversuche durchzuführende Ermüdungsversuche zur Ermittlung einer Ermüdungswiderstandskurve oder eines Kerbfalls sind zusätzliche Festlegungen hinsichtlich der Versagenskriterien erforderlich. Für diesen Fall siehe prEN 1993-1-9:2023, 8.3(1), ANMERKUNG 2.

A.3 Zugglieder der Gruppe A

A.3.1 Anforderungen an das Zugglied

A.3.1.1 Mechanische Anforderungen

(1) Mechanische Anforderungen an diese Zugelemente sollten 5.2 entsprechen.

(2) Mechanische Anforderungen an deren Verankerungen sollten 8.1(2) und 10.2(1) entsprechen.

A.3.1.2 Korrosionsschutz/Dauerhaftigkeit

(1) Jedes Zugglied sollte mit einem Schutzsystem (z. B. einem metallischen Überzug und/oder einer organischen Beschichtung nach EN 1090-2 und Normenreihe EN ISO 12944) versehen sein oder aus nichtrostendem Stahl (nach EN 1993-1-4) bestehen.

ANMERKUNG Im Falle der Feuerverzinkung von hochfestem Stahl oder kaltverformtem Stahl können zusätzliche Anforderungen festgelegt werden.

(2) Zugelement und Verankerungen desselben Zugglieds sollte einen ähnlichen Schutz aufweisen.

A.3.2 Versuchsanforderungen

A.3.2.1 Merkmale der Zugelemente

(1) Die Zugelemente sollten von dem für den Einsatz im Zugglied vorgesehenen Typ sein.

(2) Die mechanischen Eigenschaften der Zuelemente sollten den Produktnormen entsprechen.

A.3.2.2 Axialer Zugversuch

A.3.2.2.1 Probekörper

(1) Das Zuelement sollte von dem für den Einsatz im Zugglied vorgesehenen Typ sein. Das schließt alle Arten von Korrosionsschutz mit Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften, wie z. B. Feuerverzinkung, ein. Die Einschraublänge der hochfesten Zugstäbe sollte der vorgesehenen Einschraublänge entsprechen.

(2) Dieser Versuch ist an einem vollständig zusammengebauten Zugglied, einschließlich beider Verankerungen und gegebenenfalls der Knotenbleche oder Hülsen, durchzuführen.

(3) Falls die Tragfähigkeit der Verankerungen (z. B. Gabelkopfverbinder einschließlich Bolzen), Knotenbleche oder Hülsen zu ermitteln ist, sollten für diese Versuche hochfeste Zugstäbe verwendet werden, um das Versagen der Verankerungen, Knotenbleche oder Hülsen zu erzwingen.

A.3.2.2.2 Versuchsablauf

(1) Der Probekörper wird nach Bild A.1 in die Prüfmaschine eingebaut.