

DIN EN 1993-1-11**DIN**

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk
siehe unten

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit
Zuggliedern aus Stahl;
Deutsche Fassung EN 1993-1-11:2006 + AC:2009**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-11: Design of structures with tension components;
German version EN 1993-1-11:2006 + AC:2009

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-11: Calcul des structures à câbles ou éléments tendus;
Version allemande EN 1993-1-11:2006 + AC:2009

Ersatzvermerk

Ersatz für DIN EN 1993-1-11:2007-02;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-3:2010-12,
DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-5:2010-12, DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12,
DIN EN 1993-1-8:2010-12, DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-9:2010-12,
DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-10:2010-12, DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12 und
DIN EN 1993-1-11/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18800-1:2008-11;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-8:2010-12,
DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12 und DIN EN 1993-1-11/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18801:1983-09;
Ersatz für DIN EN 1993-1-11 Berichtigung 1:2009-11

Gesamtumfang 45 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1993-1-11:2010-12

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-11:2006 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Die Arbeiten auf nationaler Ebene wurden durch die Experten des NABau-Spiegelausschusses NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung“ begleitet.

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 13. Januar 2006 angenommen.

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

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

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

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen AC AC angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1993-2:2001-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Anhang A der DIN V ENV 1993-2:2001-02 wurde als eigenständiges Dokument DIN EN 1993-1-11 herausgelöst;
- b) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet;
- c) der Vornormcharakter wurde aufgehoben;
- d) der Text wurde vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN 1993-1-11:2007-02, DIN EN 1993-1-11 Berichtigung 1:2009-11, DIN 18800-1:2008-11 und DIN 18801:1983-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) auf europäisches Bemessungskonzept umgestellt;
- b) Ersatzvermerke korrigiert;
- c) Vorgänger-Norm mit der Berichtigung 1 konsolidiert;
- d) redaktionelle Änderungen durchgeführt.

Frühere Ausgaben

DIN 1050: 1934-08, 1937xxxx-07, 1946-10, 1957x-12, 1968-06

DIN 1073: 1928-04, 1931-09, 1941-01, 1974-07

DIN 1073 Beiblatt: 1974-07

DIN 1079: 1938-01, 1938-11, 1970-09

DIN 4100: 1931-05, 1933-07, 1934xxxx-08, 1956-12, 1968-12

DIN 4101: 1937xxx-07, 1974-07

DIN 18800-1: 1981-03, 1990-11, 2008-11

DIN 18800-1/A1: 1996-02

DIN 18801: 1983-09

DIN V ENV 1993-2: 2001-02

DIN EN 1993-1-11: 2007-02

DIN EN 1993-1-11 Berichtigung 1: 2009-11

DIN EN 1993-1-11:2010-12

— Leerseite —

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1993-1-11

Oktober 2006

+AC

April 2009

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-2:1997

Deutsche Fassung

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl

Eurocode 3: Design of steel structures —
Part 1-11: Design of structures with tension components

Eurocode 3: Calcul des structures en acier —
Partie 1-11: Calcul des structures à câbles ou éléments
tendus

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 13. Januar 2006 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 29. April 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-1-11:2006 eingearbeitet.

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

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

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



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

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

© 2009 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten.

Ref. Nr. EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 D

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-11	4
1 Allgemeines	5
1.1 Anwendungsbereich	5
1.2 Normative Verweisungen	6
1.3 Begriffe	7
1.4 Formelzeichen	9
2 Grundlagen für die Tragwerksplanung	9
2.1 Allgemeines	9
2.2 Anforderungen	9
2.3 Einwirkungen	10
2.3.1 Eigengewicht von Zuggliedern	10
2.3.2 Windeinwirkungen	11
2.3.3 Eislasten	11
2.3.4 Thermische Einwirkungen	11
2.3.5 Vorspannung	11
2.3.6 Seil austausch und Seil ausfall	12
2.3.7 Ermüdungsbelastung	12
2.4 Bemessungssituationen und Teilsicherheitsbeiwerte	12
2.4.1 Vorübergehende Bemessungssituationen während der Bauausführung	12
2.4.2 Ständige Bemessungssituationen unter Betriebsbedingungen	13
3 Werkstoffe	13
3.1 Stahlfestigkeiten und Drahtfestigkeiten	13
3.2 Elastizitätsmodul	13
3.2.1 Zugglieder der Gruppe A	13
3.2.2 Zugglieder der Gruppe B	13
3.2.3 Zugglieder der Gruppe C	15
3.3 Wärmeausdehnungskoeffizient	16
3.4 Längenzuschnitt für Zugglieder der Gruppe B	16
3.5 Längen und Herstellungstoleranzen	16
3.6 Reibbeiwerte	16
4 Dauerhaftigkeit von Drähten, Seilen und Litzen	17
4.1 Allgemeines	17
4.2 Korrosionsschutz der Einzeldrähte	17
4.3 Korrosionsschutz in den Drahtzwischenräumen bei Zuggliedern der Gruppe B	17
4.4 Korrosionsschutz der Oberfläche von Zuggliedern der Gruppe B	18
4.5 Korrosionsschutz bei Zuggliedern der Gruppe C	18
4.6 Korrosionsschutzmaßnahmen im Bereich von Anschlüssen	18
5 Tragwerksberechnung	19
5.1 Allgemeines	19
5.2 Vorübergehende Bemessungssituationen während der Bauausführung	19
5.3 Ständige Bemessungssituationen unter Betriebsbedingungen	19
5.4 Nichtlineare Wirkungen infolge Verformungen	20
5.4.1 Allgemeines	20
5.4.2 Wirkung des Seildurchhangs	20
5.4.3 Wirkung der Tragwerksverformung	20
6 Grenzzustände der Tragfähigkeit	20
6.1 Zugstabsysteme	20

6.2	Vorspannstäbe und Zugglieder der Gruppen B und C	21
6.3	Sättel	23
6.3.1	Geometrische Bedingungen	23
6.3.2	Rutschen der Seile auf dem Sattel	24
6.3.3	Querpressung	25
6.3.4	Bemessung der Sättel	26
6.4	Klemmen	26
6.4.1	Rutschen der Klemmen	26
6.4.2	Querpressung	26
6.4.3	Bemessung der Klemmen	27
7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	27
7.1	Gebrauchstauglichkeitskriterien	27
7.2	Spannungsbegrenzungen	28
8	Seilschwingungen	29
8.1	Allgemeines	29
8.2	Maßnahmen zur Reduzierung von Seilschwingungen	30
8.3	Abschätzung der Gefährdung	30
9	Ermüdung	30
9.1	Allgemeines	30
9.2	Veränderliche Seilkräfte	31
Anhang A (informativ) Produkthanforderungen an Zugglieder aus Stahl		32
A.1	Anwendungsbereich	32
A.2	Grundlegende Anforderungen	32
A.3	Werkstoffe	33
A.4	Versuchsanforderungen	33
A.4.1	Allgemeines	33
A.4.2	Hauptzugelemente	34
A.4.3	Litzen und komplette Seile	34
A.4.4	Reibbeiwert	35
A.4.5	Korrosionsschutz	35
Anhang B (informativ) Transport, Lagerung und Handhabung		36
Anhang C (informativ) Glossar		37
C.1	Produkte der Gruppe A	37
C.2	Produkte der Gruppe B	37
C.3	Drahtseilendstücke	39
C.4	Produkte der Gruppe C	40

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-11:2006 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau verantwortlich.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt AC ENV 1993-2, Anhang A AC teilweise.

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

Nationaler Anhang zu EN 1993-1-11

Diese Norm enthält alternative Vorgehensweisen, Zahlenwerte sowie Empfehlungen. Durch besonderen Hinweis (Anmerkungen) sind die Stellen gekennzeichnet, bei denen eine nationale Auswahl getroffen werden darf. EN 1993-1-11 enthält bei der nationalen Einführung einen Nationalen Anhang. Dieser Anhang legt die nationalen Parameter fest, die für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl verwendet werden müssen.

Eine nationale Wahl darf für folgende Abschnitte erfolgen:

2.3.6(1)	6.2(2)
2.3.6(2)	6.3.2(1)
2.4.1(1)	6.3.4(1)
3.1(1)	6.4.1(1)P
4.4(2)	7.2(2)
4.5(4)	A.4.5.1(1)
5.2(3)	A.4.5.2(1)
5.3(2)	B(6)

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

(1) EN 1993-1-11 regelt die Bemessung und die Konstruktion von Zuggliedern aus Stahl, die aufgrund ihrer Anschlussausbildung nachstellbar und austauschbar sind, siehe Tabelle 1.1.

ANMERKUNG Aufgrund der Anforderung, dass die Zugglieder nachstellbar und austauschbar sind, handelt es sich bei Zuggliedern im Allgemeinen um vorgefertigte Produkte, die in dem Tragwerk installiert werden. Nicht nachstellbare oder austauschbare Zugglieder, z. B. luftgesponnene Hauptkabel von Hängebrücken oder externe Spannglieder im Spannbetonbau, befinden sich, obwohl ein Teil der hier angegebenen Regeln anwendbar wäre, außerhalb des Anwendungsbereiches von EN 1993-1-11.

(2) Die Regeln ermöglichen, technische Anforderungen an vorgefertigte Zugglieder festzulegen und ihre Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit nachzuweisen.

Tabelle 1.1 — Gruppen von Zuggliedern

Gruppe	Hauptsächlicher Bestandteil bzw. Grundelement	Zugglied
A	Zugstab	Zugstabsystem, Vorspannstab
B	Runddraht	Offenes Spiralseil
	Rund- und Z-Draht	Vollverschlossenes Spiralseil
	Rund- und Litzendraht	Rundlitzenseil
C	Runddraht	Paralleldrahtlitze
	Runddraht	Paralleldrahtbündel
	Sieben-Drähte-(Vorspann-)Litze	Litzenbündelseil

ANMERKUNG 1 Produkte der Gruppe A sind Zugstäbe und Zugstabsysteme, die im Allgemeinen aus runden Vollstäben bestehen, mit Gewinden an den Enden. Die Anwendung erfolgt im Wesentlichen bei

- Verbänden für Dächer, Wände und Träger;
- Abspannungen für Dachelemente und Pylone;
- Zugstabsystemen in Stahl-Holz-Fachwerken und Stahltragwerken sowie Raumfachwerken.

ANMERKUNG 2 Produkte der Gruppe B bestehen aus Drähten, die in Seilköpfen oder anderen Endstücken verankert sind. Sie werden hauptsächlich mit Durchmessern im Bereich von 5 mm bis 160 mm hergestellt, siehe EN 12385-2.

Offene Spiralseile finden hauptsächlich Verwendung als

- Abspannungen: für Antennen, Kamine, Maste und Brücken;
- Tragseile und Randseile: für Leichtbautragwerke;
- Hängern und Kabeln: für Hängebrücken;
- Stabilisierungsseile: für Seilnetzwerke und Holz- und Stahlfachwerke;
- Handlaufseile: für Geländer, Balkone, Brückengeländer und Leiteinrichtungen.

Vollverschlossene Spiralseile werden mit Durchmessern von 20 mm bis 180 mm hergestellt. Sie finden hauptsächlich Verwendung als

- Schrägseile, Hängeseile und Hänger: für Brückenbauwerke;
- Tragseile und Abspannseile: für Seiltragwerke;
- Randseile: für Seilnetze;
- Abspannseile: für Pylone, Maste und Antennen.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

Rundlitzenseile finden hauptsächlich Verwendung als

- Abspannseile: für Maste und Antennen;
- Hänger: von Hängebrücken;
- Dämpfer, Verbindungsseile: zwischen Schrägseilen;
- Randseile: für Membrankonstruktionen;
- Geländerseile: für Geländer, Balkone, Brücken und Leiteinrichtungen.

ANMERKUNG 3 Produkte der Gruppe C umfassen Paralleldrahtbündel und Litzenbündelseile, die entweder einzeln oder im Bündel verankert und gegen Korrosion geschützt sind.

Paralleldrahtbündel werden im Wesentlichen bei Schrägseilen, Hauptkabeln von Hängebrücken und als externe Vorspannglieder verwendet.

Litzenbündelseile finden hauptsächlich als Schrägseile für Verbund- oder Stahlbrücken Verwendung.

(4) Folgende Endverankerungen werden in EN 1993-1-11 für Produkte der Gruppe B oder C behandelt:

- Seilköpfe mit Metall- oder Kunstharzverguss, siehe EN 13411-4;
- Seilköpfe mit Zementmörtelverguss;
- verpresste Seilschlaufen, siehe EN 13411-3;
- angepresste Seilköpfe und Anschlussstücke;
- Reibverankerungen mit U-förmigem Klemmbügel, siehe EN 13411-5;
- Bündelverankerungen mit Keilen, kaltgeformten Drahtköpfen oder Muttern für Zugstäbe.

ANMERKUNG Anhang C gibt Hinweise zur Terminologie.

1.2 Normative Verweisungen

(1) Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

EN 10138, *Spannstähle*

Teil 1: *Allgemeine Anforderungen*

Teil 2: *Draht*

Teil 3: *Litze*

Teil 4: *Stäbe*

EN 10244, *Stahldraht und Drahterzeugnisse — Überzüge aus Nichteisenmetall auf Stahldraht*

Teil 1: *Allgemeine Regeln*

Teil 2: *Überzüge aus Zink und Zinklegierungen*

Teil 3: *Überzüge aus Aluminium*

EN 10264, *Stahldraht und Drahterzeugnisse — Stahldraht für Seile*

Teil 1: *Allgemeine Anforderungen*

Teil 2: *Kaltgezogener Draht aus unlegiertem Stahl für Seile für allgemeine Verwendungszwecke*

Teil 3: *Runder und profilierter Draht aus unlegiertem Stahl für hohe Beanspruchungen*

Teil 4: *Draht aus nicht rostendem Stahl*

EN 12385, *Drahtseile aus Stahldraht — Sicherheit*

Teil 1: *Allgemeine Anforderungen*

Teil 2: *Begriffe, Bezeichnung und Klassifizierung*

Teil 3: *Information über Gebrauch und Instandhaltung*

Teil 4: *Litzenseile für allgemeine Hebezwecke*

Teil 10: *Spiralseile für den allgemeinen Baubereich*

EN 13411, *Endverbindungen für Drahtseile aus Stahldraht — Sicherheit*

Teil 3: *Verpresste Seilschlaufen*

Teil 4: *Vergießen mit Metall oder Kunstharz*

Teil 5: *Drahtseilklemmen mit U-förmigem Klemmbügel*

1.3 Begriffe

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

1.3.1

Litze

ein Seilelement, üblicherweise bestehend aus einer Anordnung von Drähten mit geeignetem Querschnitt und Abmessungen, die spiralförmig lagenweise gleichgerichtet oder gegengerichtet um ein Zentralstück gelegt sind

1.3.2

Rundlitzenseil

eine Anordnung von mehreren Litzen, die spiralförmig einlagig oder lagenweise um einen Kern (Seil mit einer Lage) oder ein Zentralstück (drillfreies oder parallel geschlossenes Seil) gelegt sind

1.3.3

Spiralseil

eine Anordnung von mindestens zwei Drahtlagen, die spiralförmig um ein Zentralstück (üblicherweise einen Draht) gelegt sind

1.3.4

Offenes Spiralseil

Spiralseil nur aus Runddrähten

1.3.5

Vollverschlossenes Spiralseil

Spiralseil mit einer äußeren Lage von vollverschlossenen (Z-)Drähten

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

1.3.6**Füllfaktor***f*

Verhältnis der Summe der Nennquerschnittsflächen A der Drähte in einem Seil und der umschriebenen Fläche A_U des Seiles mit dem Nenndurchmesser d

1.3.7**Seilverlustfaktor***k*

im Bruchlastfaktor K enthaltener Abminderungsbeiwert infolge Verseilung

1.3.8**Bruchlastfaktor***K*

ein empirischer Faktor für die Bestimmung der Mindestbruchlast eines Seiles:

$$K = \frac{\pi f k}{4}$$

Dabei ist

f der Füllfaktor des Seils;

k der Abminderungsfaktor für Verdrillung.

ANMERKUNG *K*-Faktoren werden für die häufigsten Seilklassen und Bauarten in den entsprechenden Teilen von EN 12385 angegeben.

1.3.9**Mindestbruchlast***F_{min}*

die Mindestbruchlast ist in der Regel folgendermaßen anzusetzen:

$$F_{\min} = \frac{d^2 R_r K}{1\,000} \text{ in kN}$$

Dabei ist

d der Nenndurchmesser in mm;

K der Bruchlastfaktor;

R_r die Seilfestigkeit in N/mm².

1.3.10**Seilfestigkeit***R_r*

ein Niveau für die Anforderung an die Bruchlast, die durch einen Wert (z. B. 1 770 N/mm² oder 1 960 N/mm²) bezeichnet wird

ANMERKUNG Die Einzeldrahtfestigkeit für das Seil entspricht nicht notwendigerweise diesen Werten.

1.3.11**Einheitsgewicht***w*

Seileigengewicht bezogen auf den metallischen Querschnitt A_m und die Einheitslänge unter Berücksichtigung der Wichten des Stahls und des Korrosionsschutzsystems

1.3.12**Seil**

Hauptzugelement in einem Tragwerk (z. B. einer Schrägseilbrücke), das aus einem Spiralseil, einem Rundlitzenseil, einem Paralleldrahtbündel oder einem Litzenbündelseil bestehen kann

1.4 Formelzeichen

- (1) Es gelten die Formelzeichen in EN 1993-1-1, 1.6 und EN 1993-1-9, 1.6.
- (2) Weitere Formelzeichen werden erklärt, wenn sie im Text zum ersten Mal erscheinen.

ANMERKUNG Formelzeichen dürfen verschiedene Bedeutungen haben.

2 Grundlagen für die Tragwerksplanung**2.1 Allgemeines**

- (1)P Für den Entwurf, die Bemessung und die Berechnung von Tragwerken mit Zuggliedern gelten die Anforderungen der EN 1990.
- (2) Zusätzlich gelten die in dieser Norm angegebenen Anforderungen an Zugglieder.
- (3) In Bezug auf die Dauerhaftigkeit darf nach den folgenden Anforderungsklassen unterschieden werden:

Tabelle 2.1 — Anforderungsklassen

Ermüdungsbeanspruchung	Korrosionsbeanspruchung	
	äußeren Umwelteinflüssen nicht ausgesetzt	äußeren Umwelteinflüssen ausgesetzt
keine signifikante Ermüdungsbeanspruchung	Klasse 1	Klasse 2
Ermüdungsbeanspruchung im Wesentlichen durch Längskräfte	Klasse 3	Klasse 4
Ermüdungsbeanspruchung durch Längskräfte und Biegung (Wind und Regen)	—	Klasse 5

- (4) Die Anschlüsse von Zuggliedern an das Tragwerk sind in der Regel austauschbar und nachstellbar auszubilden.

2.2 Anforderungen

- (1)P Bei Entwurf, Bemessung und Berechnung von Zuggliedern müssen folgende Grenzzustände beachtet werden:

- 1) Tragfähigkeit: Nachweis, dass der Bemessungswert der Längskräfte unter dem Bemessungswert der Zugtragfähigkeit liegt, siehe Abschnitt 6.
- 2) Gebrauchstauglichkeit: Begrenzung der Höhe der Spannungen und Dehnungen im Bauteil, siehe Abschnitt 7.

ANMERKUNG Wegen der vorherrschenden Dauerhaftigkeitsaspekte können die Gebrauchstauglichkeitsnachweise maßgebend sein und besondere Tragfähigkeitsnachweise überflüssig machen.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

- 3) Ermüdung: Begrenzung der Spannungsschwingbreiten aus veränderlichen Längskräften und aus Schwingungen infolge Wind- oder Regen-Wind-Erregung, siehe Abschnitt 8 und Abschnitt 9.

ANMERKUNG Aufgrund der Modellunsicherheit bei der Beschreibung des Erregungsmechanismus von Zuggliedern sind in der Regel ergänzend zu den Ermüdungsnachweisen zusätzliche Gebrauchstauglichkeitsnachweise zu führen.

(2) Zur Vermeidung einer möglichen Entlastung von Zuggliedern (d. h. Spannungsabfall unter null, der zu unkontrollierten Verformungen, Ermüdungsbeanspruchungen oder Beschädigungen von tragenden oder nicht tragenden Bauteilen führen kann) sowie bei bestimmten Arten von Seiltragwerken werden Zugelemente durch eingeprägte Verformungen (Vorspannungsmaßnahmen) vorgespannt.

Infolgedessen bestehen die ständigen Einwirkungen aus Schwerkraftwirkungen „G“ und der Vorspannung „P“, die in der Regel als eine einzige einheitliche Einwirkung „G + P“ anzusetzen und auf die der maßgebende Teilsicherheitsbeiwert γ_{Gi} anzuwenden ist, siehe Abschnitt 5.

ANMERKUNG Für andere Werkstoffe und Bauweisen können andere Regeln für die Kombination von „G“ und „P“ gelten.

(3) Anschlüsse an vorgefertigte Zugglieder, wie Sättel oder Klemmen, sind in der Regel für ausreichende Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit mit Einwirkungen zu bemessen, die der Bruchlast oder Prüflast des Seiles entsprechen, siehe Abschnitt 6. EN 1993-1-9 gibt Hinweise zur Ermüdungsfestigkeit.

ANMERKUNG Die Ermüdungsbelastung der Seile ist von dem kleinsten Radius (siehe Bild 6.1) am Sattel oder an der Verankerung abhängig.

2.3 Einwirkungen

2.3.1 Eigengewicht von Zuggliedern

(1) Der charakteristische Wert des Eigengewichts von Zuggliedern und ihren Anschlüssen ist in der Regel aus der Querschnittsfläche und den Wichten der verwendeten Werkstoffe zu ermitteln, wenn nicht auf Angaben in EN 12385 zurückgegriffen werden kann.

(2) Bei \square AC) offenen Spiralseilen, vollverschlossenen Spiralseilen und Rundlitzenseilen \square AC) darf der Nennwert des Eigengewichts g_k wie folgt bestimmt werden:

$$g_k = w A_m \quad (2.1)$$

Dabei ist

A_m die metallische Querschnittsfläche in mm^2 ;

w das Einheitsgewicht, das die Wichten des Stahls und des Korrosionsschutzes berücksichtigt, in N/mm^3 , siehe Tabelle 2.2.

(3) A_m darf wie folgt ermittelt werden:

$$A_m = \frac{\pi d^2}{4} f \quad (2.2)$$

Dabei ist

d der Außendurchmesser des Seiles oder der Litze (einschließlich Hüllrohr, falls vorhanden) in mm;

f der Füllfaktor, siehe Tabelle 2.2.

Tabelle 2.2 — Einheitsgewicht w und Füllfaktor f

		Füllfaktor f						Einheits- Gewicht $w \times 10^{-7}$ $\frac{N}{mm^3}$	
		Kerndrähte + 1 Lage Z-Drähte	Kerndrähte + 2 Lagen Z-Drähte	Kerndrähte + > 2 Lagen Z-Drähte	Anzahl der Drahtlagen um Kerndraht				
					1	2	3-6		> 6
1	Offene Spiralseile				0,77	0,76	0,75	0,73	830
2	Vollverschlos- sene Spiralseile	0,81	0,84	0,88					830
3	Rundlitzenseile				0,56				930

(4) Bei Paralleldrahtbündeln oder Litzenbündelseilen darf der metallische Querschnitt wie folgt bestimmt werden:

$$A_m = n a_m \quad (2.3)$$

Dabei ist

n die Anzahl identischer Drähte oder Litzen im Seil;

a_m die Querschnittsfläche eines Drahtes (auf der Basis des Durchmessers) oder einer (Vorspann-)Litze (entsprechend der jeweiligen Produktnorm).

(5) Bei Zuggliedern der Gruppe C ist das Eigengewicht in der Regel aus dem Gewicht der einzelnen Drähte oder Litzen und dem Gewicht des Korrosionsschutzes (HDPE, Wachs usw.) zu ermitteln.

2.3.2 Windeinwirkungen

(1) Folgende Windeffekte sind in der Regel zu berücksichtigen:

- die statischen Auswirkungen der Windkräfte auf die Seile, siehe EN 1991-1-4, einschließlich der Durchbiegungen und Biegemomente an den Seilenden,
- aerodynamische und andere Erregungen, die zu Schwingungen führen können, siehe Abschnitt 8.

2.3.3 Eislasten

(1) EN 1993-3-1, Anhang B enthält Hinweise zu Eislasten.

2.3.4 Thermische Einwirkungen

(1) Bei thermischen Einwirkungen ist in der Regel auch die Wirkung von Temperaturunterschieden zwischen den Seilen und dem restlichen Tragwerk zu berücksichtigen.

(2) Bei äußeren Umwelteinflüssen ausgesetzten Seilen ist in der Regel die Wirkung von Temperaturunterschieden nach EN 1991-1-5 zu berücksichtigen.

2.3.5 Vorspannung

(1) Die erforderlichen Vorspannungen sind in der Regel so einzustellen, dass das Tragwerk nach Aufbringung aller ständigen Einwirkungen die geforderte geometrische Form und Spannungsverteilung erreicht.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

(2) Dazu sind in der Regel Möglichkeiten für Vorspann- und Nachspannmaßnahmen vorzusehen. Der zur Erfüllung der Anforderung in (1) notwendige Wert der Vorspannung ist in der Regel als charakteristischer Wert bei den jeweiligen Nachweisen zu berücksichtigen.

(3) Ist das Nachspannen nicht vorgesehen, ist in der Regel die Auswirkung einer möglichen Ungenauigkeit der Vorspannung bei Entwurf, Bemessung und Berechnung des Tragwerkes zu berücksichtigen.

2.3.6 Seilaustausch und Seilausfall

(1) Bei Entwurf und Bemessung des Tragwerkes ist in der Regel mindestens der Austausch von je einem Zugglied als vorübergehende Bemessungssituation vorzusehen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf die Randbedingungen für diese vorübergehende Bemessungssituation sowie die Teilsicherheitsbeiwerte für den Austausch festlegen.

(2) Erforderlichenfalls ist die außergewöhnliche Bemessungssituation eines plötzlichen Seilausfalls ebenfalls zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang darf die Bedingungen für die Berücksichtigung dieser außergewöhnlichen Bemessungssituation festlegen sowie die zugehörigen Schutzziele und die Belastungssituation angeben, z. B. für Brückenhänger.

ANMERKUNG 2 Anstelle einer genaueren dynamischen Berechnung darf der plötzliche Seilausfall auf der sicheren Seite durch Ansatz der folgenden statischen Ersatzschnittgrößen E_d berücksichtigt werden:

$$\boxed{\text{AC}} E_d = k(E_{d2} - E_{d1}) \boxed{\text{AC}} \quad (2.4)$$

Dabei ist

$$k = 1,5$$

E_{d1} die statischen Schnittgrößen bei intaktem Seil;

E_{d2} die statischen Schnittgrößen bei Weglassen des Seils.

2.3.7 Ermüdungsbelastung

(1) EN 1991 gibt Hinweise zu Ermüdungslasten.

2.4 Bemessungssituationen und Teilsicherheitsbeiwerte

2.4.1 Vorübergehende Bemessungssituationen während der Bauausführung

(1) Bei Montagenachweisen darf der Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen an den jeweiligen Grenzzustand und die jeweilige Bemessungssituation angepasst werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Gi} für die Montagenachweise festlegen. Folgende Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Gi} werden empfohlen:

- $\gamma_G = 1,10$ für kurzzeitige Zustände (nur wenige Stunden) bei Einbau der ersten Litze bei Litze-für-Litze Montage,
- $\gamma_G = 1,20$ für den Einbau weiterer Litzen,
- $\gamma_G = 1,00$ bei günstiger Wirkung.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

(2) Um stabile Werte für den Elastizitätsmodul für die statische Berechnung für ständige Bemessungssituationen nach Fertigstellung zu erhalten, ist dieser in der Regel für jeden Seiltyp und jeden Durchmesser durch Messung des Sekantenmoduls nach ausreichender Anzahl von Lastzyklen zwischen F_{inf} und F_{sup} (mindestens 5 Zyklen) zu bestimmen. Dabei ist F_{inf} die kleinste Seilkraft und F_{sup} die größte Seilkraft infolge der charakteristischen Werte der ständigen und veränderlichen Lasten.

(3) Bei kurzen Prüfstücken (Probenlänge $\leq 10 \times$ Schlaglänge) ist in der Regel von geringeren Kriechverformungen als bei langen Seilprüfstücken auszugehen.

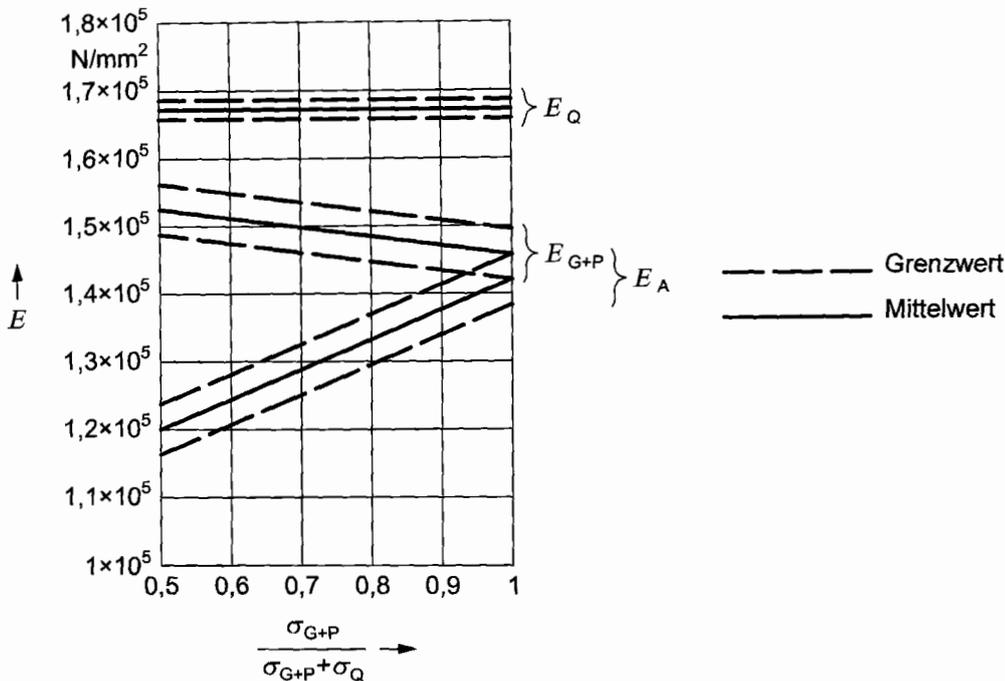
ANMERKUNG 1 Liegen keine genaueren Angaben vor, so darf diese Wirkung durch eine zusätzliche Verkürzung von 0,15 mm/m beim Zuschnitt der Prüfstücke berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Liegen keine Prüfergebnisse vor, dürfen die in Tabelle 3.1 angegebenen Nennwerte des Elastizitätsmoduls als erste Schätzwerte verwendet werden. Weitere Angaben sind in EN 10138 zu finden.

Tabelle 3.1 — Elastizitätsmodul E_Q für veränderliche Lasten Q

	Zugglied	E_Q kN/mm ²	
		Stahldrähte	nichtrostende Stahldrähte
1	Offene Spiralseile	150 ± 10	130 ± 10
2	vollverschlossene Spiralseile	160 ± 10	—
3	Rundlitzenseile mit CWR	100 ± 10	90 ± 10
4	Rundlitzenseile mit CF	80 ± 10	—
5	Paralleldrahtbündel	205 ± 5	—
6	Litzenbündelseil	195 ± 5	—

ANMERKUNG 3 Für die überschlägliche Ermittlung des Nennwertes des Elastizitätsmoduls von vollverschlossenen Spiralseilen darf Bild 3.1 verwendet werden. Diese Schätzwerte gelten für zyklische Belastung zwischen 30 % und 40 % der rechnerischen Bruchfestigkeit F_{uk} .



- σ_{G+P} Spannung unter charakteristischen ständigen Lasten
 σ_Q Maximalspannung unter charakteristischen veränderlichen Lasten
 E_Q Elastizitätsmodul für ständige Bemessungssituationen während der Nutzung
 E_{G+P} Elastizitätsmodul zur Verwendung bei Berechnungen für vorübergehende Bemessungssituationen während der Montage bis zum Niveau der ständigen Einwirkungen G+P
 E_A Elastizitätsmodul für den Längenzuschnitt
 [AC] gestrichener Text [AC]

Bild 3.1 — Elastizitätsmodul E für nicht vorgereckte, voll verschlossene Seile für Brücken

ANMERKUNG 4 Da nicht vorgereckte Seile der Gruppe B bei Erstbelastung sowohl elastische als auch bleibende Verformungen zeigen, wird empfohlen, vor oder nach dem Einbau bis zu maximal $0,45 \sigma_{uk}$ vorzurrecken. Für den Längenzuschnitt sind Seile in der Regel ebenfalls vorzurrecken; die Nachstellmöglichkeiten bestimmen hierbei die erforderliche Präzision der Vorreckung.

ANMERKUNG 5 Für die Anwendbarkeit von Bild 3.1 gelten folgende Annahmen:

- Schlaglänge $> 10 \times$ Durchmesser
- Mindestspannung ist 100 N/mm^2 .

Die Mindestspannung ist der untere Grenzwert zur Erreichung linearen Verhaltens.

3.2.3 Zugglieder der Gruppe C

(1) Der Elastizitätsmodul für Zugglieder der Gruppe C darf EN 10138 oder Tabelle 3.1 entnommen werden.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

3.3 Wärmeausdehnungskoeffizient

(1) Der Wärmeausdehnungskoeffizient ist in der Regel wie folgt anzunehmen:

$$\alpha_T = 12 \times 10^{-6} \text{ in } 1/^\circ\text{C für Stahldrähte;} \quad (3.1)$$

$$\alpha_T = 16 \times 10^{-6} \text{ in } 1/^\circ\text{C für nichtrostende Stahldrähte.}$$

3.4 Längenzuschnitt für Zugglieder der Gruppe B

(1) Litzen dürfen für den Längenzuschnitt nur für die vorgeschriebene Vorrecklast markiert werden.

(2) Für einen exakten Längenzuschnitt sind in der Regel folgende Daten zu beachten:

- Messwerte der Seilverlängerung zwischen σ_A und σ_{G+P} nach zyklischer Belastung nach 3.2.2 (2),
- Temperaturunterschied zwischen der Bezugstemperatur (üblicherweise $T_0 = 10^\circ\text{C}$) und der Temperatur beim Längenzuschnitt,
- Langzeitseilkriechen unter Lasten,
- zusätzliche Seilverlängerung nach Einbau von Seilklemmen,
- Verformungen nach Erstbelastung.

ANMERKUNG Das Seilkriechen und die Seilkopfsetzung nach Abkühlung des Vergusses und nach Erstbelastung werden erst nach einer gewissen Belastungszeit im Bauwerk zum Stillstand kommen, so dass während der Montage, wenn diese Verformungen noch nicht abgeklungen sind, größere Seilkräfte notwendig sein können.

3.5 Längen und Herstellungstoleranzen

(1) Die Gesamtlänge des Seiles und alle Messpunkte für den Anschluss von Sätteln oder Klemmen sind in der Regel unter definierter Vorspannung zu markieren.

ANMERKUNG Für die Prüfung der Gesamtlänge nach dem Einbau können zusätzliche Kontrollmarkierungen angebracht sein.

(2) Die Herstellungstoleranzen sind in der Regel auf den Zustand nach Vorreckung und zyklischer Vorbelastung zu beziehen.

(3) Reagieren Seilkonstruktionen empfindlich auf Abweichungen von den Nennabmessungen (z. B. durch Kriechen), sind in der Regel Nachstellmöglichkeiten vorzusehen.

3.6 Reibbeiwerte

(1) Der Reibbeiwert zwischen vollverschlossenen Spiralseilen und stählernen Anschlüssen (Klemmen, Sättel, Pressstücke) ist in der Regel aus Versuchen zu ermitteln.

ANMERKUNG Die Reibkräfte dürfen infolge der Erhöhung der Seilkraft und der damit verbundenen Querschnittsreduktion abnehmen.

(2) Bei anderen Seiltypen ist der Reibbeiwert in der Regel ebenfalls aus Versuchen zu bestimmen, siehe Anhang A.

4 Dauerhaftigkeit von Drähten, Seilen und Litzen

4.1 Allgemeines

(1) Bei Zuggliedern der Gruppe B oder C mit den Anforderungsklassen 2, 4 und 5 nach Tabelle 2.1 sollte das Korrosionsschutzsystem in der Regel aus folgenden Komponenten bestehen:

- 1) Korrosionsschutz der Einzeldrähte;
- 2) Korrosionsschutz in den Drahtzwischenräumen, um das Eindringen von Feuchtigkeit zu vermeiden;
- 3) Korrosionsschutz der Seiloberfläche.

(2) Die Zugglieder der Gruppe C nach Tabelle 1.1 sollten zwei Korrosionsschutzkomponenten besitzen; diese beiden Korrosionsschutzkomponenten sind durch eine Fuge oder Verfüllen der Zwischenräume zu trennen.

(3) An Fugen zu Klemmen und Verankerungen sind in der Regel zusätzliche Korrosionsschutzmaßnahmen vorzusehen, um das Eindringen von Wasser zu verhindern.

(4) Anhang B gibt Hinweise zu Transport, Lagerung und Handhabung.

4.2 Korrosionsschutz der Einzeldrähte

(1) Bei Stahldrähten der Gruppen B und C sind in der Regel Überzüge aus Zink oder Zinklegierungen vorzusehen.

(2) Bei Runddrähten in Zuggliedern der Gruppe B müssen die Überzüge aus Zink oder Zinklegierungen in der Regel EN 10264-2, Klasse A entsprechen; für Formdrähte gilt in der Regel EN 10264-3, Klasse A.

ANMERKUNG 1 Der Korrosionsschutz von Z-Drähten wird im Allgemeinen mit schwererem Zinküberzug bis zu 300 g/m² ausgeführt, um die Abminderung der Beschichtungsdicke an scharfen Ecken zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 Drähte mit Zn95Al5-Überzügen liefern einen besseren Korrosionsschutz als verzinkte Drähte mit gleicher Verzinkungsdicke. Rund- und Z-Drähte sind mit Zn95Al5-Überzügen normaler Beschichtungsdicke herstellbar.

(3) Die Überzüge bei Drähten der Gruppe C müssen in der Regel EN 10138 entsprechen.

4.3 Korrosionsschutz in den Drahtzwischenräumen bei Zuggliedern der Gruppe B

(1) Alle inneren Zwischenräume sind in der Regel mit einem aktiven oder passiven Füllmittel zu verfüllen; die Füllmittel dürfen nicht durch Wasser, Hitze oder Schwingungen verdrängt werden.

ANMERKUNG 1 Aktive Füllmittel basieren auf Polyurethan-Öl mit Zinkstaub.

ANMERKUNG 2 Passive Füllmittel können dauerhaft elastisch-plastische Wachse oder Aluminiumflocken in Kohlenwasserstoff-Harzen sein.

ANMERKUNG 3 Füllmittel, die bei der Herstellung des Zuggliedes (Verseilen) aufgebracht werden, können bei Belastung des Seils ausbluten. In diesem Fall sind in der Regel entsprechende weitere Korrosionsschutzmaßnahmen an der Oberfläche zu treffen.

ANMERKUNG 4 Bei der Wahl der Füllstoffe ist in der Regel Unverträglichkeit mit den anderen Korrosionsschutzmaßnahmen auszuschließen.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

4.4 Korrosionsschutz der Oberfläche von Zuggliedern der Gruppe B

(1) Nach der Montage wird in der Regel ein weiterer Korrosionsschutz aufgebracht, um Verletzungen des ursprünglichen Korrosionsschutzes zu beseitigen und einen Zinkabtrag auszugleichen.

ANMERKUNG Dieser Korrosionsschutz darf aus einer Polyethylen-Ummantelung oder einer mit Zink angereicherten Beschichtung bestehen. Im Falle einer Polyethylen-Ummantelung beträgt die Mindestdicke in der Regel 1/15 des äußeren Seildurchmessers, mindestens jedoch 3 mm. In der Regel sind folgende Mindestdicken für Beschichtungen zu wählen:

- 2 × 50 µm Grundbeschichtungen, Polyurethan mit Zinkstaub;
- 2 × 125 µm Deckbeschichtungen, Polyurethan mit Eisenglimmer.

(2) Bei Seilen mit Drähten und Endstücken aus nichtrostendem Stahl ohne weiteren Korrosionsschutz ist in der Regel die maßgebliche Korrosionswiderstandsklasse zu beachten.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang darf Korrosionswiderstandsklassen für nichtrostenden Stahl festlegen.

ANMERKUNG 2 Bei Zn95Al5-beschichtete Drähten kann, bei gleichem Korrosionsangriff, von einem bis zu 3-fach höheren Korrosionswiderstand als bei Drähten mit schwererem Zinküberzug ausgegangen werden.

4.5 Korrosionsschutz bei Zuggliedern der Gruppe C

(1) Zugglieder der Gruppe C sollten üblicherweise ummantelt sein, wobei als Ummantelung in der Regel Stahlrohre oder Polyethylen-Rohre nach den maßgebenden Normen zu verwenden sind. Der Zwischenraum zwischen der Ummantelung und dem Seil ist in der Regel mit geeigneten Korrosionsschutzmedien bzw. Zementmörtel zu füllen.

(2) Es ist auch möglich, anstelle einer Außenummantelung jede Einzellitze oder jedes Einzelseil mit einer Polyethylenhülle oder einer Epoxidbeschichtung zu versehen.

(3) Die Ummantelung der Seile ist in der Regel an der Verbindungsstelle zur Verankerung vollständig **AC** wasserundurchlässig **AC** auszuführen. Die Enden und Stöße der Ummantelung sind in der Regel so auszulegen, dass diese bei der aufgetragenen Zugbeanspruchung nicht brechen.

(4) Zwischenräume sind in der Regel mit zusammenhängenden hydrophoben Materialien zu verfüllen, die keine schädigende Wirkung auf die Hauptzugglieder ausüben. Alternativ darf ein Seil durch in der Ummantelung zirkulierende trockene Luft geschützt werden.

ANMERKUNG 1 Als zusammenhängend hydrophob gelten weiche Füllmittel, z. B. Fett, Wachs und weiche Harze, oder harte Füllmittel, z. B. Zement. Die Eignung der Füllmittel ist in der Regel durch Versuche nachzuweisen. Die Wahl des Füllmittels darf im Nationalen Anhang festgelegt werden.

ANMERKUNG 2 Der Korrosionsschutz der Tragkabel von Hängebrücken erfordert besondere Anforderungen. Nach der Verdichtung des Tragkabels zu dem erforderlichen Querschnitt erhält das Kabel eine Umwicklung aus vorgespanntem, verzinktem, biegsamem Draht, wobei die Hohlstellen zwischen dem Tragkabel und der Umwicklung mit geeignetem Kitt gefüllt werden. Nach Beseitigung des überflüssigen Kitts auf der Wickeloberfläche wird diese gereinigt und beschichtet. Besondere Maßnahmen sind an den Kabelverankerungen erforderlich, wo die Umwicklung fehlt. Die Entfeuchtung der Luft um die Drähte ist eine gängige Schutzmethode.

4.6 Korrosionsschutzmaßnahmen im Bereich von Anschlüssen

(1) Konstruktiv ist zu verhindern, dass an den Seilen entlanglaufendes Wasser in Klemmen, Sättel und Verankerungen eindringen kann.

(2) Anschlüsse von Seiltragwerken sind in der Regel zu versiegeln.

5 Tragwerksberechnung

5.1 Allgemeines

(1)P Tragwerksberechnungen müssen für

- 1) vorübergehende Bemessungssituationen während der Montage,
- 2) ständige Bemessungssituationen unter Betriebsbedingungen

und die entsprechenden Grenzzustände durchgeführt werden.

5.2 Vorübergehende Bemessungssituationen während der Bauausführung

(1) Der Bauablauf mit der Konfektionierung der Seile, der Vorspannung sowie der spannungslosen Werkstattform des Tragwerks ist in der Regel so zu planen, dass die folgenden Bedingungen erfüllt werden:

- Erreichen der geforderten Tragwerksform;
- Erreichen einer ständigen Spannungsverteilung, die alle Gebrauchstauglichkeits- und Tragfähigkeitsanforderungen für die verschiedenen Bemessungssituationen erfüllt.

(2) Für die Durchführung von Prüfmaßnahmen während des gesamten Bauablaufes (z. B. für die Messung der Form, Gradienten, Verformungen, Frequenzen und Kräfte) sind in der Regel die dazugehörigen Berechnungen mit charakteristischen Werten der ständigen Lasten, eingepprägten Verformungen und Nutzlasten durchzuführen.

(3) Werden Grenzzustände der Tragfähigkeit während des Vorspannvorganges durch gegensätzliche Wirkungen des Eigengewichtes „G“ und der Vorspannung „P“ bestimmt, so ist in der Regel ein eigener Teilsicherheitsbeiwert γ_P für „P“ anzuwenden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Werte für γ_P angeben. Der Wert $\gamma_P = 1,0$ wird empfohlen.

5.3 Ständige Bemessungssituationen unter Betriebsbedingungen

(1) Bei allen ständigen Bemessungssituationen unter Betriebsbedingungen sind in der Regel die ständigen Einwirkungen „G“ aus Eigengewicht und aus den Vorbelastungen und Vorspannmaßnahmen „P“ in einer einzigen ständigen Einwirkung „G+P“, die zu der endgültigen Form des Tragwerks gehört, zusammenzufassen.

(2) Beim Gebrauchtauglichkeitsnachweis ist in der Regel die ständige Einwirkung „G+P“ in der maßgebenden Einwirkungskombination direkt zu verwenden; beim Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit EQU oder STR (siehe EN 1990) ist in der Regel die ständige Einwirkung „G+P“ mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G \text{ sup}}$ zu multiplizieren, wenn die Auswirkungen der ständigen und der veränderlichen Einwirkungen beide ungünstig sind. Sind die Auswirkungen der ständigen Einwirkung „G+P“ günstig, sind diese in der Regel mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G \text{ inf}}$ zu multiplizieren.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf angeben, inwieweit auch außerhalb des Anwendungsbereichs von EN 1993 ein einheitlicher Teilsicherheitsbeiwert γ_G auf „G+P“ angewendet werden darf.

(3) Sind nichtlineare Auswirkungen der Verformungen während des Betriebs nicht vernachlässigbar, sind diese in der Regel nach 5.4 zu berücksichtigen.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

5.4 Nichtlineare Wirkungen infolge Verformungen

5.4.1 Allgemeines

(1) Die Wirkungen der Verformungen aus Seildurchhang sowie die Längsverformungen der Zugglieder einschließlich Kriechverformungen sind zu berücksichtigen.

5.4.2 Wirkung des Seildurchhangs

(1) Die Wirkung des Seildurchhangs eines Seiles oder Seilsegmentes darf mit Hilfe des wirksamen E-Moduls erfasst werden:

$$E_t = \frac{E}{1 + \frac{w^2 \ell^2 E}{12 \sigma^3}} \quad (5.1)$$

Dabei ist

- E der Elastizitätsmodul des Seiles in N/mm^2 ;
- w das Einheitsgewicht nach Tabelle 2.2 in N/mm^3 ;
- ℓ die horizontale Komponente der Spannweite des Seiles oder Seilsegmentes in mm ;
- σ die Spannung im Seil in N/mm^2 ; für Bemessungssituationen nach 5.3 ist diese σ_{G+P} .

5.4.3 Wirkung der Tragwerksverformung

(1) Bei der Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung sind in der Regel Schnittgrößen und Verformungen aus veränderlichen Lasten auf die geometrische Ausgangsform des Tragwerks zu beziehen, die für die ständigen Einwirkungen „G+P“ und die spezifizierte Bezugstemperatur T_0 gefordert wird.

(2) Bei der Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung für Gebrauchstauglichkeitsnachweise ist in der Regel die charakteristische Einwirkungskombination zur Ermittlung der Schnittgrößen zu verwenden. Nach 7.2 dürfen mit diesen Schnittgrößen auch Tragfähigkeitsnachweise geführt werden.

(3) Bei der Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung bei nichtlinearem (überlinearem) Tragwerksverhalten für Tragfähigkeitsnachweise ist in der Regel die für die spezifizierte Bezugstemperatur T_0 geforderte geometrische Form des Tragwerks mit der Spannungssituation infolge „ γ_G (G+P)“ zu verknüpfen. Auf diese geometrische Form dürfen die Bemessungswerte der veränderlichen Einwirkungen $\gamma_G Q_{k1} + \gamma_Q \psi_2 Q_{k2}$ in Verbindung mit den maßgebenden Tragwerksimperfektionen aufgebracht werden.

ANMERKUNG Hinweise zu γ_G sind in 5.3(2) angegeben.

6 Grenzzustände der Tragfähigkeit

6.1 Zugstabsysteme

(1) Zugstabsysteme sind in der Regel für den Grenzzustand der Tragfähigkeit nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-4 je nach verwendetem Werkstoff nachzuweisen.

6.2 Vorspannstäbe und Zugglieder der Gruppen B und C

(1)P Im Grenzzustand der Tragfähigkeit muss nachgewiesen werden, dass gilt:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1 \quad (6.1)$$

Dabei ist

F_{Ed} der Bemessungswert der Seilkraft;

F_{Rd} der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit unter Zugbeanspruchung.

(2) Der Bemessungswert F_{Rd} der Beanspruchbarkeit unter Zugbelastung ist in der Regel wie folgt zu bestimmen:

$$F_{Rd} = \min \left\{ \frac{F_{uk}}{1,5 \gamma_R}; \frac{F_k}{\gamma_R} \right\} \quad (6.2)$$

Dabei ist

F_{uk} der charakteristische Wert der rechnerischen Bruchfestigkeit;

F_k der charakteristische Wert der Prüffestigkeit nach Tabelle 6.1;

γ_R der Teilsicherheitsbeiwert.

ANMERKUNG 1 F_{uk} entspricht dem charakteristischen Wert der Zugfestigkeit.

Tabelle 6.1 — Gruppen der Zugglieder und ~~AC~~ maßgebender charakteristischer Wert der Prüffestigkeit F_k ~~AC~~

Gruppe	maßgebende Produktnorm	AC gestrichener Text AC F_k
A	EN 10138-1	$F_{0,1k}$ ^a
B	EN 10264	$F_{0,2k}$
C	EN 10138-1	$F_{0,1k}$

^a Zu Vorspannstäben siehe EN 1993-1-1 und EN 1993-1-4.

ANMERKUNG 2 Durch den Nachweis gegenüber F_k wird erreicht, dass das Zugglied auch bei Erreichen der Bemessungswerte der Einwirkungen elastisch bleibt. Bei Zuggliedern (z. B. vollverschlossenen Spiralseilen), bei denen $F_k \geq \frac{F_{uk}}{1,50}$ gilt, ist der Nachweis gegenüber F_k nicht erforderlich.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

ANMERKUNG 3 Bei Abnahmeprüfungen vor Anlieferung wird nachgewiesen, dass die experimentellen Werte F_{uke} und F_{ke} die Bedingungen

$$F_{uke} > F_{uk},$$

$$F_{ke} > F_k$$

erfüllen, siehe EN 12385-1.

ANMERKUNG 4 Der Teilsicherheitsbeiwert γ_R darf im Nationalen Anhang festgelegt sein. Die Größe des Teilsicherheitsbeiwertes hängt davon ab, ob Maßnahmen zur Unterdrückung von Zusatzbiegung infolge Seilwinkeländerungen an den Seilverankerungen getroffen werden, siehe \overline{AC} 7.1(2). \overline{AC} Es wird die Verwendung der Werte γ_R in Tabelle 6.2 empfohlen.

Tabelle 6.2 — Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte γ_R

Maßnahmen zur Minimierung von Biegespannungen an der Seilverankerung	γ_R
Ja	0,90
Nein	1,00

(3) Bei Vorspannstäben und Zuggliedern der Gruppe C sind die charakteristischen Werte der Bruchfestigkeit in der Regel wie folgt zu bestimmen:

$$F_{uk} = A_m f_{uk} \quad (6.3)$$

Dabei ist

A_m der metallische Querschnitt, siehe 2.3.1;

f_{uk} der charakteristische Wert der Zugfestigkeit der Zugstäbe, Drähte oder (Vorspann-)Litzen entsprechend der maßgebenden Produktnorm.

(4) Bei Zuggliedern der Gruppe B ist F_{uk} in der Regel mit

$$F_{uk} = F_{min} k_e \quad (6.4)$$

zu bestimmen, wobei F_{min} nach EN 12385-2 wie folgt ermittelt wird:

$$F_{min} = \frac{K d^2 R_r}{1\,000} \text{ in kN} \quad (6.5)$$

Dabei ist

K der Bruchlastfaktor unter Berücksichtigung des Seilverlustes;

d der Nenndurchmesser des Seiles in mm;

R_r die Seilfestigkeit in N/mm²;

k_e der Verlustfaktor; Tabelle 6.3 enthält Verlustfaktoren ausgewählter Endverankerungstypen.

ANMERKUNG K , d und R_p sind für alle Seile in EN 12385-2 angegeben.

Tabelle 6.3 — Verlustfaktor k_e

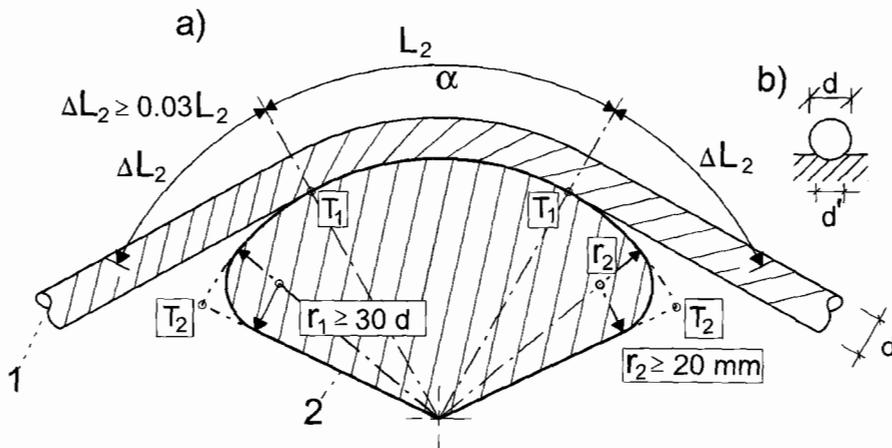
Endverankerungstyp	Verlustfaktor k_e
Seilkopf mit Metallfüllung	1,0
Seilkopf mit Kunstharzfüllung	1,0
Geklemmte Schlaufenverbindung	0,9
Pressendstück	0,9
U-förmiger Klemmbügel	0,8 ^a

^a Bei U-förmigen Klemmbügeln kann ein Verlust der Vorspannkraft auftreten.

6.3 Sättel

6.3.1 Geometrische Bedingungen

(1) Wenn die Sattelabmessungen den Vorgaben nach Bild 6.1 sowie (2) und (3) entsprechen, so dürfen die Zusatzspannungen infolge der Drahtkrümmungen vernachlässigt werden.



- 1 Litze/Seil
 2 Sattel
 L_2 Kontaktlänge zwischen den beiden theoretischen Berührungsendpunkten T_1 unter der ungünstigsten charakteristischen Lastkombination und der Wirkung des Seildurchhangs
 ΔL_2 zusätzliche Abwicklungslänge

Bild 6.1 — Sattelkontaktlänge einer Litze oder eines Seils

ANMERKUNG Bei Einhaltung der unter (1) genannten Bedingungen wird die charakteristische Bruchfestigkeit einer Litze oder eines Seils um nicht mehr als 3 % reduziert.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

(2) Der Radius r_1 des Sattels sollte die beiden Bedingungen erfüllen:

$$r_1 \geq 30d \text{ und } r_1 \geq 400 \varnothing$$

Dabei ist

\varnothing der Drahtdurchmesser;

d der Seildurchmesser;

d' die Kontaktbreite.

(3) Die Größe des Radius r_1 darf auf $r_1 \geq 20d$ abgemindert werden, wenn das Seil über eine Breite von mindestens 60 % seines Durchmessers auf einem Weichmetallbett oder einer Zinkbeschichtung mit einer Mindestdicke von 1 mm gelagert ist.

(4) Noch kleinere Radien dürfen bei offenen Spiralseilen benutzt werden, wenn diese durch Versuche gerechtfertigt sind.

ANMERKUNG Die Lage der Punkte T_1 und T_2 ergibt sich in der Regel für den maßgebenden Belastungsfall unter Berücksichtigung der Bewegungen der Lager und der Seile.

6.3.2 Rutschen der Seile auf dem Sattel

(1) Zum Nachweis, dass kein Rutschen der Seile auf dem Sattel auftritt, ist in der Regel folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\max \left\{ \frac{F_{Ed1}}{F_{Ed2}} \right\} \leq e^{\left\{ \frac{\mu \alpha}{\gamma_{M,fr}} \right\}} \quad (6.6)$$

Dabei ist

F_{Ed1} und F_{Ed2} die Bemessungswerte der größeren bzw. kleineren Seilkraft rechts und links vom Sattel;

μ der Reibbeiwert zwischen Seil und Sattel;

α der Winkel des Seils auf dem Sattel in rad;

$\gamma_{M,fr}$ der Teilsicherheitsbeiwert für Tragfähigkeit infolge Reibung.

ANMERKUNG Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fr}$ darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Der Wert $\gamma_{M,fr} = 1,65$ wird empfohlen.

(2) Wird (1) nicht erfüllt, dann sind in der Regel Klemmen zur Erzeugung einer zusätzlichen radial wirkenden Klemmkraft F_r anzubringen, so dass folgende Bedingung nachzuweisen ist:

$$\frac{F_{Ed1} - \frac{k F_r \mu}{\gamma_{M,fr}}}{F_{Ed2}} \leq e^{\left[\frac{\mu \alpha}{\gamma_{M,fr}} \right]} \quad (6.7)$$

Dabei ist

k die Anzahl der wirksamen Reibfugen; k ist üblicherweise mit 2,0 anzusetzen, wenn zwischen den Rillen im Sattel und in der Klemme die volle Reibung angenommen werden darf und die Klemmkraft F_r die Tragfähigkeit des Seiles gegenüber Klemmkraften nicht übersteigt, siehe 6.3.3. In anderen Fällen ist $k = 1,0$ anzusetzen;

$\gamma_{M,fr}$ der Teilsicherheitsbeiwert für Tragfähigkeit infolge Reibung.

(3) Bei der Bestimmung der Klemmkraft F_r aus der Vorspannung von Klemmschrauben sind in der Regel folgende Wirkungen zu berücksichtigen:

- Langzeitkriechen;
- die Verkleinerung des Seildurchmessers bei Vergrößerung der Seilkraft;
- die Verdichtung des Seilquerschnittes bzw. Ovalisierung;
- die Reduktion der Vorspannung in den Klemmschrauben durch äußere Kräfte an den Klemmen;
- Temperaturunterschiede.

6.3.3 Querpressung

(1)P Die Querpressung q_{Ed} infolge der radialen Klemmkraft F_r muss wie folgt begrenzt werden:

$$\frac{q_{Ed}}{q_{Rd}} \leq 1 \quad (6.8)$$

Dabei ist

$$q_{Ed} = \frac{F_r}{d' L_2} \quad \text{und} \quad 0,6d \leq d' \leq d \quad (\text{siehe Bild 6.1b) für } d');$$

$$q_{Rd} = \frac{q_{Rk}}{\gamma_{M,bed}};$$

q_{Rk} der Grenzwert der Querpressung, der in der Regel aus Versuchen bestimmt wird;

$\gamma_{M,bed}$ der Teilsicherheitsbeiwert.

ANMERKUNG Bei der Berechnung von q_{Rd} braucht die Pressung infolge von F_{Ed1} nicht berücksichtigt zu werden, da diese durch die Regelungen in 6.3.1 erfasst ist.

(2) Liegen keine Versuchsergebnisse vor, sind in der Regel die Grenzspannungen für Querpressung q_{Rk} nach Tabelle 6.4 zu verwenden.

ANMERKUNG 1 Die Verwendung der Grenzwerte q_{Rk} mit $\gamma_{M,bed} = 1,00$ führt in der Regel zu einer Abminderung der Bruchfestigkeit des Seils um nicht mehr als 3 %.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

Tabelle 6.4 — Grenzwerte für Querpressung q_{Rk}

Seiltyp	q_{Rk} N/mm ²	
	Stahlklemmen und -sättel	gefutterte Klemmen und Sättel
Vollverschlossenes Spiralseil	40	100
Offenes Spiralseil	25	60

ANMERKUNG 2 Gefutterte Klemmen haben in der Regel eine Zwischenschicht aus Weichmetall oder einen Zinküberzug mit einer Mindestdicke von 1 mm.

6.3.4 Bemessung der Sättel

(1) Sättel sind in der Regel für eine hypothetische Seilkraft in Höhe der k -fachen charakteristischen Bruchfestigkeit F_{uk} zu bemessen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf den Faktor k festlegen. Der Wert $k = 1,10$ wird empfohlen.

6.4 Klemmen

6.4.1 Rutschen der Klemmen

(1)P Wenn Klemmen Längskräfte in ein Seil übertragen sollen und nicht formschlüssig verbunden sind (siehe Bild 6.2), muss ein Rutschen vermieden werden, indem nachgewiesen wird:

$$F_{Ed||} \leq \frac{(F_{Ed\perp} + F_r) \mu}{\gamma_{M,fr}} \quad (6.9)$$

Dabei ist

$F_{Ed||}$ die zum Seil parallele Komponente der externen Bemessungslast;

$F_{Ed\perp}$ die zum Seil senkrechte Komponente der externen Bemessungslast;

F_r die radiale Klemmkraft, die durch die Einflüsse nach 6.3.2(3) abgemindert sein kann;

μ der Reibbeiwert;

$\gamma_{M,fr}$ der Teilsicherheitsbeiwert für Tragfähigkeit infolge Reibung.

ANMERKUNG 1 Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,fr}$ darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Der Wert $\gamma_{M,fr} = 1,65$ wird empfohlen.

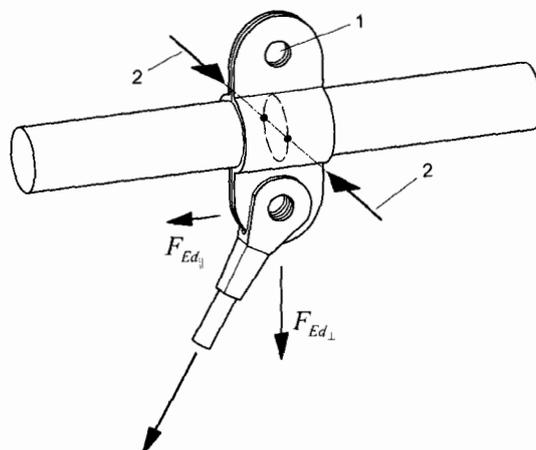
ANMERKUNG 2 Die Größe der radialen Klemmkraft F_r darf sich infolge äußerer Kräfte, abhängig von der Art der Lasteintragung in die Klemme, erhöhen oder verringern.

6.4.2 Querpressung

(1) Die Querpressung ist in der Regel für den größeren Wert von $F_{Ed\perp}$ oder $(F_{Ed\perp} + F_r)$ nach 6.3.3 nachzuweisen.

6.4.3 Bemessung der Klemmen

(1) Klemmen und ihre Einzelteile, mit denen Zugglieder verbunden werden (z. B. Hänger an ein Hauptkabel), sind in der Regel für eine hypothetische Kraft zu bemessen, die \overline{AC} dem 1,15fachen des charakteristischen Werts der Prüffestigkeit \overline{AC} ($1,15F_k$) des angeklebten sekundären Bauteile entspricht, siehe Bild 6.2.



- 1 Loch für vorgespannte Schrauben
2 Vorspannung F_r infolge der Schraubenvorspannung

Bild 6.2 — Seilklemmen

ANMERKUNG F_k ist nicht direkt auf die Kräfte im Grenzzustand der Tragfähigkeit bezogen. Durch die Verwendung von F_k wird eine \overline{AC} Kapazitätsbemessung (siehe EN 1993-1-1, 1.5.8) \overline{AC} durchgeführt.

7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

7.1 Gebrauchstauglichkeitskriterien

(1) In der Regel sind folgende Gebrauchstauglichkeitskriterien zu beachten:

- 1) Verformungen oder Schwingungen;
- 2) elastische Gebrauchsbedingungen.

ANMERKUNG 1 Grenzwerte für Verformungen und Schwingungen dürfen sich als Anforderungen an die Steifigkeit auswirken, die durch das verwendete System des Seiltragwerks, die Abmessungen und die Vorspannung der Zugglieder und den Gleitwiderstand der Anschlüsse bereitgestellt wird.

ANMERKUNG 2 Grenzwerte für das elastische Verhalten und die Dauerhaftigkeit einzelner Zugglieder beziehen sich auf die Größt- und Kleinstwerte der Spannungen für die Einwirkungskombinationen für Gebrauchstauglichkeit.

(2) Biegespannungen im Bereich der Verankerung dürfen durch konstruktive Maßnahmen (z. B. durch Neopren-Unterlagen im Bereich von Querpressungen) reduziert werden.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

7.2 Spannungsbegrenzungen

- (1) Spannungsbegrenzungen für charakteristische Einwirkungskombinationen dürfen verwendet werden,
- um die Spannungen in den maßgebenden Bemessungssituationen während der Montage und unter Betriebsbedingungen im elastischen Bereich zu halten,
 - um die Dehnungen zu begrenzen, so dass Korrosionsschutzmaßnahmen nicht beeinträchtigt werden (z. B. zur Vermeidung von Rissen in Hüllrohren oder harten Füllmaterialien oder Klaffungen im Bereich von Anschlüssen usw.), und um den Unsicherheiten des Ermüdungsnachweises Rechnung zu tragen,
 - um indirekt Tragfähigkeitsnachweise bei linearer und nichtlinearer (unterlinearer) Tragwerksantwort auf die Einwirkungen durchzuführen.
- (2) Spannungsbegrenzungen sind in der Regel auf die Bruchfestigkeit

$$\sigma_{uk} = \frac{F_{uk}}{A_m} \quad (7.1)$$

zu beziehen, siehe Gleichung (6.3).

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang darf Werte für die Spannungsbegrenzungen f_{const} und f_{SLS} festlegen. Empfohlene Spannungsbegrenzungen f_{const} für die Montage sind in Tabelle 7.1 angegeben. Tabelle 7.2 gibt Empfehlungen für Spannungsbegrenzungen f_{SLS} für Betriebsbedingungen.

Tabelle 7.1 — Spannungsbegrenzungen f_{const} für die Montage

Einbauphase	F_{const}
erste Zugglieder für nur wenige Stunden	0,60 σ_{uk}
nach Einbau weiterer Zugglieder	0,55 σ_{uk}

ANMERKUNG 2 Die Spannungsbegrenzungen folgen aus

$$f_{const} = \frac{\sigma_{uk}}{1,50 \gamma_R \gamma_F} = \frac{0,66 \sigma_{uk}}{\gamma_R \gamma_F} \quad (7.2)$$

mit:

$$\gamma_R \times \gamma_F = 1,0 \times 1,10 = 1,10 \text{ für kurzzeitige Bemessungssituationen;}$$

$$\gamma_R \times \gamma_F = 1,0 \times 1,20 = 1,20 \text{ für langzeitige Bemessungssituationen.}$$

Tabelle 7.2 — Spannungsbegrenzungen f_{SLS} für Betriebsbedingungen

Belastungsbedingungen	f_{SLS}
Ermüdungsbemessung mit Berücksichtigung der Biegespannungen ^a	0,50 σ_{uk}
Ermüdungsbemessung ohne Berücksichtigung der Biegespannungen	0,45 σ_{uk}
^a Biegespannungen dürfen durch konstruktive Maßnahmen reduziert werden, siehe AC 7.1(2). AC	

ANMERKUNG 3 Die Spannungsbegrenzungen folgen aus

$$f_{SLS} = \frac{\sigma_{uk}}{1,50 \gamma_R \gamma_F} = \frac{0,66 \sigma_{uk}}{\gamma_R \gamma_F} \quad (7.3)$$

mit:

$$\gamma_R \times \gamma_F = 0,9 \times 1,48 = 1,33 \text{ mit Berücksichtigung der Biegespannungen,}$$

$$\gamma_R \times \gamma_F = 1,0 \times 1,48 = 1,48 \text{ ohne Berücksichtigung der Biegespannungen,}$$

wobei gilt:

$$\gamma_F \approx \gamma_Q = 1,50 \approx 1,48.$$

ANMERKUNG 4 Die Spannungsbegrenzung $f_{SLS} = 0,45 \sigma_{uk}$ wird auch für Seilprüfungen nach Anhang A verwendet.

8 Seilschwingungen

8.1 Allgemeines

(1) Bei dem Klima ausgesetzten Seilen (z. B. Schrägseilen) ist in der Regel die Möglichkeit winderregter Schwingungen bei der Montage und unter Betriebsbedingungen zu prüfen und ihre Bedeutung für die Tragfähigkeit festzustellen.

(2) Aerodynamische Kräfte auf Seile können folgende Ursachen haben:

- a) Böenerregung (aus Turbulenz der anströmenden Luft);
- b) Wirbelerregung (durch Karmanwirbel im Nachlauf der Strömung);
- c) Galloping (Selbstinduktion);
- d) Interaktionsgalloping (Interaktion mit benachbarten Seilen);
- e) Wind-Regen-induzierte Schwingungen.

ANMERKUNG Aus Symmetriegründen kann Galloping bei Seilen mit kreisförmigem Querschnitt nicht auftreten. Das Phänomen des Galloping darf jedoch bei geänderter Querschnittsgeometrie (infolge Eisbildung oder Verschmutzung) in Erscheinung treten. Kräfte infolge c), d) und e) sind an die Seilbewegung gekoppelt (Selbstinduktion) und können infolge aeroelastischer Instabilität zu Schwingungsausschlägen größerer Amplituden führen. Sie setzen bei bestimmten kritischen Windgeschwindigkeiten ein. Da die Mechanismen der dynamischen Erregung noch nicht in ausreichend genaue Ingenieurmodelle umgesetzt werden können, um zuverlässig Schwingungen zu vermeiden, sind in der Regel immer Möglichkeiten für nachträgliche Maßnahmen vorzusehen, um unvorhergesehene Schwingungen nachträglich zu reduzieren.

(3) Seilschwingungen dürfen auch durch dynamische Kräfte verursacht werden, die auf andere Teile des Tragwerks einwirken (fußpunkterregte Schwingungen aus Träger- oder Pylonschwingungen).

ANMERKUNG Dieses Phänomen wird häufig als „Parametrische Anregung“ bezeichnet und ist für Schwingungen mit großen Amplituden verantwortlich, wenn sich Eigenfrequenzen von Schrägseilen und Eigenfrequenzen des restlichen Tragwerkes überlagern.

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

8.2 Maßnahmen zur Reduzierung von Seilschwingungen

- (1) Das Schwingungsverhalten von Seiltragwerken ist in der Regel im Hinblick auf exzessive windinduzierte und Regen-Wind-induzierte Schwingungen zu überwachen. Dies kann entweder durch Beobachtung oder durch Messverfahren, die eine genauere Bestimmung der Amplituden, Schwingungsformen und Frequenzen ermöglichen, geschehen.
- (2) Beim Entwurf von Seiltragwerken sind in der Regel von vornherein schwingungsreduzierende Maßnahmen einzuplanen, die während der Montage oder nach der Fertigstellung durchgeführt werden können.
- (3) Solche Maßnahmen dürfen sein:
 - a) Veränderung der Seiloberfläche (aerodynamische Kontur);
 - b) Anbringung von Dämpfern;
 - c) Stabilisierungsseile (z. B. Abspannseile mit geeigneten Anschlüssen).

8.3 Abschätzung der Gefährdung

- (1) Regen-Wind-induzierte Schwingungen sind in der Regel durch einen geeigneten Entwurf zu vermeiden; dies kann durch die Wahl einer geeigneten Seiloberfläche geschehen.
- (2) Die Gefährdung infolge Schwingungen steigt mit der Spannweite des Seiles. Kurze Spannweiten (< 70 m bis 80 m) stellen generell, mit Ausnahme parametrischer Resonanzeffekte bei besonders instabilen Tragwerken, (bei weichen Brückenhauptträgern mit ungünstiger Querschnittsbildung) keine Gefährdung dar. Daher brauchen bei kurzen Spannweiten keine Dämpfer vorgesehen zu werden.
- (3) Bei langen Spannweiten des Seiles (> 80 m) wird empfohlen, den Einbau von Dämpfern vorzusehen, um ein Lehr'sches Dämpfungsmaß > 0,5 % zu erreichen. Auf Dämpfer im Bereich der Rückspannseile darf verzichtet werden, wenn die Spannweiten so klein sind, dass wahrscheinlich keine nennenswerten Verschiebungen der Verankerungen zu erwarten sind.
- (4) Die Gefährdung infolge parametrischer Resonanzeffekte ist in der Regel im Entwurfsstadium durch die Bestimmung der Eigenformen des Tragwerkes und der Seile unter Berücksichtigung des Verhältnisses der Eigenfrequenzen und der Verschiebungen der Verankerungen für jede Eigenform abzuschätzen.
- (5) Eine Überlappung von Eigenfrequenzen sollte vermieden werden (d. h., die Seilerregerfrequenz Ω sollte weit entfernt (> 20 %) von der Eigenfrequenz des Tragwerkes ω_n oder $2\omega_n$ sein). Gegebenenfalls können Stabilisierungsseile vorgesehen werden, um die Eigenfrequenz der Seile zu verschieben.
- (6) Zur Einhaltung der Komfort- und Sicherheitsanforderungen ist die Seilschwingung in der Regel durch ein entsprechendes Kriterium der Bauwerksantwort zu begrenzen; so kann für eine mittlere Windgeschwindigkeit von 15 m/s die Amplitude der Seilschwingung auf $L/500$ begrenzt werden, wobei L die Seillänge ist.

9 Ermüdung

9.1 Allgemeines

- (1) Die Ermüdungssicherheit von Zuggliedern entsprechend den Klassen 3, 4 oder 5 nach Tabelle 2.1 ist in der Regel mit den Ermüdungslasten nach EN 1991 und geeigneten Ermüdungsfestigkeiten für die ermüdungsrelevanten Details nachzuweisen.
- (2) Ermüdungsversagen tritt bei Seilen gewöhnlich an Verankerungen, Sätteln und Klemmen infolge der dort entstehenden lokalen Wirkungen auf. Der maßgebende Kerbfall an diesen Stellen ist in der Regel vorzugsweise durch Versuche unter Berücksichtigung der wirklichen Situation insbesondere im Hinblick auf realistische Biegeeffekte und Querspannungen zu bestimmen. Die Versuchsauswertung erfolgt in der Regel nach EN 1990, Anhang D.

9.2 Veränderliche Seilkräfte

(1) Liegen keine Versuchsergebnisse nach 9.1(2) vor, dürfen die Ermüdungsfestigkeitskurven nach Bild 9.1 verwendet und die Kerbfalleinstufungen Tabelle 9.1 entnommen werden.

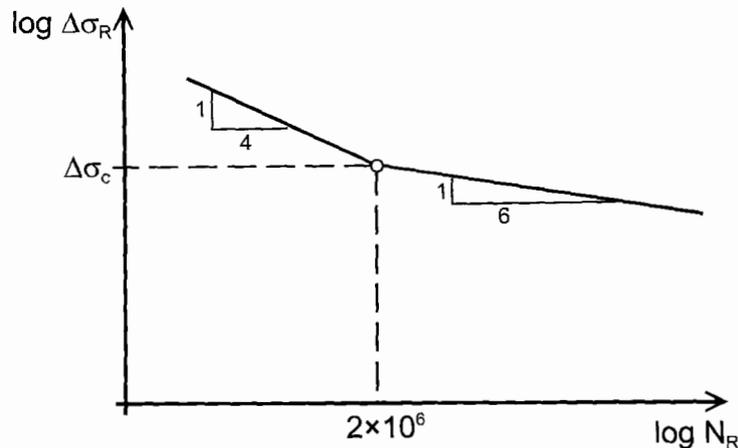


Bild 9.1 — Ermüdungsfestigkeitskurven für Zugglieder

Tabelle 9.1 — Kerbfalleinstufungen für die Ermüdungsfestigkeit nach EN 1993-1-9

Gruppe	Zugglied		Kerbfalleinstufung $\Delta\sigma_c$ N/mm ²
A	1	Vorspannstäbe	105
B	2	Vollverschlossenes Spiralseil mit metall- oder harzvergossenem Seilkopf	150
	3	Offenes Spiralseil mit metall- oder harzvergossenem Seilkopf	150
C	4	Paralleldrahtlitzen mit Epoxid-vergossenem Seilkopf	160
	5	Litzenbündelseil	160
	6	Paralleldrahtbündel	160

ANMERKUNG Die Kerbfalleinstufungen in Tabelle 9.1 beziehen sich auf die Anforderungsklassen 3 und 4 nach Tabelle 2.1. Bei Ermüdungsbelastungen in Längsrichtung und in seitlicher Richtung (Anforderungsklasse 5 nach Tabelle 2.1) werden zusätzliche konstruktive Schutzmaßnahmen erforderlich, um Biegespannungen zu minimieren.

(2) Die Kerbfalleinstufungen in (1) gelten nur für die folgenden Bedingungen:

- die Seile und Seilköpfe entsprechen den Anforderungen in Anhang A;
- die Bemessung der Seile, Sättel und Klemmen entspricht den Anforderungen in Abschnitt 6;
- übermäßige aerodynamische Seilschwingungen werden verhindert, siehe Abschnitt 8;
- es liegt ein ausreichender Korrosionsschutz vor, siehe Abschnitt 4.

(3) Zur Durchführung des Ermüdungsnachweises siehe EN 1993-1-9.

Anhang A **(informativ)**

Produktanforderungen an Zugglieder aus Stahl

A.1 Anwendungsbereich

- (1) Anhang A liefert Produkthanforderungen an Zugglieder aus Stahl mit Endstücken für die Anwendung im Hochbau und bei Ingenieurbauwerken.
- (2) Die Anforderungen hängen von den Einsatzbedingungen der vorgefertigten Zugglieder unter Berücksichtigung der Umgebungs- und Belastungsbedingungen ab.
- (3) Folgende Arten von Zuggliedern werden behandelt:
 - Gruppe A: Zugstabsysteme, Zugstäbe;
 - Gruppe C: Paralleldrahtbündel, Zugstabbündel und Litzenbündelseile.

A.2 Grundlegende Anforderungen

- (1) Zugglieder sollten den folgenden Anforderungen entsprechen:
 - 1) genügende Festigkeit und Duktilität von Zuggliedern und Endstücken,
 - 2) genügende Ermüdungsfestigkeit gegenüber veränderlichen Seilkräften sowie gegenüber Biegespannungen und Winkeländerungen, die infolge Durchhangveränderungen, Windkräften und Einbauungenauigkeiten entstehen,
 - 3) Sicherstellung ausreichender Längs- und Quersteifigkeit des Seilsystems (z. B. durch eine zuverlässige Vorspannung),
 - 4) ausreichender Korrosionsschutz des Seilsystems und der Verankerungsbereiche,
 - 5) Unempfindlichkeit gegenüber Reibkorrosion an Kontaktstellen von Stahlteilen.
- (2) Endstücke und Verankerungen von Zuggliedern sind in der Regel so zu entwerfen, dass
 - 1) die Grenztragfähigkeit des Zuggliedes erreicht wird, bevor Querschnittsfließen oder andere ständige Verformungen in der Verankerung oder anderen Tragelementen auftreten,
 - 2) ihre Ermüdungsfestigkeit die der Zugglieder übersteigt,
 - 3) Möglichkeiten zur Längenkorrektur des Zuggliedes bestehen, um die Anforderungen für Vorspannung, geometrische Toleranzen usw. zu erfüllen,
 - 4) ausreichende Verdrehmöglichkeiten an den Verankerungen bestehen, so dass Herstell- und Einbauungenauigkeiten ausgeglichen werden können,
 - 5) das Zugglied bei Bedarf ersetzt werden kann.

- (3) Die in (2) genannten Anforderungen sind in der Regel zu erfüllen durch
- geeignete Auswahl des Materials (Drähte, Litzen, Stähle und Schutzschichten),
 - geeignete Wahl der konstruktiven Ausbildung im Hinblick auf Tragfähigkeit, Steifigkeit, Duktilität, Dauerhaftigkeit sowie ausreichende Robustheit bei Herstellung, Transport, Handhabung und Einbau,
 - eine Qualitätskontrolle der Passgenauigkeit der Anschlussstücke zur Sicherstellung der genauen Ausrichtung des Zuggliedes im Betriebszustand.
- (4) Die Einhaltung der in (3) genannten Anforderungen ist in der Regel durch Versuche als Teil der Qualitätsüberwachung nachzuweisen.

A.3 Werkstoffe

- (1) Die Werkstoffe sollten den relevanten Europäischen Produktnormen entsprechen.
- (2) Die Eignung des Korrosionsschutzes einschließlich der Dauerhaftigkeit der Füllstoffe und Korrosionsschutzstoffe ist in der Regel durch entsprechende Versuche zu überprüfen.

ANMERKUNG Folgende Anforderungen dürfen durch Versuche überprüft werden:

- Schutz gegenüber aggressiven Einwirkungen (Chemikalien, Spannungsrisskorrosion, UV-Strahlung);
- Feuchtigkeitsschutz (Biegsamkeit und Dauerhaftigkeit bei Seilkrümmungen);
- Farbeständigkeit (falls gefordert).

A.4 Versuchsanforderungen

A.4.1 Allgemeines

- (1) In der Regel sind folgende Versuche an Drähten, Litzen, Zugstäben und kompletten Zuggliedern zum Nachweis ihrer Eignung durchzuführen.
- (2) F_{ke} und F_{uke} (siehe 6.2) werden in der Regel im statischen Zugversuch ermittelt. Falls erforderlich (z. B. für die Ablängung (siehe 3.4) oder für die Tragwerksberechnung (siehe Abschnitt 5)), sollte der Versuch der vorhergesagten Belastungsgeschichte des Seils im Tragwerk folgen, damit alle wichtigen Daten erfasst werden können.
- (3) Ist die Bestimmung der Ermüdungsfestigkeitskurve notwendig, so ist eine repräsentative Anzahl von Zugversuchen mit einer Oberspannung $\sigma_{sup} = 0,45\sigma_{uk}$ (siehe 7.2(2)) mit verschiedenen Zugschwingspielen ΔF durchzuführen, siehe Tabelle A.4.1.

ANMERKUNG Ermüdungsversuche sind in der Regel lastgesteuert (nicht verformungsgesteuert) durchzuführen.

Tabelle A.4.1 — Anforderungen an Ermüdungsversuche

Versuchstyp		Ermüdungsbelastung vor Bruchversuch
1	Versuche mit alleinigem Zug (Klassen 3 und 4)	$\sigma_{sup} = 0,45\sigma_{uk}$ $\Delta\sigma$ entsprechend $\Delta\sigma_c$ nach Tabelle 9.1 $\Delta\alpha = 0$ $n = 2 \times 10^6$ Lastzyklen

DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

Tabelle A.4.1 (fortgesetzt)

Versuchstyp		Ermüdungsbelastung vor Bruchversuch
2	Versuche mit Zug und Biegung (Klasse 5)	$\sigma_{\text{sup}} = 0,45 \sigma_{\text{uk}}$ $\Delta\sigma$ entsprechend $\Delta\sigma_c$ nach Tabelle 9.1 $\Delta\alpha = 0 - 10 \text{ mrad}$ $(0 - 0,7^\circ)$ $n = 2 \times 10^6 \text{ Lastzyklen}$

(4) Wird das Zugglied einer Ermüdungsbelastung ausgesetzt und wird der Ermüdungsnachweis nach 9.2(2) geführt, so ist in der Regel mindestens ein Versuch für jeden Seildurchmesser durchzuführen. Es ist in der Regel zu prüfen, ob nach dem Ermüdungsversuch mit einer Oberspannung $\sigma_{\text{sup}} = 0,45 \sigma_{\text{uk}}$, dem Spannungsschwingspiel $\Delta\sigma = 1,25 \Delta\sigma_c$ (siehe Tabelle 9.1) und 2×10^6 Lastzyklen die Anzahl der Drahtbrüche unter 2 % der Anzahl aller Drähte geblieben ist. Es darf in der Regel kein Ankerversagen oder Versagen in einer Komponente der Verankerung bei den Ermüdungsversuchen auftreten. Auch in Zugstäben darf kein Ermüdungsversagen auftreten.

(5) Ist der Ausrundungsradius am Seilaustritt aus dem Seilkopf geringer als $30d$ (siehe Bild 6.1), so sind in der Regel die Ermüdungsversuche nach (2) und (3) zusätzlich mit Biegung durchzuführen, die den erwarteten Winkel $\Delta\alpha$ berücksichtigen.

(6) Nach den Ermüdungsversuchen ist der Prüfkörper in der Regel statisch bis zur Bruchlast zu belasten. Die zulässige Bruchlast sollte mindestens 92 % der wirklichen Zugtragfähigkeit des Seiles oder 95 % der rechnerischen Bruchlast betragen. Die zugehörige Bruchdehnung sollte bei einem Wert $\geq 1,5 \%$ liegen.

(7) Ermüdungsversuche nach EN 10138 sind in der Regel mit Einzellitzen, Einzeldrähten oder Zugstäben durchzuführen, die als Proben von jedem hergestellten Zugglied genommen werden.

A.4.2 Hauptzugelemente

A.4.2.1 Drähte

(1) Drähte mit Überzügen aus Zink oder Zinklegierungen sind in der Regel nach dem Verzinken in abgenommenen Prüfmaschinen zu prüfen.

A.4.2.2 Litzen

(1) In der Regel sind Versuche zur Zugfestigkeit, 0,1 % Prüffestigkeit und Bruchdehnung nach EN 10138 durchzuführen.

A.4.2.3 Zugstäbe

(1) In der Regel sind Versuche zur Zugfestigkeit, 0,1 % Prüffestigkeit und Bruchdehnung nach EN 10138 durchzuführen.

A.4.3 Litzen und komplette Seile

(1) Bei Verwendung desselben Litzen- bzw. Seiltyps mit unterschiedlichen Dimensionen sind in der Regel Versuche mit mindestens 3 repräsentativen Probestücken durchzuführen. Die Probestücke müssen in der Regel das an der Lastabtragung beteiligte Zubehör enthalten. Die Last ist in der Regel in derselben Weise einzutragen wie im Tragwerk.

A.4.4 Reibbeiwert

(1) Bei der Bestimmung des Reibbeiwertes zwischen Seilen und Sätteln, Klemmen usw. durch Versuche ist in der Regel Folgendes zu beachten:

- die Auswirkung der Seilkraft auf den Durchmesser der Seile,
- die Kriechverformungen infolge der Querbelastrung (auf Füllstoffe und die Zinküberzüge).

(2) Bei der Auswertung der Versuche ist in der Regel zu beachten, dass die Reibung sowohl günstig als auch ungünstig im Hinblick auf bestimmte Effekte sein kann.

A.4.5 Korrosionsschutz

A.4.5.1 Wasserdichtheit

(1) Um die Dauerhaftigkeit eines Seilsystems mit Wassereinwirkung nachzuweisen, ist in der Regel eine Versuchsanordnung mit „beschleunigter Alterung“ zu verwenden, mit der zyklische Veränderungen der Seilkraft, der Biegung und der Temperatur simuliert werden können. Die Versuche sind in der Regel für ein repräsentatives Seilprobestück am unteren Verankerungsende mit allen Verankerungselementen, Schutzhüllen usw. zu verwenden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf weitere Hinweise zu den Versuchen geben.

A.4.5.2 Korrosionsbarrieren

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Hinweise zu den Versuchen (z. B. Salznebeltests) geben.

Anhang B **(informativ)**

Transport, Lagerung und Handhabung

(1) Offene - und vollverschlossene Spiralseile werden in Haspeln oder auf Spulen gewickelt geliefert.

(2) Der kleinste Wickeldurchmesser darf in der Regel bei vollverschlossenen Spiralseilen nicht unter dem 30-fachen Seildurchmesser, bei offenen Spiralseilen nicht unter dem 24-fachen Seildurchmesser und bei Rundlitzenseilen nicht unter dem 16-fachen Seildurchmesser liegen, um ein Aufspleißen der Seile zu vermeiden.

ANMERKUNG Der Mindestdurchmesser hängt auch vom Korrosionsschutzsystem, der Lagerzeit und der Temperatur ab. Vorsicht ist beim Abwickeln bei Temperaturen unter 5 °C geboten.

(3) Werden Seile in Haspeln gelagert, ist in der Regel jede Haspel ausreichend zu lüften (kein direkter Bodenkontakt), um die Bildung von Weißrost durch Kondenswasser oder Feuchtigkeit zu vermeiden.

(4) In der Regel sind Seile beim Einbau äußerst sorgfältig zu behandeln; beim horizontalen Abwickeln ist ein Drehtisch erforderlich.

(5) Folgende allgemeine Regeln sind zu beachten:

- Hilfskonstruktionen dürften erst nach Seileinbau entfernt werden;
- Biegeradien müssen größer als der 30-fache Seildurchmesser sein;
- ein Ziehen über scharfe Kanten muss vermieden werden;
- Längsverdrehungen müssen vermieden werden (Längsmarkierung sind zu beachten).

(6) Zugglieder sind in der Regel während ihrer Nutzungsdauer zu überwachen und zu inspizieren, um Abweichungen von den Bemessungsbedingungen, Korrosion und Beschädigungen feststellen zu können.

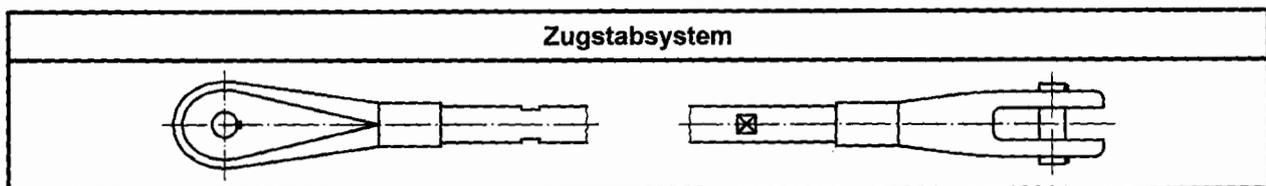
ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Hinweise zu Überwachung und Inspektionen festlegen.

Anhang C (informativ)

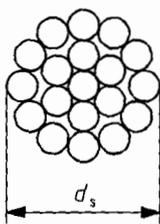
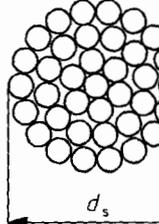
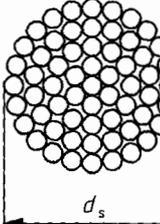
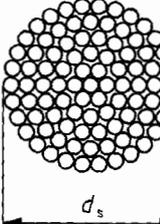
Glossar

ANMERKUNG Siehe EN 12385, Teil 2.

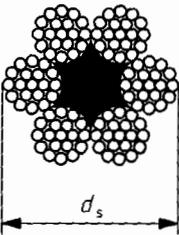
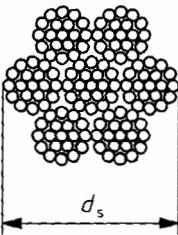
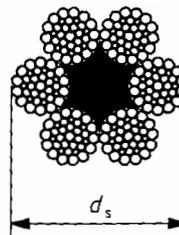
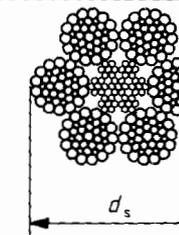
C.1 Produkte der Gruppe A

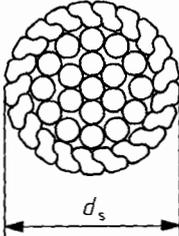
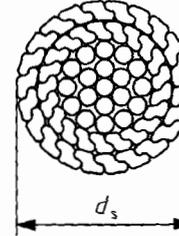
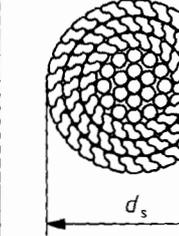


C.2 Produkte der Gruppe B

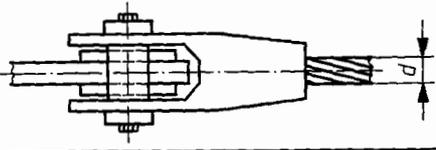
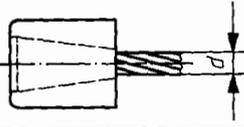
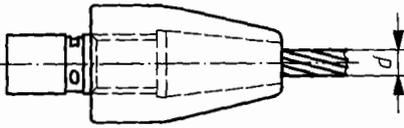
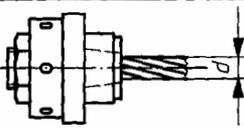
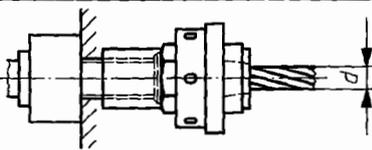
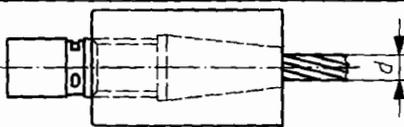
Offenes Spiralseil				
				
	d_s	d_s	d_s	d_s
Aufbau	1 × 19	1 × 37	1 × 61	1 × 91
Durchmesser d_s in mm	3 bis 14	6 bis 36	20 bis 40	30 bis 52
Litzen	1	1	1	1
Drähte je Litze	19	37	61	91
Äußere Drähte je Litze	12	18	24	30
Nomineller metallischer Querschnittsflächenfaktor C	0,6	0,59	0,58	0,58
Bruchlastfaktor K	0,525	0,52	0,51	0,51

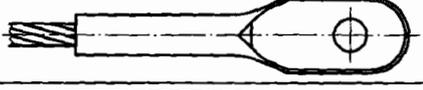
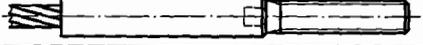
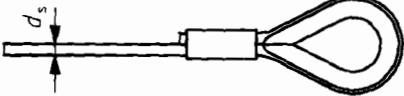
DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

Rundlitzenseil				
				
	d_s	d_s	d_s	d_s
Aufbau	6 × 19 — CF	6 × 19 — CWS	6 × 36 WS — CF	6 × 36 WS — CWR
Durchmesser d_s in mm	6 bis 40	6 bis 40	6 bis 40	6 bis 40
Litzen	6	6	6	6
Drähte je Litze	18	18	36	36
Äußere Drähte je Litze	12	12	14	14
Nomineller metallischer Querschnittsflächenfaktor C	0,357	0,414	0,393	0,455
Bruchlastfaktor K	0,307	0,332	0,329	0,355

Vollverschlossenes Spiralseil			
			
	d_s	d_s	d_s
Aufbau	1 Lage Z-Drähte	2 Lagen Z-Drähte	≥ 3 Lagen Z- Drähte
Durchmesser d_s in mm	20 bis 40	25 bis 50	40 bis 180
Toleranz für d_s	+5 %	+5 %	+5 %
Nomineller metallischer Querschnittsflächenfaktor C	0,636	0,660	0,700
Bruchlastfaktor K	0,585	0,607	0,643
ANMERKUNG Nomineller metallischer Querschnittsflächenfaktor C und Bruchlastfaktor K nach EN 12385-2.			

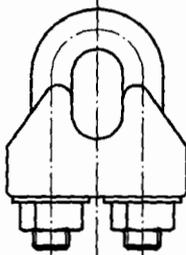
C.3 Drahtseilendstücke

Drahtseilendstücke — metall- oder harzvergossener Seilkopf nach EN 13411-4	
offener vergossener Seilkopf	
zylindrischer Seilkopf	
konischer Seilkopf mit Innengewinde und Verlängerungsstab	
zylindrischer Seilkopf mit Außengewinde und Mutter	
zylindrischer Seilkopf mit Innen- und Außengewinde und Mutter	
zylindrischer Seilkopf mit Innengewinde und Verlängerungsstab	

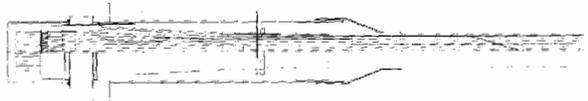
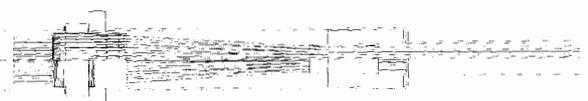
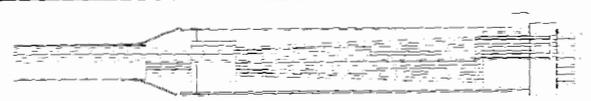
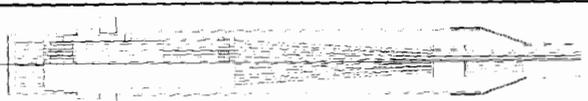
Gepresste Drahtseilendstücke	
offener gepresster Seilkopf	
geschlossener gepresster Seilkopf	
gepresstes Anschlussstück mit Gewinde	
Seilkausche mit gepresster Aluminiumhülse nach EN 13411-3	

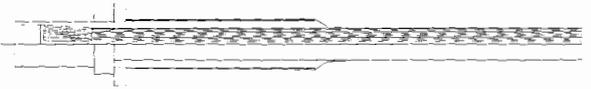
DIN EN 1993-1-11:2010-12
EN 1993-1-11:2006 + AC:2009 (D)

(fortgesetzt)

Gepresste Drahtseilendstücke	
<p>U-förmiger Klemmbügel nach EN 13411-5</p>	

C.4 Produkte der Gruppe C

unbeschichtete Litzen, PE-ummantelte- oder Epoxid-beschichtete Litzen	
Endverankerung	Endverankerung
Verankerung mit Keilen und nachträglich vermörteltem Litzenkopf — unbeschichtete Litzen, PE-ummantelte- oder Epoxid-beschichtete Litzen	
	
Verankerung mit Keilen und Abschlussblechen — PE-ummantelte Litzen	
	
Verankerung mit Keilen und vorher vermörteltem Rohr — PE-ummantelte Litzen	
	
Verankerung mit Keilen und wachsgefülltem Übergangrohr — PE-ummantelte Litzen	
	

Drähte	
Endverankerung	Endverankerung
Verankerung von Drähten und mit Verbundmaterial gefülltem Drahtkopf	
	
Verankerung von Drähten und mit Epoxidharz gefüllten Halbrundköpfen	
	

Zugstäbe	
Endverankerung	Endverankerung
Verankerung eines einzelnen Zugstabes	
	
Verankerung mehrerer Zugstäbe mit Stahlummantelung, vermörtelt	
	

