

## DIN EN 1992-3



ICS 91.010.30; 91.080.40

Ersatzvermerk  
siehe unten

**Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und  
Spannbetontragwerken –  
Teil 3: Silos und Behälterbauwerke aus Beton;  
Deutsche Fassung EN 1992-3:2006**

Eurocode 2: Design of concrete structures –  
Part 3: Liquid retaining and containment structures;  
German version EN 1992-3:2006

Eurocode 2: Calcul des structures en béton –  
Partie 3: Silos et réservoirs;  
Version allemande EN 1992-3:2006

**Ersatzvermerk**

Ersatz für DIN EN 1992-3:2006-11;  
mit DIN EN 1992-1-1:2011-01, DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 und DIN EN 1992-3/NA:2011-01 Ersatz für  
DIN 1045-1:2008-08

Gesamtumfang 30 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN



## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1992-3:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Auf nationaler Ebene ist im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. der NABau-Arbeitsausschuss NA 005-07-01 AA „Bemessung und Konstruktion“ (Sp CEN/TC 250/SC 2) zuständig.

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 24. November 2005 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.

Auf der Plenarsitzung des CEN/TC 250/SC 2 wurde im Oktober 2010 eine Berichtigung zu EN 1992-3:2006 diskutiert. Diese Berichtigung soll noch 2010 bei CCMC eingereicht und im Laufe 2011 offiziell veröffentlicht werden. Um den Anwendern frühzeitig eine aktuelle und fehlerfreie nationale Fassung anbieten zu können, entschied sich der zuständige Spiegelausschuss, die im Oktober 2010 identifizierten und erforderlichen Berichtigungen bereits in diese Fassung einzuarbeiten. Die Textstellen, die hiervon betroffen sind, sind mit nationalen Fußnoten versehen.

## Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1992-4:2000-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute eingearbeitet und Text vollständig überarbeitet;
- b) Normnummer geändert;
- c) Vornormcharakter aufgehoben;
- d) sprachlich weitgehend die Terminologie von DIN 1045-1:2001-07 übernommen.

Gegenüber DIN EN 1992-3:2006-11 und DIN 1045-1:2008-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) auf europäisches Bemessungskonzept umgestellt;
- b) Ersatzvermerke korrigiert;
- c) redaktionell vollständig überarbeitet;
- d) ausstehende Berichtigung eingearbeitet.

## Frühere Ausgaben

DIN 1045: 1925-09, 1932-04, 1937-05, 1943xxx, 1959-11, 1972-01, 1978-12, 1988-07  
DIN 1045-1: 2001-07, 2008-08  
DIN 1045-1 Berichtigung 1: 2002-07  
DIN 1045-1 Berichtigung 2: 2005-06  
DIN 1046: 1925-09, 1932-04, 1935-12, 1943x  
DIN 1047: 1925-09, 1932-04, 1937-05, 1943x  
DIN 4028: 1938-10  
DIN 4030: 1954-09  
DIN 4163: 1951-02  
DIN 4219-2: 1979-12  
DIN 4225: 1943, 1951xx-02, 1960-07  
DIN 4227-1: 1953x-10, 1979-12, 1988-07  
DIN 4227-1/A1: 1995-12  
DIN 4227-2: 1984-05  
DIN V 4227-4: 1985-12  
DIN 4227-4: 1986-02  
DIN 4229: 1950-07  
DIN 4233: 1951-03, 1953x-12  
DIN 4420: 1952x-01  
DIN V ENV 1992-4: 2000-12  
DIN EN 1992-3: 2006-11

— Leerseite —

**Deutsche Fassung**

**Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und  
Spannbetontragwerken —  
Teil 3: Silos und Behälterbauwerke aus Beton**

Eurocode 2: Design of concrete structures —  
Part 3: Liquid retaining and containment structures

Eurocode 2: Calcul des structures en béton —  
Partie 3: Silos et réservoirs

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 24. November 2005 angenommen.

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

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, 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: rue de Stassart, 36 B- 1050 Brüssel**

## Inhalt

	Seite
Vorwort .....	4
Nationaler Anhang für EN 1992-3 .....	6
1 Einleitung .....	7
1.1 Anwendungsbereich .....	7
1.1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 2-3 .....	7
1.2 Normative Verweisungen .....	8
1.6 Formelzeichen .....	8
1.7 Besondere Formelzeichen im Eurocode 2-3 .....	8
2 Grundlagen der Tragwerksplanung .....	9
2.1 Anforderungen .....	9
2.1.1 Grundlegende Anforderungen .....	9
2.3 Basisvariablen .....	9
2.3.1 Einwirkungen und Umwelteinflüsse .....	9
2.3.2 Material- und Produkteigenschaften .....	9
3 Baustoffe .....	9
3.1 Beton .....	9
3.1.1 Allgemeines .....	9
3.1.3 Elastische Verformungseigenschaften .....	10
3.1.4 Kriechen und Schwinden .....	10
3.1.11 Wärmeentwicklung und Temperaturverteilung infolge Hydratation .....	10
3.2 Betonstahl .....	10
3.2.2 Materialeigenschaften .....	10
3.3 Spannstahl .....	10
3.3.2 Materialeigenschaften .....	10
4 Dauerhaftigkeit und Betondeckung .....	11
4.3 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit .....	11
5 Schnittgrößenermittlung .....	11
5.12 Ermittlung der Schnittgrößen infolge Temperatur .....	11
5.12.1 Allgemeines .....	11
5.13 Berechnung der Schnittgrößen infolge Innendruck .....	11
6 Grenzzustände der Tragfähigkeit .....	11
6.2 Querkraft .....	11
6.9 Nachweis für Staubexplosion .....	12
6.9.1 Allgemeines .....	12
6.9.2 Bemessung tragender Bauteile .....	12
7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....	13
7.3 Rissbildung .....	13
7.3.1 Allgemeines .....	13
7.3.3 Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung .....	14
7.3.4 Berechnung der Rissbreite .....	16
7.3.5 Begrenzung der Rissbreite infolge von Zwang .....	16
8 Bauliche Durchbildung .....	16
8.10.1 Anordnung von Spanngliedern und Hüllrohren .....	16
8.10.4 Verankerungen und Spanngliedkopplungen für Spannglieder .....	17
9 Konstruktionsregeln für Bauteile und spezielle Regeln .....	17

	Seite
<b>9.6 Stahlbetonwände</b> .....	<b>17</b>
<b>9.6.5 Eckverbindungen von Wänden</b> .....	<b>17</b>
<b>9.6.6 Anordnung von Bewegungsfugen</b> .....	<b>17</b>
<b>9.11 Zusatzregeln für Wände</b> .....	<b>17</b>
<b>9.11.1 Mindestbewehrung und Mindestabmessungen</b> .....	<b>17</b>
<b>Anhang K (informativ) Einfluss der Temperatur auf die Betoneigenschaften</b> .....	<b>18</b>
<b>K.1 Allgemeines</b> .....	<b>18</b>
<b>K.2 Baustoffeigenschaften bei Minustemperaturen</b> .....	<b>18</b>
<b>K.3 Baustoffeigenschaften bei höheren Temperaturen</b> .....	<b>19</b>
<b>Anhang L (informativ) Berechnung der Dehnungen und Spannungen von Betonquerschnitten infolge Zwang</b> .....	<b>21</b>
<b>L.1 Beziehungen für die Spannungen und Dehnungen bei ungerissenen Betonquerschnitten</b> .....	<b>21</b>
<b>L.2 Abschätzung des Zwangs</b> .....	<b>21</b>
<b>Anhang M (informativ) Berechnung von Rissbreiten infolge Zwang</b> .....	<b>24</b>
<b>M.1 Allgemeines</b> .....	<b>24</b>
<b>M.2 Zwang an den Bauteilenden</b> .....	<b>24</b>
<b>Anhang N (informativ) Anordnung von Bewegungsfugen</b> .....	<b>26</b>

## **Vorwort**

Dieses Dokument (EN 1992-3:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

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

Dieses Dokument ersetzt ENV 1992-4.

CEN/TC 250 ist für die Erarbeitung aller Eurocodes zuständig.

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.



## Hintergrund des Eurocode-Programms

Siehe EN 1992-1-1.

## Eurocode-Programm

Siehe EN 1992-1-1

## Status und Anwendungsbereich der Eurocodes

Siehe EN 1992-1-1.

## Nationale Fassungen der Eurocodes

Siehe EN 1992-1-1.

## Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)

Siehe EN 1992-1-1.

## Besondere Regelungen für EN 1992-3 und Verbindung zu EN 1992-1-1

Der Anwendungsbereich von Eurocode 2 ist in 1.1.1 von EN 1992-1-1 definiert, während der Anwendungsbereich des vorliegenden Teils des Eurocode 2 in 1.1.2 dieser Norm festgelegt wird. Weitere zusätzliche Teile des Eurocode 2 sind in 1.1.1 von EN 1992-1-1 aufgeführt; diese betreffen weitere Verfahren oder Anwendungsmöglichkeiten der Betonbauweise und ergänzen und vervollständigen diesen Teil.

In EN 1992-3 mussten einige wenige Regeln eingeführt werden, die sich nicht nur auf Silos und Behälterbauwerke beziehen und streng genommen zum Teil 1-1 gehören. Diese Regeln gelten als gültige Auslegungen des Teils 1-1. Eine Bemessung nach EN 1992-3 stimmt mit den Prinzipien von EN 1992-1-1 überein.

Werden Bauprodukte, wie z. B. Betonrohre, nach einer Norm für wasserundurchlässige Produkte gefertigt und verwendet, darf in der Regel davon ausgegangen werden, dass diese Bauprodukte die Anforderungen dieses Eurocodes einschließlich der konstruktiven Durchbildung ohne weiteren rechnerischen Nachweis erfüllen.

Es gibt besondere Anforderungen an die Oberflächen von Behältern, in denen Lebensmittel oder Trinkwasser gespeichert werden. Bei solchen Anwendungen sind diese in der Regel in Bezug zu nehmen. Diese speziellen Festlegungen werden in diesem Eurocode jedoch nicht behandelt.

Bei der Anwendung dieser Norm in der Praxis sind insbesondere die im Abschnitt 1.3 von EN 1992-1-1 zugrunde gelegten Annahmen und Bedingungen zu beachten.

Die neun Kapitel dieser Norm werden durch vier informative Anhänge ergänzt. Diese Anhänge wurden aufgenommen, um allgemeine Informationen über Baustoff- und Tragwerkeigenschaften zu liefern, die genutzt werden können, wenn keine Kenntnisse über die tatsächlich vorhandenen Baustoffe oder Nutzungsbedingungen vorliegen.

Bezüglich mitgeltender Bezugsnormen sind in der Regel die dazugehörigen Nationalen Anhänge zu beachten. Für diesen Teil von Eurocode 2 wird besonders auf EN 206-1 (Beton: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität) hingewiesen.

Für EN 1992-3 gelten folgende zusätzliche Absätze:

EN 1992-3, ergänzt EN 1992-1-1 im Hinblick auf die besonderen Aspekte von Flüssigkeits- und Schüttgutbehältern.

Rahmen und Aufbau dieses Teils 3 entsprechen EN 1992-1-1. Dieser Teil 3 enthält jedoch Prinzipien und Anwendungsregeln, die ausschließlich für Silos und Behälterbauwerke gelten.

Alle Absätze von EN 1992-1-1 gelten in der Regel weiterhin soweit dies sinnvoll ist, wenn sie nicht in dieser EN 1992-3 spezifiziert oder ergänzt werden.

Einige Prinzipien und Anwendungsregeln der EN 1992-1-1 werden durch diesen Teil 3 für Silos und Behälterbauwerke modifiziert oder ersetzt.

Werden vorhandene Prinzipien oder Anwendungsregeln von EN 1992-1-1 verändert oder ersetzt, ist die neue Absatznummer durch die Addition von 100 zu der ursprünglichen Absatznummer gekennzeichnet. Hinzugefügte neue Prinzipien oder Anwendungsregeln werden nach der letzten Absatznummer von EN 1992-1-1 fortlaufend nummeriert und um 100 erhöht.

Die Nummerierung von Gleichungen, Bildern, Fußnoten und Tabellen in diesem Teil erfolgt wie die für die zuvor beschriebenen Absatznummerierungen.

## **Nationaler Anhang für EN 1992-3**

In dieser Norm werden Werte mit zusätzlichen Anmerkungen angegeben, die nationale Wahlmöglichkeiten erlauben. Es sollten deshalb die nationalen Normen zur Einführung von EN 1992-3 mit einem nationalen Anhang versehen werden, der alle national festgelegten Parameter für die Bemessung von den im jeweiligen Land zu errichtenden Silos und Behälterbauwerken enthält.

In EN 1992-3 sind nationale Wahlmöglichkeiten in den folgenden Absätzen erlaubt:

7.3.1 (111)

7.3.1 (112)

7.3.3 N<sup>1)</sup>

8.10.3.3 (102) und (103) N<sup>2)</sup>

9.11.1 (102)

---

N<sup>1)</sup> Nationale Fußnote: Wird ersetzt durch „Bilder 7.103N und 7.104N“.

N<sup>2)</sup> Nationale Fußnote: Wird ersetzt durch „8.10.1.3 (103)“.

# 1 Einleitung

## 1.1 Anwendungsbereich

Abschnitt 1.1.2 von EN 1992-1-1 wird ersetzt durch:

### 1.1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 2-3

(101)P Eurocode 2–3 enthält zusätzliche Regeln für die Planung von Tragwerken aus unbewehrtem oder gering bewehrtem Beton, aus Stahlbeton oder Spannbeton für die Speicherung von Flüssigkeiten oder Schüttgütern.

(102)P In diesem Teil werden Prinzipien und Anwendungsregeln für die Bemessung der Bauteile angegeben, die mit den gespeicherten Flüssigkeiten oder Stoffen direkt in Kontakt stehen (z. B. Wände von Tanks, Speichern oder Silos). Andere Bauteile, die diese Primärbauteile stützen (z. B. das Turmtragwerk für den Speicher eines Wasserturms), sind in der Regel nach Teil 1-1 zu bemessen.

(103)P Dieser Teil behandelt nicht:

- Tragwerke für die Lagerung von Stoffen mit sehr tiefen oder sehr hohen Temperaturen;
- Tragwerke für die Lagerung gefährlicher Stoffe, deren Austritt zu einem hohen Gesundheits- oder Sicherheitsrisiko führen kann;
- Auswahl und Bemessung von Auskleidungen sowie die Konsequenzen ihrer Wahl auf die Tragwerksbemessung;
- Druckbehälter;
- schwimmende Tragwerke;
- große Dämme;
- Gasundurchlässigkeit.

(104) Diese Norm gilt für gespeicherte Stoffen mit Temperaturen, die ständig zwischen  $-40\text{ °C}$  und  $+200\text{ °C}$  betragen.

(105) Für die Wahl und Bemessung von Auskleidungen sind in der Regel geeignete Spezifikationen heranzuziehen.

(106) Obwohl diese Norm besonders Tragwerke von Silos und Behälterbauwerken für Flüssigkeiten und Schüttgüter behandelt, können die Regeln über die Wasserundurchlässigkeit auch auf Bauteile zutreffen, bei denen es auf die Undurchlässigkeit gegenüber anderen Flüssigkeiten ankommt.

(107) Die Regeln zu Durchlässigkeit und Dauerhaftigkeit beziehen sich im Wesentlichen auf Wasser. Wenn andere Flüssigkeiten in direktem Kontakt mit Beton gespeichert werden, sollte diesbezüglich spezielles Schrifttum herangezogen werden.

## 1.2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Regelungen, auf die in dieser Europäischen Norm durch Hinweis Bezug genommen wird. Bei datierten Bezügen gelten spätere Änderungen oder Ergänzungen der zitierten Normen nicht. Es sollte jedoch bei Bedarf geprüft werden, ob die jeweils gültige Ausgabe der Normen angewendet werden darf. Bei undatierten Bezügen gilt die jeweils gültige Ausgabe der Norm.

EN 1990, *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991-1-5, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen — Temperatur-einwirkungen*

EN 1991-4, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 4: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter*

EN 1992-1-1, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 1992-1-2, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*

EN 1997-1, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

## 1.6 Formelzeichen

Zusatz nach 1.6.

## 1.7 Besondere Formelzeichen im Eurocode 2-3

### Große lateinische Buchstaben

$R_{ax}$  Beiwert zur Bestimmung der Größe einer Zwangsnormalkraft infolge angeschlossener Bauteile

$R_m$  Beiwert zur Bestimmung der Größe eines Zwangsmoments infolge angeschlossener Bauteile

### Kleine lateinische Buchstaben

$f_{ctx}$  Zugfestigkeit, wie jeweils definiert

$f_{ckT}$  modifizierter charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit zur Berücksichtigung der Temperatur

### Griechische Buchstaben

$\varepsilon_{av}$  mittlere Dehnung im Bauteil

$\varepsilon_{az}$  Dehnung in der Höhe  $z$

$\varepsilon_{iz}$  aufgezwungene Dehnung in der Höhe  $z$

$\varepsilon_{Tr}$  Dehnung infolge veränderlicher Temperatur (Übergangskriechen)

$\varepsilon_{Th}$  freie Temperaturdehnung im Beton

## 2 Grundlagen der Tragwerksplanung

### 2.1 Anforderungen

#### 2.1.1 Grundlegende Anforderungen

Zusatz nach Absatz (3):

(104) Die zu berücksichtigenden Bemessungssituationen müssen in der Regel mit EN 1990, EN 1991-4 und EN 1991-1-5, Abschnitt 3 übereinstimmen. Zusätzlich können für Silos und Behälterbauwerke aus Beton die folgenden besonderen Bemessungssituationen auftreten:

- Betriebsbedingungen mit Entleeren und Füllen;
- Staubexplosionen;
- Temperatureinflüsse, z. B. infolge des gespeicherten Stoffes oder der Umgebungstemperatur;
- Anforderungen zur Überprüfung der Wasserundurchlässigkeit des Behälters.

### 2.3 Basisvariablen

#### 2.3.1 Einwirkungen und Umwelteinflüsse

##### 2.3.1.1 Allgemeines

Zusatz nach Absatz (1):

(102)P Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Silos und Behälterbauwerke sind im normativen Anhang B von EN 1991-4 angegeben.

(103) Aus Erddruck oder Wasser im Erdreich resultierende Einwirkungen sind in der Regel nach EN 1997 zu ermitteln.

#### 2.3.2 Material- und Produkteigenschaften

##### 2.3.2.3 Wasserundurchlässiger Beton

(101) Wird die Mindestbauteildicke von Bauteilen nach 9.11.1 (102) gewählt, so kann ein geringerer Wasser-Zement-Faktor erforderlich werden. In der Regel ist das Größtkorn der Gesteinskörnung zu begrenzen.

## 3 Baustoffe

### 3.1 Beton

#### 3.1.1 Allgemeines

(103) Der Einfluss der Temperatur auf die Betoneigenschaften ist in der Regel bei der Bemessung zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Weitere Informationen enthält der informative Anhang K.

### **3.1.3 Elastische Verformungseigenschaften**

Ersatz von Absatz (5) durch:

(105) Sofern keine genaueren Angaben vorliegen, darf für die lineare Wärmedehnzahl ein Wert von  $10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  angenommen werden. In der Regel ist jedoch zu beachten, dass die Wärmedehnzahlen für Beton in Abhängigkeit von der Art der Gesteinskörnung und den Feuchtebedingungen im Beton erheblich streuen können.

### **3.1.4 Kriechen und Schwinden**

Zusatz nach Anwendungsregel (5):

(106) Sind die Bauteile über beträchtliche Zeiträume hohen Temperaturen ( $> 50 \text{ °C}$ ) ausgesetzt, wird das Kriechverhalten maßgebend verändert. Sofern dies auftreten kann, sind in der Regel geeignete Werte für die besonderen Bedingungen der vorgesehenen Nutzung zu ermitteln.

ANMERKUNG Angaben zur Abschätzung von Kriecheinflüssen bei erhöhten Temperaturen enthält der informative Anhang K.

### **3.1.11 Wärmeentwicklung und Temperaturverteilung infolge Hydratation**

(101) Wenn die Bauzustände maßgebend werden, sind die charakteristischen Merkmale der Wärmeentwicklung für den jeweiligen Zement in der Regel durch Versuche zu ermitteln. Die tatsächliche Wärmeentwicklung ist in der Regel unter Berücksichtigung der zu erwartenden Bedingungen im frühen Bauteilalter (z. B. Nachbehandlung, Umweltbedingungen) zu bestimmen. Die Höchsttemperatur und der Zeitpunkt ihres Auftretens nach dem Betonieren sind in der Regel in Abhängigkeit von der Betonzusammensetzung, der Art der Schalung und den Umgebungsbedingungen festzustellen.

## **3.2 Betonstahl**

### **3.2.2 Materialeigenschaften**

(107) Hinsichtlich der Eigenschaften von Betonstahl im Temperaturbereich zwischen  $-40 \text{ °C}$  und  $+100 \text{ °C}$  sei auf EN 1992-1-1, 3.2.2 verwiesen (sofern keine besonderen Untersuchungen angestellt werden). Für höhere Temperaturen gibt es Angaben in 3.2.3 von EN 1992-1-2. Für die Minderung der Tragfähigkeit bei Temperaturen über  $20 \text{ °C}$  siehe EN 1992-1-2, 10.3.2.2. <sup>N3)</sup>

## **3.3 Spannstahl**

### **3.3.2 Materialeigenschaften**

(110) Für die Festigkeit und Relaxation von Spannstahl gelten im Temperaturbereich zwischen  $-40 \text{ °C}$  und  $+100 \text{ °C}$  dieselben Werte wie für „normale Temperaturen“ (sofern keine besonderen Untersuchungen angestellt werden). Für höhere Temperaturen enthält EN 1992-1-2, 3.2.4 weitere Angaben. <sup>N4)</sup>

---

<sup>N3)</sup> Nationale Fußnote: Absatz geändert in „(107) Die Eigenschaften von Betonstahl im Temperaturbereich zwischen  $-40 \text{ °C}$  und  $+100 \text{ °C}$  sind in EN 1992-1-1, 3.2.2 geregelt. Für höhere Temperaturen enthält EN 1992-1-2, 3.2.3 weitere Angaben.“

<sup>N4)</sup> Nationale Fußnote: Absatz geändert in „(110) Für die Festigkeit und Relaxation von Spannstahl gelten im Temperaturbereich zwischen  $-40 \text{ °C}$  und  $+100 \text{ °C}$  gelten die Werte für Normaltemperatur. Für höhere Temperaturen enthält EN 1992-1-2, 3.2.4 weitere Angaben. Für die Relaxation von Temperaturen über  $20 \text{ °C}$  siehe EN 1992-1-1, 10.3.2.1.“

## 4 Dauerhaftigkeit und Betondeckung

### 4.3 Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

Zusatz nach Absatz 4.4.1.2 (13):

(114) Abrieb an den Innenflächen von Silowänden kann zu Verunreinigungen des Schüttguts oder zu einer signifikanten Reduktion der Betondeckung führen. Es können drei Ursachen von Abrieb auftreten:

- mechanischer Angriff infolge des Füll- und Entleerungsprozesses;
- physikalischer Angriff infolge Erosion und Korrosion bei wechselnden Temperatur- und Feuchtebedingungen;
- chemischer Angriff infolge einer Reaktion zwischen Beton und Schüttgut.

(115) In der Regel ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass dem Abrieb ausgesetzte Bauteile für die geplante Nutzungsdauer gebrauchstauglich bleiben.

## 5 Schnittgrößenermittlung

Zusatz nach Abschnitt 5.11:

### 5.12 Ermittlung der Schnittgrößen infolge Temperatur

#### 5.12.1 Allgemeines

(101) Eine genaue Schnittgrößenermittlung kann nach den Regelungen in 3.1.4 und Anhang B von EN 1992-1-1 für Kriechen und Schwinden durchgeführt werden.

(102) In Behältern können hohe Temperaturgradienten auftreten, wenn das Füllgut entweder sich selbst aufheizen kann oder mit hoher Temperatur eingefüllt wird. Unter solchen Bedingungen müssen die auftretenden Temperaturgradienten und die daraus resultierenden Schnittgrößen ermittelt werden.

### 5.13 Berechnung der Schnittgrößen infolge Innendruck

(101) Der Innendruck von festem Füllgut wirkt direkt auf die innere Betonoberfläche. Falls keine genaueren Berechnungen durchgeführt werden, darf angenommen werden, dass der Innendruck von Flüssigkeiten auf die Mittelfläche der Behälterbauteile wirkt.

## 6 Grenzzustände der Tragfähigkeit

### 6.2 Querkraft

Zusatz nach Absatz 6.2.3 (8):

(109) In 6.2.3 (2) ist in der Regel bei der Wahl des Neigungswinkels für die Druckstreben der Einfluss wesentlicher Längszugkräfte zu beachten.  $\cot \theta$  darf auf der sicheren Seite liegend zu 1,0 angenommen werden. Es darf auch das Verfahren nach Anhang QQ von EN 1992-2 herangezogen werden.

Zusatz nach Abschnitt 6.8:

## **6.9 Nachweis für Staubexplosion**

### **6.9.1 Allgemeines**

(101)P Werden Silos für die Aufnahme von Schüttgütern bemessen, bei denen Staubexplosionen möglich sind, muss entweder das Tragwerk so bemessen werden, dass es den zu erwartenden maximalen Drücken widersteht, oder es muss ein geeigneter Druckausgleich vorgesehen werden, der den Druck auf ein vertretbares Maß vermindert.

Die Einwirkungen infolge Staubexplosionen werden in EN 1991-4 behandelt. Allgemeine Hinweise zur Bemessung für Staubexplosionen enthält EN 1991-1-7; dabei sind in der Regel die zusätzlichen Angaben in 6.9.2 (101) bis (105) zu beachten.

(102)P Flammen aus Druckentlastungsöffnungen dürfen weder zu einer Gefährdung der Umgebung führen noch in anderen Bereichen des Silos Explosionen auslösen. Die Gefahr für Menschen durch umherfliegende Glassplitter oder Trümmerteile muss minimiert werden.

(103) Druckentlastungen müssen in der Regel über entsprechend vorgesehene Auslassöffnungen direkt ins Freie führen, um so den Explosionsdruck zu reduzieren.

(104) Druckentlastungssysteme müssen in der Regel bereits bei niedrigen Drücken ansprechen und eine geringe Massenträgheit besitzen.

(105) Einwirkungen infolge Staubexplosionen sind in der Regel als außergewöhnliche Einwirkungen zu betrachten.

### **6.9.2 Bemessung tragender Bauteile**

(101)P Die maximalen Explosionsdrücke treten in leeren Silos auf, jedoch kann der Druck in einem teilweise gefüllten Silo in Kombination mit der Belastung durch das Schüttgut für die Bemessung kritischer sein.

(102) Treten durch das schnelle Ausströmen von Gas und das folgende Abkühlen des heißen Rauchs Trägheitskräfte auf, kann ein Druck unterhalb des atmosphärischen Drucks auftreten. Dies ist in der Regel beim Entwurf von Bekleidungen und Bauteilen im Strömungsbereich zu berücksichtigen.

(103) Die Bauteile zur Druckentlastung sind in der Regel gegen Wegfliegen zu sichern, um nicht die Gefahr umherfliegender Trümmerteile zu vergrößern.

(104) Die durch eine Druckentlastung entstehenden Reaktionskräfte sind in der Regel bei der Bemessung der tragenden Bauteile zu berücksichtigen.

(105) In der Regel sind weitere Fachleute hinzuzuziehen, wenn komplexe Installationen vorgesehen werden oder Explosionen zu einem hohen Verletzungsrisiko führen können.



## 7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

### 7.3 Rissbildung

#### 7.3.1 Allgemeines

Zusatz nach Absatz(9):

(110) Zweckmäßigerweise werden die Flüssigkeitsbehälter entsprechend dem erforderlichen Schutzniveau gegen Flüssigkeitsaustritt nach Tabelle 7.105 klassifiziert. Es sollte beachtet werden, dass durch jeden Beton geringe Mengen an Flüssigkeit und Gas diffundieren können.

**Tabelle 7.105 — Klassifizierung der Undurchlässigkeit**

Undurchlässigkeitsklasse	Anforderungen an den Flüssigkeitsdurchtritt
0	Ein gewisser Flüssigkeitsdurchtritt ist akzeptabel oder vernachlässigbar.
1	Der Flüssigkeitsdurchtritt ist auf eine geringe Menge zu begrenzen. Feuchtstellen oder Verfärbungen auf der Bauteiloberfläche sind akzeptabel.
2	Der Flüssigkeitsdurchtritt soll minimal sein. Das Aussehen wird nicht durch Feuchtstellen oder Verfärbungen beeinträchtigt.
3	Kein Flüssigkeitsaustritt zulässig.

(111) Für die Rissbreiten sind in der Regel geeignete Grenzwerte in Abhängigkeit von der Klassifikation des entsprechenden Bauteils und unter Berücksichtigung der erforderlichen Funktion des Tragwerks festzulegen. Liegen keine besonderen Anforderungen vor, darf Folgendes angenommen werden:

- Undurchlässigkeitsklasse 0: Die Regeln in 7.3.1 in EN 1992-1-1 dürfen angewendet werden.
- Undurchlässigkeitsklasse 1: Trennrisse sind in der Regel auf die Rissbreite  $w_{k1}$  zu begrenzen. Die Begrenzung nach in 7.3.1 von EN 1992-1-1 ist ausreichend, wenn der Querschnitt nicht voll gerissen ist und wenn die Bedingungen der Absätze (112) und (113) erfüllt sind.
- Undurchlässigkeitsklasse 2: Trennrisse sind in der Regel zu vermeiden, falls nicht andere Maßnahmen (z. B. Auskleidungen oder Wasserbarrieren) ergriffen werden.
- Undurchlässigkeitsklasse 3: Im Allgemeinen sind besondere Maßnahmen (z. B. Auskleidungen oder Vorspannung) zur Sicherstellung der Wasserundurchlässigkeit erforderlich.

**ANMERKUNG** Der jeweils in einem Land zu verwendende Wert für  $w_{k1}$  darf in einem Nationalen Anhang festgelegt werden. Der für Wasserbehälter empfohlene Wert hängt von dem Verhältnis zwischen dem Wasserdruck über der Höhe  $h_D$  zur Wanddicke  $h$  ab. Für  $h_D/h \leq 5$  ist  $w_{k1} = 0,20$  mm, und für  $h_D/h \geq 35$  ist  $w_{k1} = 0,05$  mm; für Zwischenwerte darf zwischen 0,20 mm und 0,05 mm linear interpoliert werden. Bei einer Begrenzung der Rissbreite auf diese Werte ist eine Selbstheilung der Risse in einer vergleichsweise kurzen Zeit zu erwarten.

(112) Um bei Tragwerken der Undurchlässigkeitsklasse 2 oder 3 Trennrisse zu vermeiden, muss in der Regel der Bemessungswert der Druckzonenhöhe unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination mindestens  $x_{min}$  betragen. Bei Querschnitten unter wechselnden Beanspruchungen sind in der Regel Trennrisse zu erwarten, wenn nicht nachgewiesen werden kann, dass eine bestimmter Querschnittsbereich dabei ständig überdrückt wird. Die Höhe dieser Druckzone muss in der Regel unter allen auftretenden Lastkombinationen mindestens  $x_{min}$  betragen. Die Schnittgrößen dürfen unter Annahme eines linear-elastischen Baustoffverhaltens ermittelt werden. Die dabei sich ergebenden Spannungen im Querschnitt sind in der Regel unter Vernachlässigung der Betonzugfestigkeit zu berechnen.

**ANMERKUNG** Der jeweils in einem Land zu verwendende Wert für  $x_{min}$  darf in einem Nationalen Anhang festgelegt werden. Der empfohlene Wert für  $x_{min}$  ist der kleinere Wert von 50 mm oder  $0,2 h$ , wobei  $h$  die Bauteildicke ist.

(113) Wenn die Bedingungen von 7.3.1 (111) für die Undurchlässigkeitsklasse 1 eingehalten werden, dann darf bei von Wasser durchströmten Rissen eine Selbstheilung der Risse angenommen werden, wenn die Bauteile während der Nutzungsdauer keinen wesentlichen Änderungen der Belastung oder der Temperatur unterliegen. Liegen keine genaueren Kenntnisse vor, darf eine Selbstheilung angenommen werden, wenn der zu erwartende Bereich der Dehnungen unter Gebrauchslast unterhalb  $150 \cdot 10^{-6}$  liegt.

(114) Ist eine Selbstheilung nicht zu erwarten, kann durch jeden Trennriss unabhängig von der Rissbreite Flüssigkeit durchtreten.

(115) Silos für trockene Schüttgüter dürfen im Allgemeinen für die Undurchlässigkeitsklasse 0 bemessen werden. Jedoch kann auch die Wahl anderer Undurchlässigkeitsklassen zweckmäßig sein, wenn das Schüttgut feuchteempfindlich ist.

(116) Besondere Sorgfalt ist Bauteilen zu widmen, in denen Zugspannungen durch Zwangsverformungen infolge Schwinden oder Temperatur auftreten können.

(117) Bei den Anforderungskriterien für Flüssigkeitsbehälter kann eine Höchstleckagemenge vereinbart werden.

### **7.3.3 Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung**

Ersatz der Anmerkung zur Anwendungsregel (2):

ANMERKUNG Wird die Mindestbewehrung nach 7.3.2 vorgesehen, dürfen für vollständig auf Zug beanspruchte Querschnitte die Grenzdurchmesser und Höchstwerte der Stababstände in den Bildern 7.103N und 7.104N für verschiedene Bemessungswerte der Rissbreite abgelesen werden.

Der Grenzdurchmesser nach Bild 7.103N ist in der Regel nach Gleichung (7.122) zu modifizieren:

$$\phi_s = \phi_s^* \left( \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \right) \frac{h}{10(h-d)} \quad (7.122)$$

Dabei ist

$\phi_s$  der modifizierte Grenzdurchmesser;

$\phi_s^*$  der Grenzdurchmesser nach Bild 7.103N;

$h$  die Bauteildicke;

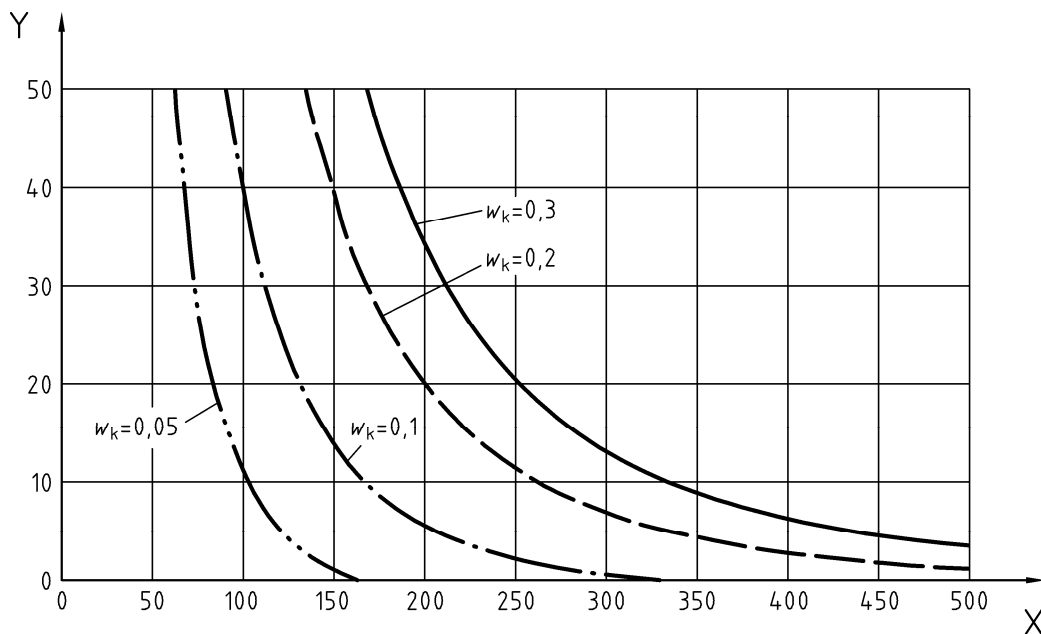
$d$  die Nutzhöhe bis zum Schwerpunkt der äußeren Bewehrungslage, (siehe Bild 7.1 c) in EN 1992-1-1);

$f_{ct,eff}$  die wirksame mittlere Betonzugfestigkeit nach EN 1992-1-1, in N/mm<sup>2</sup>.

Bei überwiegend durch Zwang verursachter Rissbildung dürfen in der Regel die im Bild 7.103N angegebenen Stabdurchmesser nicht überschritten werden, wobei die Stahlspannung unmittelbar nach Rissbildung zu verwenden ist (d. h.  $\sigma_s$  in Gleichung (7.1)).

Wenn die Risse überwiegend durch Last verursacht werden, sind in der Regel entweder die Höchstwerte der Stabdurchmesser nach Bild 7.103N oder die größten Stababstände nach Bild 7.104N einzuhalten. Die Stahlspannungen sind in der Regel unter Annahme gerissener Querschnitte für die maßgebende Einwirkungskombination zu ermitteln.

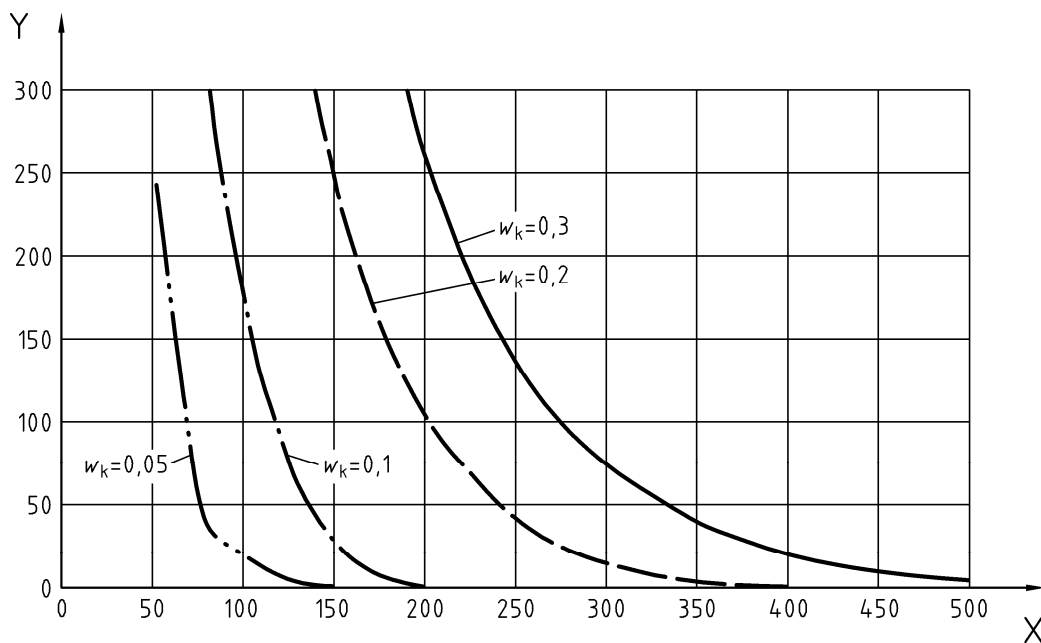
Für Zwischenwerte der Rissbreite dürfen die Werte interpoliert werden.



#### Legende

- X Stahlspannung  $\sigma_s$  (N/mm²)  
Y Grenzdurchmesser (mm)

**Bild 7.103N — Grenzdurchmesser zur Rissbreitenbegrenzung bei Bauteilen unter Längszug**



#### Legende

- X Stahlspannung  $\sigma_s$  (N/mm²)  
Y Höchstwerte der Stababstände (mm)

**Bild 7.104N — Höchstwerte der Stababstände zur Rissbreitenbegrenzung bei Bauteilen unter Längszug**

### 7.3.4 Berechnung der Rissbreite

Zusatz nach Anwendungsregel (5):

(106) Angaben zur Berechnung der Rissbreiten für Bauteile unter Zwang infolge behinderter Temperatur- oder Schwindverformung sind in den informativen Anhängen L und M enthalten.

Zusatz nach Abschnitt 7.3.4:

### 7.3.5 Begrenzung der Rissbreite infolge von Zwang

(101) Wenn die Rissbildung infolge Zwang aus Temperaturänderungen oder Schwinden beschränkt werden soll, kann dies für Tragwerke der Undurchlässigkeitsklasse 1 (siehe Tabelle 7.105) durch Begrenzung der Betonzugspannungen auf die charakteristische Betonzugfestigkeit  $f_{ctk, 0,05}$ ; gegebenenfalls unter Berücksichtigung eines biaxialen Spannungszustandes (siehe Anhang QQ in EN 1992-2), erfolgen.

Für Tragwerke der Undurchlässigkeitsklassen 2 oder 3 ohne Beschichtung kann dies sichergestellt werden, wenn der Betonquerschnitt voll überdrückt bleibt. Dies kann erreicht werden durch:

- Begrenzung des Temperaturanstiegs infolge Hydratation des Zements;
- Vermeidung oder Verminderung des Zwangs;
- Verminderung des Betonschwindens;
- Verwendung von Beton mit einem geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten;
- Verwendung von Beton mit hoher Zugfestigkeit (nur bei Tragwerken der Undurchlässigkeitsklasse 1);
- Anwendung einer Vorspannung.

(102) Im Allgemeinen werden die Spannungen genügend genau unter der Annahme elastischen Betonverhaltens und unter Verwendung eines effektiven Beton-Elastizitätsmodul zur Berücksichtigung des Kriechens ermittelt. Im informativen Anhang L wird ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung von Spannungen und Dehnungen in Betonbauteilen unter Zwang angegeben, das angewendet werden darf, wenn keine genaueren Angaben vorliegen.

## 8 Bauliche Durchbildung

### 8.10.1 Anordnung von Spanngliedern und Hüllrohren

#### 8.10.1.3 Hüllrohre für Spannglieder im nachträglichen Verbund

Zusatz nach Anwendungsregel (1):

(102) Bei kreisrunden Behältern mit interner Vorspannung muss verhindert werden, dass die Spannglieder nicht mit der inneren Betondeckung ausbrechen. Im Allgemeinen wird dies vermieden, wenn die Achse der horizontalen Spannglieder im äußeren Drittel der Wand liegt. Ist dies wegen der erforderlichen äußeren Betondeckung nicht möglich, sollten die Hüllrohre der Spannglieder mindestens in der äußeren Hälfte der Wand liegen.

(103) Der Durchmesser eines in der Wand liegenden Hüllrohres darf in der Regel das  $\kappa$ -fache der Wanddicke nicht überschreiten.

ANMERKUNG Der jeweils in einem Land zu verwendende Wert für  $\kappa$  darf in einem Nationalen Anhang festgelegt werden. Der empfohlene Wert ist  $\kappa = 0,25$ .

(104) Die Vorspannkraft ist in der Regel so gleichmäßig wie möglich in einer Wand zu verteilen. Verankerungen oder Lisenen sind in der Regel so anzuordnen, dass ungleichmäßige Kraftverteilungen möglichst verringert werden, falls nicht besondere Maßnahmen zur Berücksichtigung dieser Einflüsse ergriffen werden.

(105) Bei Tragwerken mit vertikalen Spanngliedern ohne Verbund, die höheren Temperaturen ausgesetzt sind, kann die Korrosionsschutzmasse auslaufen. Um dies zu vermeiden, dürfen in der Regel Spannglieder ohne Verbund zur vertikalen Vorspannung nicht verwendet werden. Geschieht dies dennoch, sind in der Regel Maßnahmen zur Überprüfung und gegebenenfalls Erneuerung der Korrosionsschutzmasse zu ergreifen.

#### **8.10.4 Verankerungen und Spanngliedkopplungen für Spannglieder**

Zusatz nach Anwendungsregel (5):

(106) Wenn Spanngliedverankerungen auf der Innenseite von Behältern angeordnet werden, sind diese in der Regel besonders sorgfältig gegen Korrosion zu schützen.

## **9 Konstruktionsregeln für Bauteile und spezielle Regeln**

### **9.6 Stahlbetonwände**

Zusatz nach Abschnitt 9.6.4:

#### **9.6.5 Eckverbindungen von Wänden**

(101) Sind Wände an einer Ecke monolithisch verbunden und wirken dort positive Momente und Querkräfte, die Zug an den Wandinnenseiten erzeugen, ist die Bewehrungsführung besonders sorgfältig auszubilden, um die Aufnahme der diagonalen Zugkräfte zu sichern. Stabwerkmodelle sind für die Bemessung dieser Bewehrung geeignet (siehe EN 1992-1-1, 5.6.4).

#### **9.6.6 Anordnung von Bewegungsfugen**

(101) Wenn die Maßnahmen zur Begrenzung der Rissbildung ineffektiv und unwirtschaftlich werden, sind in der Regel Bewegungsfugen bei Flüssigkeitsbehältern vorzusehen. Die Vorgehensweise hängt dabei von den Nutzungsbedingungen des Behälters und dem Gefährdungspotenzial einer Leckage ab. International wurden unterschiedliche Maßnahmen zur geeigneten Ausbildung von Bewegungsfugen entwickelt. Die Funktionsfähigkeit von Fugen setzt eine korrekte Durchbildung voraus. Fugenabdichtungen weisen in der Regel eine wesentlich kürzere Lebensdauer auf als die erforderliche Nutzungsdauer des Behälters. Deshalb sind die Fugen in der Regel überprüfbar und reparierbar bzw. erneuerbar auszuführen. Weitere Angaben zur Anordnung von Bewegungsfugen enthält der informative Anhang N. Es ist sicherzustellen, dass das Fugendichtungsmaterial gegenüber dem Füllgut bzw. der Flüssigkeit beständig ist.

### **9.11 Zusatzregeln für Wände**

#### **9.11.1 Mindestbewehrung und Mindestabmessungen**

(101) Sind keine vertikalen Spannglieder (oder geneigte Spannglieder in geneigten Wänden) vorhanden, dann ist in der Regel die vertikale bzw. geneigte Bewehrung auf Grundlage einer Stahlbetonbemessung zu ermitteln.

(102) Die Dicke von Umfassungswänden von Silos oder Behältern darf in der Regel nicht dünner als  $t_1$  bei Undurchlässigkeitsklasse 0 oder  $t_2$  bei der Undurchlässigkeitsklasse 1 oder 2 sein. In Gleitschalung hergestellte Wände dürfen in der Regel bei allen Undurchlässigkeitsklassen nicht dünner als  $t_2$  sein. Die durch die Schalungsanker verursachten Öffnungen sind in der Regel mit einem geeigneten Zementmörtel zu verfüllen.

**ANMERKUNG** Die jeweils in einem Land zu verwendenden Werte für  $t_1$  und  $t_2$  dürfen in einem Nationalen Anhang festgelegt werden. Der empfohlene Wert für  $t_1$  ist 120 mm, und der für  $t_2$  ist 150 mm.

## Anhang K (informativ)

### Einfluss der Temperatur auf die Betoneigenschaften

#### K.1 Allgemeines

(101) Dieser Anhang behandelt die Einflüsse von Temperaturen im Bereich von  $-25\text{ °C}$  bis  $+200\text{ °C}$  auf die Betoneigenschaften Festigkeit, Steifigkeit, Kriechen und Übergangskriechen.

(102) In allen Fällen hängen die Änderungen der Eigenschaften sehr stark von der speziellen Art des Betons ab. Dieser Anhang soll nur allgemeine Hinweise geben.

#### K.2 Baustoffeigenschaften bei Minustemperaturen

(101) Wird Beton auf Temperaturen unter  $0\text{ °C}$  abgekühlt, steigen Festigkeit und Steifigkeit an. Die Zunahme hängt hauptsächlich vom Feuchtegehalt des Betons ab: je höher der Feuchtegehalt, desto stärker ist die Zunahme an Festigkeit und Steifigkeit. Dies gilt jedoch nur für Bauteile, die ständig Temperaturen unter  $-25\text{ °C}$  ausgesetzt sind.

(102) Ein Abkühlen des Betons auf  $-25\text{ °C}$  führt zu einem Anstieg der Druckfestigkeit um:

— etwa  $5\text{ N/mm}^2$  bei teilweise trockenem Beton,

— etwa  $30\text{ N/mm}^2$  bei wassergesättigtem Beton.

(103) Die in Tabelle 3.1 angegebene Gleichung für die Zugfestigkeit darf wie folgt verändert werden, um den Einfluss der Temperatur zu erfassen:

$$f_{\text{ctx}} = \alpha \cdot f_{\text{ckT}}^{2/3} \quad (\text{K.1})$$

Dabei ist

$f_{\text{ctx}}$  die Betonzugfestigkeit, je nach Definition (siehe Tabelle K.1);

$\alpha$  der Beiwert zur Berücksichtigung des Feuchtegehalts des Betons. Werte für  $\alpha$  sind in Tabelle K.1 angegeben;

$f_{\text{ckT}}$  der veränderte Wert der charakteristischen Druckfestigkeit von Beton zur Berücksichtigung der Temperatur nach (102).

**Tabelle K.1 — Beiwerte  $\alpha$  für wassergesättigten und trockenen Beton**

Definition der Zugfestigkeit ( $f_{\text{ctx}}$ )	Wassergesättigter Beton	Lufttrockener Beton
$f_{\text{ctm}}$	0,47	0,30
$f_{\text{ctk};0,05}$	0,27	0,21
$f_{\text{ctk};0,95}$	0,95	0,39

(104) Ein Abkühlen des Betons auf  $-25\text{ °C}$  führt zu einem Anstieg des Elastizitätsmoduls um:

- etwa  $2\,000\text{ N/mm}^2$  bei teilweise trockenem Beton,
- etwa  $8\,000\text{ N/mm}^2$  bei wassergesättigtem Beton.

(105) Bei Temperaturen unter  $0\text{ °C}$  darf das Kriechen zu 60 % bis 80 % des Kriechens bei Normaltemperatur angenommen werden. Unter  $-20\text{ °C}$  darf angenommen werden, dass Kriechen vernachlässigbar ist.

### K.3 Baustoffeigenschaften bei höheren Temperaturen

(101) Angaben zum Einfluss erhöhter Temperaturen auf die Druck- und Zugfestigkeit von Beton enthält Abschnitt 3.2.2 von EN 1992-1-2.

(102) Es darf angenommen werden, dass sich der Elastizitätsmodul des Betons bei Temperaturen bis zu  $50\text{ °C}$  nicht verändert. Für höhere Temperaturen darf eine lineare Abnahme um 20 % bis zu einer Temperatur von  $200\text{ °C}$  angesetzt werden.

(103) Wird ein Beton vor der Belastung erwärmt, darf angenommen werden, dass sich die Kriechzahl mit Zunahme der Temperatur über  $20\text{ °C}$  durch Multiplikation mit dem in Tabelle K.2 angegebenen Beiwert erhöht.

**Tabelle K.2 — Beiwert zur Erhöhung der Kriechzahl zur Berücksichtigung höherer Temperaturen vor der Belastung**

Temperatur (°C)	Erhöhungsfaktor für Kriechbeiwerte
20	1,00
50	1,35
100	1,96
150	2,58
200	3,20
ANMERKUNG Die Tabellenwerte wurden aus dem CEB-Bulletin 208 abgeleitet und weisen eine gute Übereinstimmung mit Beiwerten auf, die auf der Grundlage einer Aktivierungsenergie für das Kriechen von $8\text{ kJ/mol}$ berechnet wurden.	

(104) Wird ein Betonbauteil unter Last erwärmt, treten überproportional größere Verformungen auf, als sie mit dem Erhöhungsbeiwert für Kriechen nach (103) berücksichtigt werden können. Diese verstärkte Verformung (Übergangskriechen) ist eine bleibende, zeitunabhängige Dehnung. Die maximale Dehnung infolge Übergangskriechen darf näherungsweise nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\varepsilon_{Tr} = \kappa \cdot \sigma_c \cdot \varepsilon_{Th} / f_{cm} \quad (K.2)$$

Dabei ist

$\kappa$  eine aus Versuchsergebnissen abgeleitete Konstante; der Wert für  $\kappa$  liegt im Bereich  $1,8 \leq \kappa \leq 2,35$ ;

$f_{cm}$  der Mittelwert der Betondruckfestigkeit;

$\varepsilon_{Tr}$  die Dehnung infolge Übergangskriechen;

$\varepsilon_{Th}$  die freie thermische Dehnung im Beton ( $= \Delta T \cdot \alpha_T$ );

$\sigma_c$  die aufgebrachte Druckspannung.



## Anhang L (informativ)

### Berechnung der Dehnungen und Spannungen von Betonquerschnitten infolge Zwang

#### L.1 Beziehungen für die Spannungen und Dehnungen bei ungerissenen Betonquerschnitten

(101) Die Dehnung und die Betonspannung in einer beliebigen Querschnittsfaser dürfen wie folgt ermittelt werden:

$$\varepsilon_{az} = (1 - R_{ax}) \cdot \varepsilon_{iav} + (1 - R_m) \cdot (1/r) \cdot (z - \underline{z}) \quad (\text{L.1})$$

$$\sigma_z = E_{c,eff} \cdot (\varepsilon_{iz} - \varepsilon_{az}) \quad (\text{L.2})$$

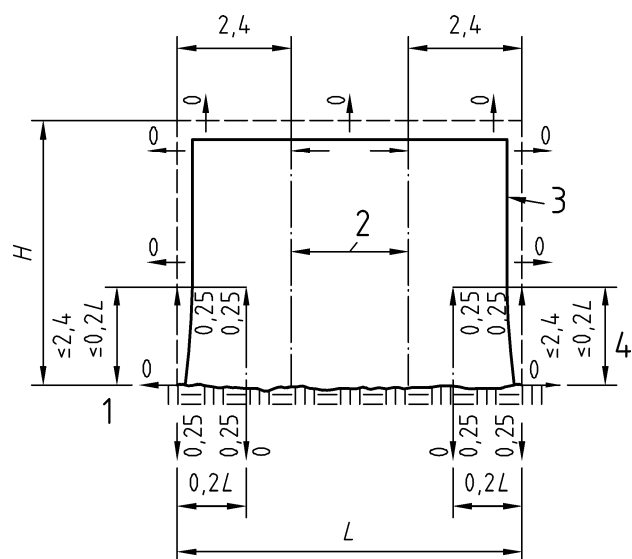
Dabei ist

- $R_{ax}$  der Beiwert zur Bestimmung der Größe eines zentrischen Zwangs infolge der an das betrachtete Bauteil angeschlossenen Bauteile;
- $R_m$  der Beiwert zur Bestimmung der Größe eines Zwangsmoments infolge der an das betrachtete Bauteil angeschlossenen Bauteile. Für die üblichen Fälle darf  $R_m$  zu 1,0 angenommen werden;
- $E_{c,eff}$  der effektive Elastizitätsmodul für Beton unter Berücksichtigung des Kriechens;
- $\varepsilon_{iav}$  die mittlere Bauteildehnung (d. h. die mittlere Dehnung des völlig frei verformbaren Bauteils);
- $\varepsilon_{iz}$  die Zwangsdehnung in der Höhe  $z$ ;
- $\varepsilon_{az}$  die tatsächliche Dehnung in der Höhe  $z$ ;
- $z$  der Abstand zur Faser in der Höhe  $z$ ;
- $\underline{z}$  der Abstand vom Querschnittsschwerpunkt;
- $1/r$  die Krümmung.

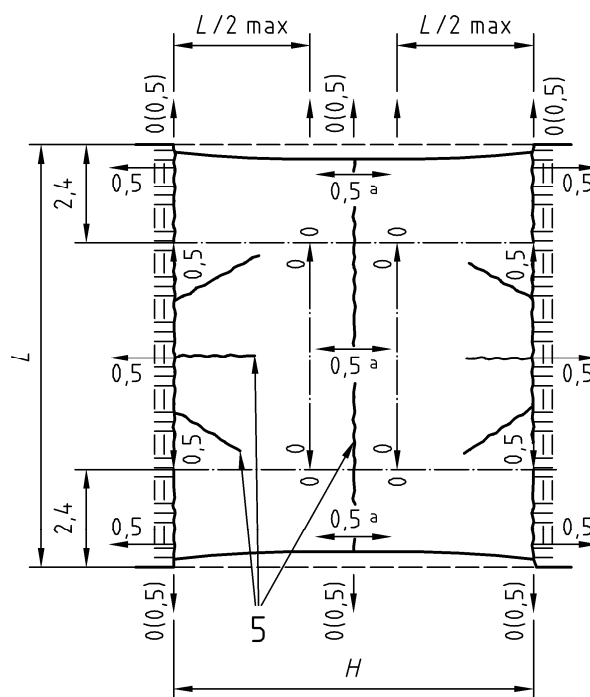
#### L.2 Abschätzung des Zwangs

(101) Die Zwangsbeiwerte dürfen unter Berücksichtigung der Steifigkeiten des betrachteten Bauteils und der an ihm angeschlossenen Bauteile berechnet werden. Alternativ dürfen die Beiwerte für zentrischen Zwang für übliche Fälle dem Bild L.1 und der Tabelle L.1 entnommen werden. In vielen Fällen (z. B. wenn eine Wand auf ein starres vorhandenes Fundament betoniert wird) kann offensichtlich keine wesentliche Krümmung auftreten, und der Beiwert für Momentenzwang  $R_m = 1,0$  trifft zu.

Maße in m



a) Wand auf einem Fundament



Bei  $H \leq L$  ist der Faktor  $= 0,5 \left(1 - \frac{H}{L}\right)^{N5}$

b) Platte zwischen starren Widerlagern

N5) Nationale Fußnote: Die Gleichung wurde bereits in der nationalen Ausgabe DIN EN 1992-3:2006-11 berichtigt.

Technical drawing of a rectangular structure, likely a cross-section of a wall or foundation, showing dimensions and annotations. The drawing includes a vertical dimension  $H$  and a horizontal dimension  $L$ . Key dimensions and annotations include:

- Top horizontal dimension:  $\leq 2,4$  and  $\leq 0,2H$ .
- Top horizontal dimension:  $4$ .
- Left vertical dimension:  $2,4$ .
- Left vertical dimension:  $0,2H$ .
- Left vertical dimension:  $0,25$ .
- Left vertical dimension:  $0,25$ .
- Left vertical dimension:  $0,5$ .
- Right vertical dimension:  $0(0,25)$ .
- Right vertical dimension:  $0(0,25)$ .
- Right vertical dimension:  $0,25$ .
- Right vertical dimension:  $0,25$ .
- Right vertical dimension:  $\leq 2,4$ .
- Right vertical dimension:  $\leq 0,2L$ .
- Right vertical dimension:  $4$ .
- Bottom horizontal dimension:  $0,5$ .
- Bottom horizontal dimension:  $0,5$ .
- Bottom horizontal dimension:  $0,25$ .
- Bottom horizontal dimension:  $0,25$ .
- Bottom horizontal dimension:  $0,2L$ .
- Bottom horizontal dimension:  $2,4$ .
- Bottom horizontal dimension:  $0$ .
- Bottom horizontal dimension:  $0(0,5)$ .
- Bottom horizontal dimension:  $L$ .

[illegible]

**ANMERKUNG** Die verwendeten Beiwerte  $R$  sollten die tatsächliche Verteilung der Bewehrung berücksichtigen.

1	vertikale Zwangsbeiwerte	4	der höhere Wert ist maßgebend
2	horizontale Zwangsbeiwerte (siehe Tabelle L.1 für diesen mittleren Bereich)	5	mögliche Hauptrisse
3	Dehnfuge		

**Tabelle L.1 — Zwangsbeiwerte für die mittleren Bereiche von Wänden, siehe Bild L.1**

<b>Verhältnis <math>L/H</math></b> (siehe Bild L.1)	<b>Zwangsbeiwert am Fundament</b>	<b>Zwangsbeiwert oben</b>
1	0,5	0
2	0,5	0
3	0,5	0,05
4	0,5	0,3
> 8	0,5	0,5

## Anhang M (informativ)

### Berechnung von Rissbreiten infolge Zwang

#### M.1 Allgemeines

(101) Dieser Anhang behandelt den Zwang infolge von Schwinden und von frühen Temperaturverformungen durch Abkühlen der Bauteile während der Tage unmittelbar nach dem Betonieren.

In der Praxis sind in der Regel zwei grundlegende Fälle zu betrachten, die sich auf verschiedene Arten des Zwanges beziehen (siehe Bild M.1).

Die Einflussparameter für die Rissbildung sind für beide Fälle sehr verschieden. Der Fall a) tritt auf, wenn ein neuer Betonierabschnitt zwei vorhandene Abschnitte verbindet. Der häufige Fall b) tritt auf, wenn eine Wand auf ein vorher hergestelltes Fundament betoniert wird. Der Fall a) wurde in den vergangenen Jahrzehnten ausreichend untersucht und behandelt. Zum Fall b) wurden nicht in gleichem Maße systematische Untersuchungen veröffentlicht.

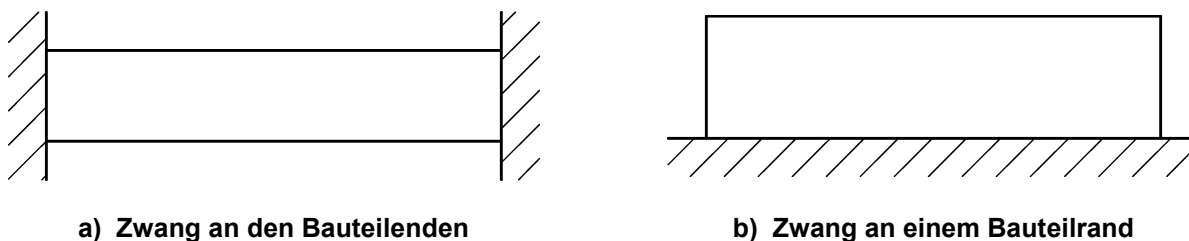


Bild M.1 — Arten des Zwanges von Wänden

Die Einflussparameter für die Rissbreitenbeschränkung sind für diese beiden Fälle sehr verschieden, und beide Fälle sind wirklich von praktischer Bedeutung. Der Fall a) tritt auf, wenn ein neuer Betonabschnitt zwischen zwei vorhandene Abschnitte betoniert wird. Der Fall b) ist besonders häufig und tritt auf, wenn eine Wand auf ein vorher betoniertes Fundament betoniert wird. Der Fall a) wurde über die letzten Jahrzehnte ausführlich erforscht und ist ziemlich klar. Der Fall b) wurde nicht so systematisch untersucht und es scheint wenige veröffentlichte Anleitungen zu geben.

#### M.2 Zwang an den Bauteilenden

##### Fall a): Zwang an den Bauteilenden

Die maximale Rissbreite darf nach Gleichung (7.8) von EN 1992-1-1 berechnet werden, wobei  $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$  mit Gleichung (M.1) ermittelt wird:

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,5 \cdot \alpha_e \cdot k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} (1 + 1/(\alpha_e \cdot \rho)) / E_s \quad (M.1)$$

Für die Rissbreitenbegrenzung ohne direkte Berechnung darf  $\sigma_s$  nach Gleichung (M.2) bestimmt werden, mit der dann mit den Bildern 7.103N und 7.104N eine geeignete Bewehrungsanordnung ermittelt werden kann.

$$\sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} / \rho \quad (M.2)$$

Dabei ist

$$\rho = A_s / A_{ct};$$

$A_{ct}$  die Betonzugfläche nach 7.3.2.

#### Fall b): Zwang an einem Bauteilrand einer langen Wand

Im Gegensatz zu Zwang an den Bauteilenden beeinflusst die Rissbildung hier nur lokal die Spannungsverteilungen. Die Rissbreite hängt von der Zwangsdehnung und nicht von der Dehnfähigkeit des Betons auf Zug ab. Eine gute Abschätzung der Rissbreite kann mit dem Ansatz von  $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$  nach Gleichung (M.3) in Gleichung (7.8) von EN 1992-1-1 erfolgen.

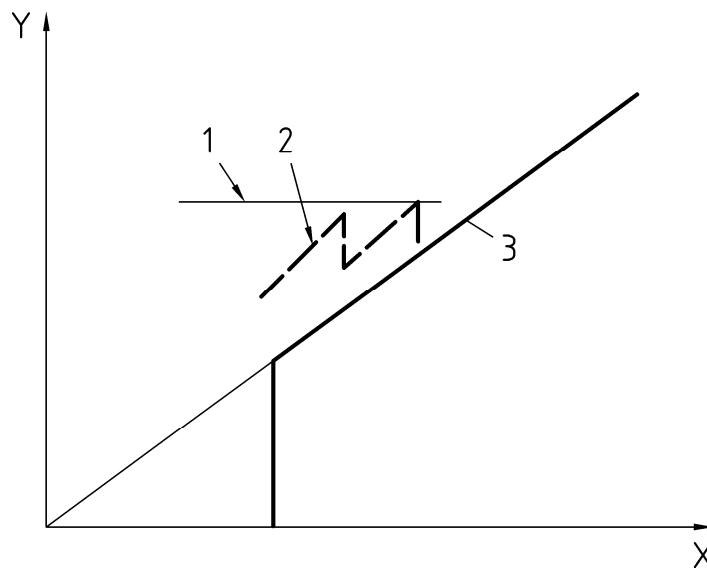
$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = R_{ax} \cdot \varepsilon_{free} \quad (M.3)$$

Dabei ist

$R_{ax}$  der Zwangsbeiwert nach dem informativen Anhang L;

$\varepsilon_{free}$  die Dehnung des völlig unbehinderten Bauteils.

Das Bild M.2 veranschaulicht den Unterschied in der Rissbildung der beiden Zwangsfälle.



#### Legende

- X Zwang
- Y Rissbreite
- 1 Gleichung (M.1)
- 2 Rissbildung infolge Zwang an den Bauteilenden
- 3 Rissbildung bei Zwang am Bauteilrand (Gleichung (M.3))

**Bild M.2 — Zusammenhang zwischen Rissbreite und Zwangsdehnung für Zwang an den Bauteilenden und an einem Bauteilrand**

## Anhang N (informativ)

### Anordnung von Bewegungsfugen

(101) Folgende Bemessungsoptionen sind möglich:

- a) Bemessung für vollen Zwang. In diesem Fall werden keine Bewegungsfugen angeordnet und die Breiten und Abstände der Risse werden durch Anordnung einer angemessenen Bewehrung nach den Regeln in 7.3 kontrolliert.
- b) Bemessung für freie Bewegungsmöglichkeit. In diesem Fall wird die Rissbildung durch den Abstand der Fugen kontrolliert. Es wird eine geringe Bewehrung eingelegt, um die Verformung zur anschließenden Fuge zu übertragen. Zwischen den Fugen sollte keine wesentliche Rissbildung auftreten. Wird der Zwang durch Beton unterhalb des betrachteten Bauteils hervorgerufen, dann kann eine Gleitfuge zur Vermeidung oder Verminderung des Zwangs angeordnet werden.

Tabelle N.1 enthält Empfehlungen für die Optionen.

**Tabelle N.1 — Anordnung von Bewegungsfugen zur Risskontrolle**

Option	Konstruktionsprinzip	Fugenabstand	Bewehrung
a)	fugenlos — voller Zwang	Im Allgemeinen keine Fugen. Wenn großer Zwang (infolge Temperatur oder Schwinden) zu erwarten ist, können Fugen auch in größeren Abständen zweckmäßig sein.	Bewehrung nach Abschnitt 6 und 7.3
b)	enge Fugenabstände — minimaler Zwang	vollständig ausgebildete Fugen in größerem Abstand von 5 m oder dem 1,5-fachen der Wandhöhe	Bewehrung nach Abschnitt 6, aber nicht weniger als die Mindestbewehrung nach 9.6.2 bis 9.6.4