

DIN EN 13084-2

ICS 91.060.40

Ersatz für
DIN EN 13084-2:2002-04**Freistehende Schornsteine –
Teil 2: Betonschornsteine;
Deutsche Fassung EN 13084-2:2007**

Free-standing chimneys –
Part 2: Concrete chimneys;
German version EN 13084-2:2007

Cheminées indépendantes –
Partie 2: Cheminées en béton;
Version allemande EN 13084-2:2007

Gesamtumfang 26 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13084-2:2007) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 297 „Freistehende Industrieschornsteine“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Der NABau-Spiegelausschuss NA 005-11-37 „Industrieschornsteine“ hat mit seinen deutschen Experten die Arbeiten begleitet.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13084-2:2002-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Norm vollständig überarbeitet und dem Stand der Technik angepasst.

Frühere Ausgaben

DIN EN 13084-2: 2002-04

Deutsche Fassung

Freistehende Schornsteine —
Teil 2: Betonschornsteine

Free-standing chimneys —
Part 2: Concrete chimneys

Cheminées indépendantes —
Partie 2: Cheminées en béton

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 26. April 2007 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 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: rue de Stassart, 36 B- 1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Baustoffe	5
4.1 Beton	5
4.1.1 Normalbeton für Ortbeton-Schornsteine	5
4.1.2 Beton für Fertigteil-Schornsteine	5
4.2 Mörtel zum Vermauern von Fertigteilen	5
4.3 Betonstahl	5
5 Baustoffeigenschaften	6
6 Berechnung und Bemessung	7
6.1 Einwirkungen	7
6.2 Schnittgrößen	7
6.2.1 Allgemeines	7
6.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte	7
6.2.3 Momente zweiter Ordnung	8
6.2.4 Überlagerung von Wärme- und anderen Einwirkungen	10
6.3 Nachweis	10
6.3.1 Allgemeines	10
6.3.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit	10
6.3.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	13
7 Bauliche Durchbildung	13
7.1 Ortbeton-Schornsteine	13
7.1.1 Vertikale Mindestbewehrung	13
7.1.2 Horizontale Mindestbewehrung	14
7.1.3 Mindestbewehrung im Bereich von Öffnungen	14
7.1.4 Stababstände	14
7.1.5 Mindestbetondeckung	15
7.1.6 Mindestwanddicke	15
7.1.7 Übergreifungsstöße	15
7.2 Fertigteil-Schornsteine	15
7.2.1 Mindestbewehrung für den Transport von Fertigteilen	15
7.2.2 Horizontale Mindestbewehrung	15
7.2.3 Mindestbetondeckung	15
7.2.4 Mindestwanddicke	15
7.2.5 Durchgehende vertikale Stabbündel	16
7.2.6 Öffnungen	17
8 Ausführung	17
8.1 Allgemeines	17
8.2 Lagerfugen	17
8.3 Vergusskanäle	17
9 Qualitätskontrolle	18
9.1 Ortbeton-Schornsteine	18
9.2 Fertigteil-Schornsteine	18
Anhang A (normativ) Berechnung von Spannungen infolge von Wärme- und anderen Einwirkungen	19
A.1 Momenten-Krümmungs-Beziehung	19
A.2 Durchführung der Berechnung	22
Anhang B (normativ) Beschränkung der Rissbreiten	24

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13084-2:2007) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 297 „Freistehende Industrieschornsteine“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

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

Es wird darauf hingewiesen, dass die Möglichkeit besteht, dass Teile des Dokumentes Patentrechte berühren können. CEN (und/oder CENELEC) ist nicht dafür verantwortlich, solche Patentrechte zu identifizieren.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 13084-2:2001.

Diese Europäische Norm ist Teil 2 des unten gelisteten Normenpaketes.

- EN 13084-1, *Freistehende Schornsteine — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*
- EN 13084-2, *Freistehende Schornsteine — Teil 2: Betonschornsteine*
- EN 13084-4, *Freistehende Schornsteine — Teil 4: Innenrohre aus Mauerwerk — Bemessung und Ausführung*
- EN 13084-5, *Freistehende Schornsteine — Teil 5: Baustoffe für Innenrohre aus Mauerwerk — Produktfestlegungen*
- EN 13084-6, *Freistehende Schornsteine — Teil 6: Innenrohre aus Stahl — Entwurf, Bemessung und Ausführung*
- EN 13084-7, *Freistehende Schornsteine — Teil 7: Produktfestlegungen für zylindrische Stahlbauteile zur Verwendung in einschaligen Stahlschornsteinen und Innenrohren aus Stahl*
- EN 13084-8, *Freistehende Schornsteine — Teil 8: Entwurf, Bemessung und Ausführung von Tragmastkonstruktionen mit angehängten Abgasanlagen*

Zusätzlich gilt

- ENV 1993-3-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3-2: Türme, Maste und Schornsteine — Schornsteine*

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, 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.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm behandelt die besonderen Anforderungen und Leistungskriterien für die Bemessung und Ausführung von Ortbeton-Schornsteinen und Fertigteil-Schornsteinen. Sie gibt Anforderungen an, die die mechanische Festigkeit und Standsicherheit von Betonschornsteinen nach den in EN 13084-1 angegebenen allgemeinen Anforderungen sicherstellen.

Für an Gebäuden abgestützte Schornsteine gelten die in Abschnitt 1 von EN 13084-1:2000 angegebenen Kriterien.

Sofern es in den folgenden Abschnitten nicht anders angegeben ist, gilt die Grundnorm für die Bemessung von Betontragwerken EN 1992-1-1.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Europäischen Norm 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 206-1:2000, *Beton — Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

EN 1520:2002, *Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus haufwerksporigem Leichtbeton*

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1992-1-1:2004, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 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 12446, *Abgasanlagen — Bauteile — Außenschalen aus Beton*

EN 13084-1:2000, *Freistehende Schornsteine — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

EN 13084-4, *Freistehende Schornsteine — Teil 4: Innenrohre aus Mauerwerk — Entwurf, Bemessung und Ausführung*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 13084-1 und die folgenden Begriffe.

3.1 Fertigteil
vorgefertigtes Bauteil aus Normal- oder Leichtbeton mit oder ohne Bewehrung, das die Abgaszüge von Schornsteinen vollständig umschließt

3.2 Vergusskanal
Aussparung im Fertigteil für die durchgehende vertikale Bewehrung

4 Baustoffe

4.1 Beton

4.1.1 Normalbeton für Ortbeton-Schornsteine

Für Ortbeton-Schornsteine können die in EN 206-1 angegebenen Betonfestigkeitsklassen, jedoch mindestens C25/30 zur Anwendung kommen. Hinsichtlich Umweltbedingungen gilt EN 206-1.

ANMERKUNG Höhere Festigkeitsklassen als C25/30 sollten nur dann verwendet werden, wenn dies aufgrund von Umweltbedingungen nach EN 1992-1-1:2004, Tabelle E.1N erforderlich ist und keine besonderen Maßnahmen zum Schutz der Bewehrung gegen Korrosion und zum Schutz des Betons gegen chemischen Angriff getroffen werden.

4.1.2 Beton für Fertigteil-Schornsteine

4.1.2.1 Normalbeton

Siehe 4.1.1

4.1.2.2 Leichtbeton

Leichtbeton für Fertigteile muss der Rohdichteklasse D 1,2 oder höher nach von EN 206-1:2000, Tabelle 9 entsprechen.

Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge für Fertigteile muss den in EN 206-1 angegebenen Festigkeitsklassen entsprechen. Hinsichtlich Umweltbedingungen gilt EN 206-1.

ANMERKUNG Höhere Festigkeitsklassen als LC25/28 sollten nur dann verwendet werden, wenn dies aufgrund von Umweltbedingungen nach EN 1992-1-1:2004, Tabelle E.1N erforderlich ist und keine besonderen Maßnahmen zum Schutz der Bewehrung gegen Korrosion und zum Schutz des Betons gegen chemischen Angriff getroffen werden.

Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge für Fertigteile muss den in EN 1520 angegebenen Festigkeitsklassen entsprechen, jedoch sollten keine geringeren Festigkeitsklassen als LAC 8 verwendet werden. Hinsichtlich Umweltbedingungen siehe EN 1520:2002, 5.8.2.

4.1.2.3 Vergussbeton für den Vergusskanal

Der Vergussbeton muss mindestens die gleiche Festigkeitsklasse wie die Fertigteile besitzen, jedoch darf die nächst höhere Festigkeitsklasse nicht überschritten werden. Die Fließklasse für die Konsistenz muss mindestens F3 nach EN 206-1:2000, Tabelle 6 entsprechen, und das Größtkorn des Zuschlagstoffes darf nicht größer als 8 mm sein.

4.1.2.4 Außenschalen

Vorgefertigte Außenschalen müssen EN 12446 entsprechen.

4.2 Mörtel zum Vermauern von Fertigteilen

Der Mörtel von Lagerfugen zwischen Fertigteilen muss die gleiche Festigkeitsklasse wie der Beton der Fertigteile haben.

4.3 Betonstahl

Für Betonstahl gelten die in EN 1992-1-1 angegebenen Festlegungen.

5 Baustoffeigenschaften

Die Baustoffeigenschaften von Beton und Betonstahl für die Bemessung bei Normaltemperatur sind mit Ausnahme der mittleren Zugfestigkeit von Beton, f_{ctm} , die nach Gleichung (1) zu berechnen ist, EN 1992-1-1 oder EN 1520 zu entnehmen. Der Einfluss von erhöhten Temperaturen auf die mechanischen und thermischen Eigenschaften von Beton und Betonstahl ist nach EN 1992-1-2 zu ermitteln.

$$f_{ctm} = c_c \cdot c_\beta \cdot c_v \cdot c_\eta \cdot f_{cm}^{0,67}, \text{ in N/mm}^2 \quad (1)$$

Dabei ist

c_c der Dichtebeiwert für Beton

$$c_c = 0,4 + 0,6 \frac{\rho}{2\,200} \quad (1a)$$

c_β der Betonfestigkeitsbeiwert

$$c_\beta = 0,45 \quad (1b)$$

c_v der Beiwert der Vorschädigung

$$c_v = 0,85 - 0,2 t \quad (1c)$$

c_η der Exzentrizitätsbeiwert

$$c_\eta = \frac{0,6 + 6 \cdot c_t \cdot \eta}{1,0 + 6 \cdot \eta} \quad (1d)$$

c_t der Wanddickenbeiwert

$$c_t = \frac{2,6 + 24 \cdot t}{1,0 + 40 \cdot t} \quad (1e)$$

f_{cm} die mittlere Druckfestigkeit des Betons

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ in Newton durch Quadratmillimeter} \quad (1f)$$

f_{ck} die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit des Betons, in Newton durch Quadratmillimeter

ρ die Betondichte

für Normalbeton:

$$\rho = 2\,200 \text{ kg/m}^3$$

für Leichtbeton:

ist ρ der Bemessungswert der Betondichte entsprechend der Dichteklasse nach EN 1992-1-1:2004, Tabelle 11.1

η die Exzentrizität

$$\eta = \frac{M}{N \cdot t} \quad (1g)$$

M der Bemessungswert des Biegemoments im betreffenden Querschnitt, in Newtonmeter;

N der Bemessungswert der Normalkraft im betreffenden Querschnitt, in Newton;

t die Wanddicke des betreffenden Querschnitts, in Meter.

Für Leichtbeton sind die Bezeichnungen f_{ctm} , f_{cm} und f_{ck} durch f_{lctm} , f_{lcm} bzw. f_{lck} zu ersetzen.

6 Berechnung und Bemessung

6.1 Einwirkungen

Die zu berücksichtigenden Einwirkungen sind in EN 13084-1 angegeben. Hinsichtlich der Bemessungswerte der Einwirkungen und der Einwirkungskombinationen siehe EN 1990.

6.2 Schnittgrößen

6.2.1 Allgemeines

Die Schnittgrößen sowohl in den horizontalen als auch in den vertikalen Querschnitten sind unter Berücksichtigung der Momente nach Theorie zweiter Ordnung zu ermitteln.

Das Tragrohr kann nach der Balkentheorie unter Einwirkung von Normalkräften, Biegemomenten und Wärmewirkungen behandelt werden.

Sind Auswirkungen auf die Standsicherheit zu erwarten, müssen die Einflüsse von Kriechen, Schwinden und Rissbildung berücksichtigt werden.

6.2.2 Teilsicherheitsbeiwerte

Es sind Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen anzusetzen.

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit, die in einem Land verwendet werden dürfen, dürfen in dem jeweiligen Nationalen Anhang gefunden werden.

Die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen sind:

- a) Ständige Einwirkungen
 - ungünstig wirkend $\gamma_G = 1,35;$
 - günstig wirkend $\gamma_G = 1,0;$
- b) Windlasten $\gamma_W = 1,5;$
- c) Wärmeeinwirkungen $\gamma_T = 1,5;$
- d) Erdbeben $\gamma_E = 1,0.$

6.2.3 Momente zweiter Ordnung

6.2.3.1 Allgemeines

Für die Ermittlung von Momenten zweiter Ordnung dürfen die Mittelwerte der Baustoffeigenschaften verwendet werden. In der Betondruckzone ist das folgende lineare Stoffgesetz anzuwenden:

$$\sigma = E_{cm} \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Dabei ist

σ die Spannung;

E_{cm} der Elastizitätsmodul des Betons;

ε die Dehnung.

Die Mitwirkung des Betons auf Zug darf in Schornsteinen mit durchgehender vertikaler Bewehrung berücksichtigt werden.

6.2.3.2 Näherungsverfahren

Die Näherung beruht auf folgenden Annahmen:

- volle Ausnutzung der Querschnitte bezogen auf die örtliche Tragfähigkeit;
- Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons auf Zug;
- Schornsteinhöhe geringer als 300 m;
- keine Berücksichtigung von Verformungen infolge Imperfektionen und Drehung des Fundamentes;
- konstanter Durchmesser und konstante Wanddicke oder nahezu lineare Verringerung von einem der beiden über die Schornsteinhöhe.

Der Bemessungswert des Moments zweiter Ordnung darf wie folgt berechnet werden:

- bei Tragrohren mit durchgehender vertikaler Bewehrung:

$$M^{II}(z) = M^I(z) + M^I(0) \cdot \frac{(85 - 0,14 \cdot h) \cdot \alpha^2}{100} \cdot \left(1 + 2,4 \cdot \frac{z}{h}\right) \cdot \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{2,4} \quad (3)$$

- bei Tragrohren ohne durchgehende vertikale Bewehrung, sofern α nach Gleichung (5) den Wert 0,6 nicht übersteigt:

$$M^{II}(z) = (1 + \kappa \cdot \alpha^2) \cdot M^I(z) \quad (4)$$

Dabei ist

$M^{II}(z)$ der Bemessungswert des Biegemoments zweiter Ordnung in der Höhe z ;

$M^I(0)$ der Bemessungswert des Biegemoments erster Ordnung am Schornsteinfuß;

$M^I(z)$ der Bemessungswert des Biegemoments erster Ordnung in der Höhe z ;

z die Höhe des betrachteten Querschnittes über der Fundamentoberkante;

h die Schornsteinhöhe über der Fundamentoberkante;

$$\alpha = h \cdot \sqrt{\frac{N}{E_{cm} \cdot I}} \quad (5)$$

$\kappa = 0,5$, wenn sich die horizontalen Fugen nicht weiter als bis zum Schwerpunkt öffnen;

$\kappa = 0,75$, wenn sich die horizontalen Fugen über den Schwerpunkt hinaus öffnen;

N der Bemessungswert der Normalkraft am Schornsteinfuß;

E_{cm} der Elastizitätsmodul des Betons;

I das Flächenmoment zweiten Grades des ungerissenen Querschnittes am Schornsteinfuß unter Vernachlässigung der Bewehrung

$$I = \pi \cdot d_m^3 \cdot \frac{t}{8} \quad (5a)$$

d_m der mittlere Durchmesser des Tragrohrs am Schornsteinfuß;

t die Wanddicke am Schornsteinfuß.

6.2.3.3 Drehung des Fundamentes

Die Drehung des Fundamentes ruft im Tragrohr Momente zweiter Ordnung hervor.

Für die Bestimmung des Drehwinkels θ gelten die Gleichungen (6) oder (7):

— für eine kreisförmige Plattengründung, falls kein Auftrieb vorhanden ist:

$$\theta = M^{\text{II}} \cdot 0,54 \cdot \frac{(1 - \nu^2)}{(E_{\text{soil}} \cdot R^3)} \quad (6)$$

— für eine Spitzendruckpfahlgründung:

$$\theta = \frac{M^{\text{II}}}{\beta_p \sum x_p^2 \cdot k_p} \quad (7)$$

Dabei ist

M^{II} der Bemessungswert des Biegemoments zweiter Ordnung, bezogen auf die Fundamentunterseite der Gründung;

R der Radius der kreisförmigen Fundamentplatte;

E_{soil} der Elastizitätsmodul des Bodens;

ν die Poisson Zahl; $\nu = 0,5$;

β_p der Beiwert für die Berücksichtigung der gegenseitigen Pfahlbeeinflussung in einem Pfahlrost

$$\beta_p = \frac{1}{1 + 6 \times \left(\frac{d_p}{s_p} \right)} \quad (7a)$$

x_p der Abstand eines Pfahls von der Drehachse;

k_p die Federkonstante der Spitzendruckpfahlgründung;

d_p der Pfahldurchmesser;

s_p der Mindestabstand zwischen den Pfählen.

6.2.4 Überlagerung von Wärme- und anderen Einwirkungen

Die Überlagerung von Spannungen aus Wärmeeinwirkung und Spannungen aus anderen Einwirkungen ist wegen des stark nichtlinearen Verhaltens der Baustoffe besonders schwierig zu erfassen. In Anhang A ist ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Biegemomente und der Bewehrung infolge Temperaturunterschieden zwischen der Innen- und Außenfläche der Betonwand, die von anderen Einwirkungen überlagert werden, angegeben. Der Einfluss von Sonneneinstrahlung auf die Beanspruchungen braucht nicht gesondert berücksichtigt zu werden.

Die Berechnung von Spannungen aus Wärmeeinwirkungen ist bei Fertigteilen nicht erforderlich, sofern folgende Bedingungen eingehalten werden:

- a) Rauchgastemperatur $T \leq 300 \text{ °C}$;
- b) Dicke der inneren Wärmedämmung $\geq 80 \text{ mm}$ und Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0,058 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, gemessen bei 150 °C ;
- c) Wanddicke des vorgefertigten Tragrohrelementes $\leq 200 \text{ mm}$;
- d) Schornsteinhöhe $\leq 30 \text{ m}$.

6.3 Nachweis

6.3.1 Allgemeines

Sofern keine anderen Festlegungen in diesem Dokument gemacht werden, sind die folgenden Bemessungsnormen anzuwenden.

Stahlbeton:

Normalbeton	EN 1992-1-1
Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge	EN 1992-1-1
Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge	EN 1520

6.3.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

6.3.2.1 Ortbeton-Schornsteine

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungswerte der einwirkenden Schnittgrößen nach 6.2 die Bemessungswerte der Tragfähigkeit der Querschnitte unter Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten für Baustoffe nicht übersteigen.

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe im Grenzzustand der Tragfähigkeit, die in einem Land verwendet werden dürfen, können in dem jeweiligen Nationalen Anhang gefunden werden.

Die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe sind:

- a) Beton $\gamma_c = 1,5$;
- b) Betonstahl $\gamma_s = 1,15$.

6.3.2.2 Fertigteil-Schornsteine

6.3.2.2.1 Schornsteine mit durchgehender vertikaler Bewehrung

Es gelten die Festlegungen von 6.3.2.1.

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Druck von horizontalen Mörtelfugen zwischen den Fertigteilen ist nach EN 1992-1-1:2004, 10.9.4.3 zu ermitteln.

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft in horizontalen Mörtelfugen zwischen den Fertigteilen aus Normalbeton ist nach EN 1992-1-1:2004, 6.2.5 zu ermitteln.

Für Fertigteile aus Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge gilt EN 1992-1-1. Für Fertigteile aus Leichtbeton mit haufwerksporigem Gefüge gilt EN 1520:2002, Anhang A.

6.3.2.2 Schornsteine oder Teile von Schornsteinen ohne durchgehende vertikale Bewehrung

Es gelten die Festlegungen von 6.3.2.2.1. Teile eines Querschnitts, die keine Druckkräfte übertragen, dürfen nicht zur Aufnahme von Schubkräften herangezogen werden.

6.3.2.3 Öffnungen

6.3.2.3.1 Allgemeines

Spannungen im Bereich von Öffnungen im Tragrohr lassen sich nach der Schalentheorie berechnen. Bei runden kreiszylinderförmigen Schalen darf das in 6.3.2.3.2 und 6.3.2.3.3 angegebene Näherungsverfahren angewendet werden.

6.3.2.3.2 Ersatzöffnungen

Die Grundannahme von Navier in der Balkentheorie gilt nicht für Teile des Schornsteins mit Öffnungen.

Dieses Modell darf jedoch für die Bemessung von horizontalen Querschnitten verwendet werden, wenn die Öffnungen zu Ersatzöffnungen nach Bild 1 vergrößert werden und die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Keine Ersatzöffnung ist breiter als das 1,2fache des Innenradius;
- für jeden horizontalen Querschnitt mit mehr als einer Öffnung muss der am Umfang gemessene Abstand a zwischen jeweils zwei benachbarten Ersatzöffnungen mit den Breiten b_1 und b_2 so sein, dass

$$a \geq 0,25 (b_1 + b_2) \quad (8)$$

ist; andernfalls sind die Öffnungen als eine Öffnung zu betrachten, bei der die Wand zwischen den Öffnungen vernachlässigt wird;

- sofern sich eine Öffnung in der Druckzone befindet, muss zur Bestimmung des Gleichgewichtes der jeweils innerhalb eines Abstandes von $0,5 \cdot b$ vom Rand der Öffnung vorhandene vertikale Bewehrungsgrad, ρ_v , um 0,005 kleiner als der tatsächliche Betrag gewählt werden.

$$\rho_v = \frac{A_c}{A_s} \quad (9)$$

Dabei ist

A_c die Fläche des Betonquerschnitts;

A_s die Fläche des Betonstahlquerschnitts;

- die vertikale Höhe der Öffnung ist nicht größer als der Durchmesser.

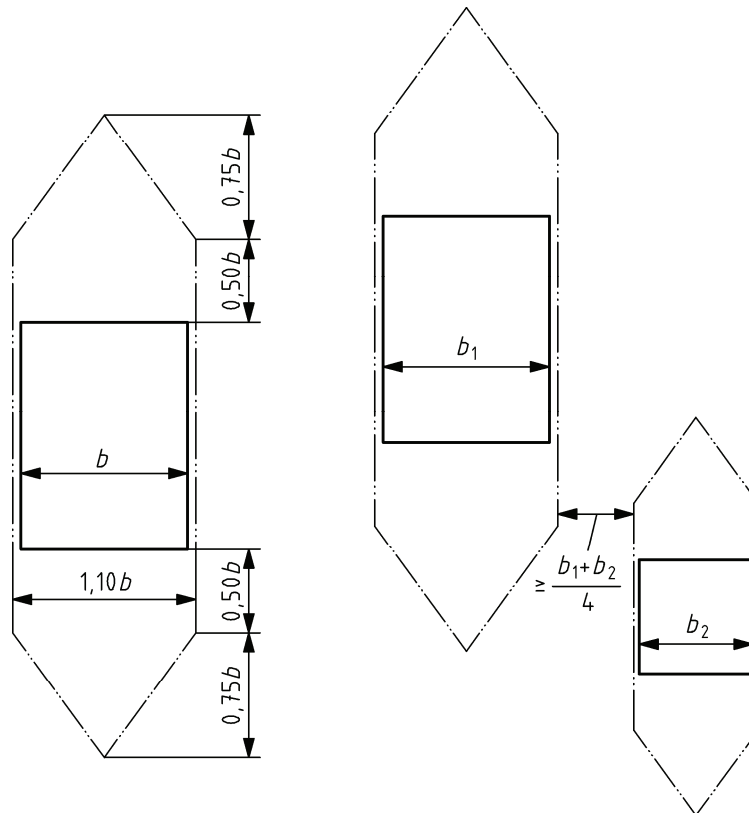


Bild 1 — Zusammenhang zwischen tatsächlich vorhandener Öffnung (ausgezogene Linie) und Ersatzöffnung (gestrichelte Linie)

6.3.2.3.3 Bemessung

Das Modell von Ersatzöffnungen liefert keine ausreichende Sicherheit hinsichtlich des Kräfteflusses um die Öffnung. Um derartige örtliche Störungen zu berücksichtigen, kann eine zusätzliche Bewehrung erforderlich werden.

Falls die vertikale Höhe der Öffnung größer ist als der Durchmesser, muss das Ausknicken der vertikalen Öffnungsränder überprüft werden.

Die gesamte Hauptzugkraft in horizontaler Richtung ober- und unterhalb einer Öffnung ergibt sich aus:

$$F_1 = 0,15 \cdot b \cdot t \cdot (\sigma_c + \rho_v \cdot \sigma_s) \quad (10)$$

Dabei ist

- b die lichte Weite der Öffnung;
- t die Wanddicke;
- σ_c die vertikale Betondruckspannung in der ungestörten Schale;
- σ_s die vertikale Stahldruckspannung in der ungestörten Schale;
- ρ_v der Grad der vertikalen Bewehrung.

Die Spannungen σ_c und σ_s sind die Bemessungswerte der Spannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Sämtliche Parameter sind auf die tatsächliche Höhe unmittelbar über oder unter der Öffnung zu beziehen.

6.3.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

6.3.3.1 Teilsicherheitsbeiwerte

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen, γ_F , und für die Baustoffe, γ_M , anzusetzen.

ANMERKUNG Die Werte γ_F und γ_M für den Grenzzustand der Gebrauchsfähigkeit, die in einem Land verwendet werden dürfen, dürfen in dem jeweiligen Nationalen Anhang gefunden werden. Der empfohlene Wert sowohl für γ_F als auch für γ_M ist 1,0.

6.3.3.2 Rissbildung

Die Beschränkung der Rissbreite braucht nur in der Umfangsrichtung bezüglich vertikaler Risse nachgewiesen werden.

Die Bewehrung muss unzulässige Risse verhindern.

Der Rechenwert der Rissbreite ist in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen zu begrenzen; siehe Tabelle 1.

Tabelle 1 — Maximaler Rechenwert der Rissbreite, $\max w_k$

Beanspruchungsklasse nach EN 206-1	$\max w_k$ mm
XA2, XA3, XD3, XS1	0,2
alle übrigen Klassen	0,3

Für die Außen- und die Innenfläche des Tragrohrs sind gegebenenfalls unterschiedliche Umweltbedingungen zugrunde zu legen.

Der maximale Rechenwert der Rissbreite bestimmt den erforderlichen Bewehrungsgrad und den Durchmesser der Bewehrungsstäbe.

Die Bemessung ist nach Anhang B durchzuführen.

6.3.3.3 Durchbiegung des Schornsteins

Die Beschränkung der Durchbiegung von Schornsteinen ist nur hinsichtlich der relativen Verschiebungen zwischen Tragrohr und Innenrohr zu betrachten. Das dynamische Verhalten infolge Windeinwirkung muss berücksichtigt werden (siehe EN 13084-4).

7 Bauliche Durchbildung

7.1 Ortbeton-Schornsteine

7.1.1 Vertikale Mindestbewehrung

Der Mindestquerschnitt der vertikalen Bewehrung beträgt 0,3 % der horizontalen Betonquerschnittsfläche.

Die Bewehrung muss in einer inneren und einer äußeren Lage angeordnet werden, wobei mindestens die Hälfte und nicht mehr als $\frac{2}{3}$ der gesamten Bewehrung in der äußeren Lage liegen muss.

7.1.2 Horizontale Mindestbewehrung

Das Tragrohr muss sowohl mit einer äußeren als auch mit einer inneren horizontalen Bewehrungslage versehen sein. In jeder Lage darf der Querschnitt der horizontalen Bewehrung nicht weniger als 0,15 % der vertikalen Betonquerschnittsfläche betragen. Die innere Lage darf nicht weniger als ein Drittel der gesamten horizontalen Bewehrung enthalten.

7.1.3 Mindestbewehrung im Bereich von Öffnungen

Falls die Berechnung keine höheren Werte ergibt, ist eine zusätzliche Bewehrung von jeweils mindestens 50 % der von der Öffnung verdrängten Bewehrung zu beiden Seiten der Öffnung und möglichst nahe an den Öffnungsändern anzuordnen.

Die horizontale Bewehrung ober- und unterhalb der Öffnung zur Aufnahme der Hauptzugkräfte nach Gleichung (10) muss zu je einem Drittel am Öffnungsrand, in der Lage der äußeren und inneren Bewehrung und möglichst nahe am Öffnungsrand angeordnet werden (siehe Bild 2). Die Verankerungslänge der Bewehrung auf jeder Seite der Öffnung muss mindestens 60 % der lichten Öffnungsweite betragen; sie darf jedoch nicht geringer sein als die in EN 1992-1-1 festgelegte Verankerungslänge.

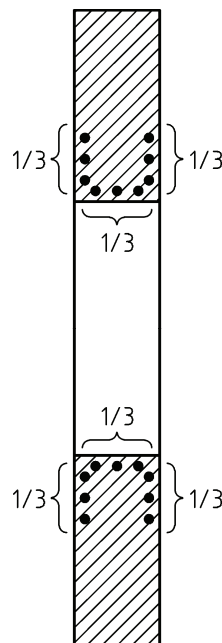


Bild 2 — Anordnung der horizontalen Bewehrung ober- und unterhalb der Öffnung

Außerdem müssen über eine Höhe von $\frac{3}{4}$ der lichten Öffnungsweite vertikale Bügel zur Aufnahme von schrägen Hauptzugspannungen und eine zusätzliche horizontale Bewehrung von derselben Größe wie die Hauptzugbewehrung mit Schwerpunkt im Abstand von $\frac{1}{3}$ der lichten Öffnungsweite vom Rand der Öffnung vorgesehen werden.

7.1.4 Stababstände

Der Abstand zwischen vertikalen Bewehrungsstäben darf 300 mm nicht überschreiten.

Der Abstand zwischen horizontalen Bewehrungsstäben darf 200 mm nicht überschreiten.

7.1.5 Mindestbetondeckung

Die Mindestbetondeckung, c_{\min} , muss 30 mm betragen, für die Umweltklasse XA3 nach EN 206-1 muss sie 40 mm betragen. Zur Ermittlung des Nennmaßes der Betondeckung, c_{nom} ist ein zusätzliches Vorhaltemaß von $\Delta c_{\text{dev}} = 10$ mm zur Mindestbetondeckung vorzusehen.

7.1.6 Mindestwanddicke

Die Wanddicke des Tragrohrs darf nicht geringer als 200 mm sein.

7.1.7 Übergreifungsstöße

Die in EN 1992-1-1 angegebenen Werte der Übergreifungslänge von Übergreifungsstößen sind um 200 mm zu vergrößern. In jedem Querschnitt darf der prozentuale Anteil der gestoßenen Stäbe 50 % nicht überschreiten, wobei die Übergreifungsstöße gleichmäßig über den Umfang des Tragrohrs verteilt sein müssen.

7.2 Fertigteil-Schornsteine

7.2.1 Mindestbewehrung für den Transport von Fertigteilen

Fertigteile mit einem Gewicht von mehr als 200 kg müssen eine horizontale Mindestbewehrung für den Transport besitzen. Sie muss aus horizontalen Bügeln mit einem Durchmesser von mindestens 8 mm in Abständen von höchstens 200 mm und einer vertikalen Querbewehrung aus Stäben von mindestens gleichem Durchmesser in Abständen von höchstens 500 mm bestehen. Anschlagmittel, z. B. Kranösen oder Ankerhülsen, müssen mit der Transportbewehrung kraftschlüssig verbunden sein.

Teile von Schornsteinen, die aus mehreren vorgefertigten Außenschalen nach EN 12446 bestehen und horizontal transportiert werden, müssen für Transportzwecke über ausreichende Bewehrung verfügen. Querbewehrung ist nicht erforderlich.

7.2.2 Horizontale Mindestbewehrung

Die innere Bewehrungslage darf entfallen, jedoch darf in diesem Fall der Bewehrungsquerschnitt der äußeren Lage nicht geringer als 0,3 % der vertikalen Betonquerschnittsfläche sein.

Fertigteil-Schornsteine, die aus Außenschalen nach EN 12446 errichtet werden, benötigen keine horizontale Bewehrung, wenn durch Prüfungen der Nachweis erbracht werden kann, dass der berechnete Bemessungswert der Schubbeanspruchung den tatsächlichen Bemessungswert der Schubbeanspruchbarkeit nicht überschreitet, wobei ein Sicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 2,0$ zugrunde gelegt wird. Zur Bestimmung der Grenzs Schubbeanspruchbarkeit müssen drei Prüfungen an nominell identischen Prüfkörpern vorgenommen werden, die eine effektive Spannweite von 3,0 m mit Grenzabmaßen von ± 5 cm und auf beiden Seiten freie Enden von 25 cm bis 33 cm Länge haben. In der Spannweitenmitte ist eine Einzellast aufzubringen. Der Mittelwert der ermittelten Schubspannung ist als charakteristischer Wert anzunehmen.

7.2.3 Mindestbetondeckung

Die Mindestbetondeckung, c_{\min} , muss 30 mm betragen, für die Umweltklasse XA3 nach EN 206-1 muss sie 40 mm betragen. Zur Ermittlung des Nennmaßes der Betondeckung, c_{nom} ist ein zusätzliches Vorhaltemaß von $\Delta c_{\text{dev}} = 5$ mm zur Mindestbetondeckung vorzusehen.

7.2.4 Mindestwanddicke

Die Wanddicke muss mindestens 100 mm, bei Außenschalen nach EN 12446 mindestens 50 mm betragen.

7.2.5 Durchgehende vertikale Stabbündel

7.2.5.1 Allgemeines

Die nach den statischen Berechnungen erforderliche durchgehende vertikale Bewehrung darf in Stabbündeln konzentriert angeordnet werden. Der Abstand zwischen den Bündeln darf 2,5 m oder den Schornsteindurchmesser nicht überschreiten.

Stahl für die durchgehende Bewehrung ohne Verbund muss nichtrostender Stahl sein oder er muss gegen Korrosion geschützt sein.

7.2.5.2 Mindestbewehrung

Der Querschnitt der durchgehenden vertikalen Bewehrung muss mindestens 0,075 % der horizontalen Betonquerschnittsfläche betragen und darf auf die gesamte vertikale Mindestbewehrung einschließlich der vertikalen Bewehrung der Betonfertigteile angerechnet werden.

Der Durchmesser der durchgehenden vertikalen Stäbe muss mindestens 10 mm betragen.

7.2.5.3 Übergreifungsstöße

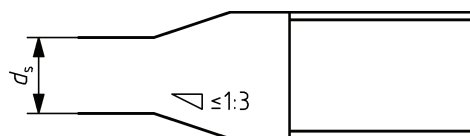
Bezüglich Übergreifungsstöße von durchgehender Bewehrung siehe EN 1992-1-1. Die in EN 1992-1-1 angegebenen Werte der Übergreifungslänge von Übergreifungsstößen sind um 300 mm zu vergrößern. Für Übergreifungsstöße sind nur gerade Stäbe zulässig. In jedem Querschnitt darf der prozentuale Anteil der gestoßenen Stäbe 50 % nicht überschreiten, wobei die Übergreifungsstöße gleichmäßig über den Umfang des Tragohrs verteilt sein müssen.

7.2.5.4 Verbindungen der durchgehenden vertikalen Bewehrung

Mechanische Verbindungsmittel (z. B. Muffen) müssen mindestens 120 % der rechnerischen Bruchlast des kleineren der miteinander verbundenen Bewehrungsstäbe übertragen können. Bezüglich der Betondeckung und des Stababstandes in den Vergusskanälen siehe EN 1992-1-1; Bezugswert ist der Durchmesser des größeren der miteinander verbundenen Bewehrungsstäbe.

Aufstauchungen der gestoßenen Bewehrungsstäbe zur Vergrößerung des Querschnitts sind zulässig mit einer Neigung in der Übergangszone von 1 : 3 oder weniger (siehe Bild 3). Die zusätzlich zur elastischen Dehnung auftretende Verformung (z. B. Schlupf in den Muffen) darf unter Gebrauchslast 0,1 mm nicht überschreiten. Bei gewalzten Gewinden darf der Kernquerschnitt voll angesetzt werden, bei geschnittenem Gewinde jedoch nur zu 80 %.

Verbindungen müssen unter dynamischen Belastungen auf Ermüdung geprüft worden sein.



Legende

d_s Durchmesser des unverformten Bewehrungsstabes

Bild 3 — Aufstauchung an der Stoßstelle von Bewehrungsstäben

7.2.6 Öffnungen

Größe und Lage der Öffnungen sind so zu wählen, dass mindestens $\frac{1}{4}$ der Fertigteilhöhe als geschlossener Ring- oder Polygonalquerschnitt erhalten bleibt (siehe Bild 4).

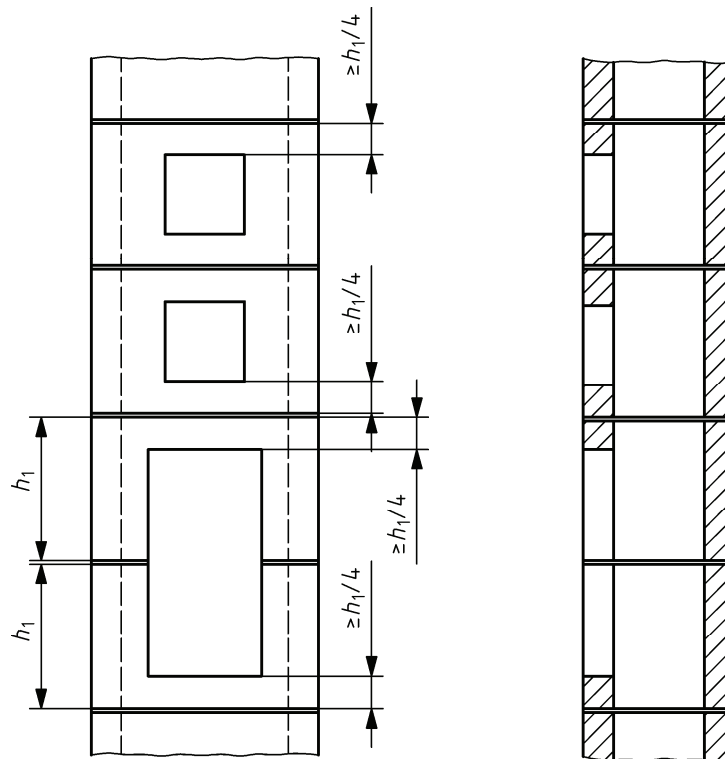


Bild 4 — Öffnungen in Betonfertigteilen

8 Ausführung

8.1 Allgemeines

Der Baufortschritt ist an die Entwicklung der Betonfestigkeit anzupassen (siehe EN 206-1:2000, 7.2).

8.2 Lagerfugen

Die Lagerfugen zwischen Fertigteilen müssen eine Dicke von mindestens 20 mm haben, damit sie voll mit Mörtel oder Beton ausgefüllt werden können. Lagerfugen dürfen dünner sein, wenn das obere Fertigteil auf einem frischen Mörtelbett abgesetzt wird und die genaue Lage des Fertigteiles durch geeignete Vorrichtungen (z. B. Neoprenplatten) sichergestellt ist.

8.3 Vergusskanäle

Die Lage der durchgehenden vertikalen Bewehrung muss durch Haltevorrichtungen vor dem Einfüllen des Betons in den Kanal sichergestellt sein. Der Beton muss abschnittsweise eingefüllt und vollständig verdichtet werden. Die einzelnen Füllhöhen dürfen 2,50 m nicht überschreiten. Der Füllbeton muss bis zur Mitte der Höhe des letzten versetzten Fertigteiles eingefüllt werden, damit ein kraftschlüssiger Anschluss sichergestellt ist.

Die Verbundwirkung zwischen Vergussbeton und dem Beton des Fertigteils muss durch Aufrauen der Innenseiten der Vergusskanäle oder besser durch deren Profilierung sichergestellt sein. Verlorene Schalungsrohre sind nicht zulässig, ausgenommen Hüllwellrohre aus Stahlblech.

9 Qualitätskontrolle

9.1 Ortbeton-Schornsteine

Je 300 m³ Betonvolumen und mindestens jeden dritten Tag müssen Prüfungen durchgeführt werden, wobei für jede Prüfung drei Prüfkörper erforderlich sind. Die Druckfestigkeit ergibt sich aus dem Mittelwert der drei Prüfkörper.

9.2 Fertigteil-Schornsteine

Je 15 m Schornsteinhöhe und mindestens jeden dritten Tag müssen Prüfungen durchgeführt werden, wobei für jede Prüfung drei Prüfkörper von Füllbeton und Fugenmörtel erforderlich sind. Die Druckfestigkeit ergibt sich aus dem Mittelwert der drei Prüfkörper.

Anhang A (normativ)

Berechnung von Spannungen infolge von Wärme- und anderen Einwirkungen

A.1 Momenten-Krümmungs-Beziehung

Spannungen, die sich aus aufgezwungenen Verformungen der horizontalen sowie der vertikalen Querschnitte infolge von Temperaturunterschieden zwischen Innen- und Außenfläche der Betonwand und anderen Einwirkungen ergeben, können mit der in Bild A.1 angegebenen Momenten-Krümmungs-Beziehung bestimmt werden. Diese Beziehung berücksichtigt die Beton-Zugspannung zwischen den Rissen (Mitwirkung des Betons auf Zug). Zur Ermittlung der effektiven Steifigkeit des Querschnittes dürfen mittlere Baustoffeigenschaften angenommen und das statische System als Stab mit konstanter Normalkraft und konstantem Biegemoment betrachtet werden.

Bild A.1 zeigt folgende drei Bereiche:

— Bereich a: $M_{\Delta T} + M_L < M_{cr}$

ANMERKUNG 1 Es treten keine Risse auf.

— Bereich b: $M_{\Delta T} + M_L = M_{cr}$

ANMERKUNG 2 In diesem Bereich, in dem sich einzelne Risse bilden, ist das Gesamtbiegemoment infolge anderer Einwirkungen, M_L , und der Temperaturdifferenz, $M_{\Delta T}$, gleich dem Biegemoment bei Rissbildung, M_{cr} . Der Grund für dieses Verhalten ist, dass mit jeder Erhöhung von ΔT , mit der der Höchstwert M_{cr} erhalten wird, ein neuer Einzelriss entsteht, der die Steifigkeit verringert. Die Stahlspannung wird durch den Verbund zwischen Beton und Stahl zwischen den Rissen verringert. Demzufolge werden im Beton Zugspannungen erzeugt, die möglicherweise weitere Risse hervorrufen.

— Bereich c: $M_{\Delta T} + M_L > M_{cr}$

ANMERKUNG 3 Am Anfang des Bereiches berühren sich die Störungszonen benachbarter Risse. Wird das Moment nun weiter vergrößert, erhöht sich auch die Stahlspannung, wobei jedoch die Reduzierung der Stahlspannung wegen der Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen konstant ist. Deshalb verläuft die Linie für den Bereich c parallel zur Linie des reinen Zustandes II.

Das Flächenmoment zweiten Grades im Zustand II, I^{II} , des Querschnittes unter Einwirkung der charakteristischen Werte eines Biegemoments, M , und einer Normalkraft, N , darf wie folgt berechnet werden:

$$I^{\text{II}} = I_0^{\text{II}} \left(1 + \frac{\Delta x}{e} \right) \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

I_0^{II} das Flächenmoment zweiten Grades im Zustand II infolge Einwirkung reiner Biegung;

Δx die Differenz zwischen der Lage der neutralen Achse des Querschnittes im Zustand I bzw. Zustand II unter Einwirkung reiner Biegung;

$e = \frac{M}{N}$ die Exzentrizität des charakteristischen Wertes der Normalkraft N .

Das Biegemoment bei Rissbildung, M_{cr} , kann wie folgt berechnet werden:

$$M_{\text{cr}} = W^{\text{I}} \cdot \left(f_{\text{ctm}} - \frac{N}{A^{\text{I}}} \right) \quad (\text{A.2})$$

Dabei ist

W^{I} das Widerstandsmoment im Zustand I;

A^{I} die Querschnittsfläche im Zustand I;

f_{ctm} der Mittelwert der Zugfestigkeit;

N der charakteristische Wert der Normalkraft.

$$k_{\text{cr}}^{\text{I}} = \frac{M_{\text{cr}}}{E_{\text{cm}} \cdot I^{\text{I}}} \quad (\text{A.3})$$

$$k_{\text{cr}}^{\text{II}} = \frac{M_{\text{cr}}}{E_{\text{cm}} \cdot I^{\text{II}}} \quad (\text{A.4})$$

$$\Delta k = 0,4 \left(k_{\text{cr}}^{\text{II}} - k_{\text{cr}}^{\text{I}} \right) \quad (\text{A.5})$$

$$k_{\text{cr}}^{\text{I}} = k_{\text{cr}}^{\text{II}} - \Delta k \quad (\text{A.6})$$

A.2 Durchführung der Berechnung

Der charakteristische Wert des Zwangs-Biegemoments, $M_{\Delta T}$, infolge der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenseite der Betonwand kann in folgenden Schritten berechnet werden:

1) Ermittlung der Beanspruchungen

Folgende Beanspruchungen müssen bestimmt werden:

N_L der charakteristische Wert der Normalkraft infolge Einwirkungen (Belastung);

M_L der charakteristische Wert des Biegemoments infolge Einwirkungen (Belastung);

$k_{\Delta T}$ die Krümmung infolge Temperaturdifferenz, ΔT , siehe Gleichung (A.7);

$$k_{\Delta T} = \frac{\alpha_T \cdot \Delta T}{t} \quad (\text{A.7})$$

Dabei ist

ΔT der charakteristische Wert der Temperaturdifferenz, ΔT ;

α_T die Wärmedehnzahl für Beton $\alpha_T = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$;

t die Wanddicke.

2) Überprüfung von Bereich a

Bereich a gilt, wenn folgende Anforderung erfüllt ist:

$$M_L + k_{\Delta T} \cdot E_{cm} \cdot I^1 \leq M_{cr}$$

In diesem Fall kann der charakteristische Wert des Biegemoments, $M_{\Delta T}$, nach Gleichung (A.8) berechnet werden:

$$M_{\Delta T} = \alpha_T \cdot \Delta T \cdot E_{cm} \cdot \frac{I^1}{t} \quad (\text{A.8})$$

3) Überprüfung von Bereich b

Bereich b gilt, wenn folgende Anforderungen erfüllt sind:

$$M_L + k_{\Delta T} \cdot E_{cm} \cdot I^1 > M_{cr} \text{ und}$$

$$\frac{M_L}{M_{cr}} \cdot k_{cr}^1 + k_{\Delta T} \leq k_{cr}^1$$

In diesem Fall ergibt sich der charakteristische Wert des Biegemoments, $M_{\Delta T}$, nach Gleichung (A.9):

$$M_{\Delta T} = M_{cr} - M_L \quad (\text{A.9})$$

4) Überprüfung von Bereich c

Bereich c gilt, wenn die Anforderungen von Bereich a und Bereich b nicht erfüllt sind.

Der charakteristische Wert des Biegemoments, $M_{\Delta T}$, und das wirksame Flächenmoment zweiten Grades, I_{eff} , können nach den Gleichungen (A.10) und (A.11) bestimmt werden:

$$M_{\Delta T} = \frac{\alpha_T \cdot \Delta T}{t} \cdot E_{\text{cm}} \cdot I_{\text{eff}} \quad (\text{A.10})$$

$$\frac{M_{\Delta T} + M_L}{E_{\text{cm}} \cdot I_{\text{eff}}} = \frac{M_{\Delta T} + M_L}{E_{\text{cm}} \cdot I^{\text{II}}} - \Delta k \quad (\text{A.11})$$

wobei I^{II} nach Gleichung (A.1) berechnet werden darf.

Anhang B (normativ)

Beschränkung der Rissbreiten

Nachzuweisen ist, dass unter der Einwirkung des Biegemomentes M und der Normalkraft N der maximale Rechenwert der Rissbreite nach Tabelle 1 im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nicht überschritten wird. Für die Beurteilung der Rissbreite müssen die Stahlspannungen σ_s und σ_{sr} im Zustand II (gerissener Querschnitt) bestimmt werden. Bei dieser Berechnung dürfen die mittlere Druckfestigkeit von Beton und ein lineares Stoffgesetz für Beton, beschrieben durch den mittleren Elastizitätsmodul E_{cm} , verwendet werden.

Der Rechenwert der Rissbreite, w_k , ist nach Gleichung (B.1) zu berechnen:

$$w_k = 3,5 \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}^{0,88} \cdot d_s}{f_{cm}^3} \right)^{0,89} \cdot \frac{\sigma_s - 0,4 \cdot \sigma_{sr}}{E_s} \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

σ_s die Spannung in der Zugbewehrung, in Newton durch Quadratmillimeter, berechnet auf der Grundlage eines gerissenen Querschnittes (Zustand II) unter tatsächlichen Belastungsbedingungen mit der Exzentrizität $e = \frac{M}{N}$;

σ_{sr} die Spannung in der Zugbewehrung, in Newton durch Quadratmillimeter, berechnet auf der Grundlage eines gerissenen Querschnittes (Zustand II) unter Belastungsbedingungen, bei denen die tatsächliche Exzentrizität e beibehalten wird und die Zugfestigkeit des Betons f_{ctm} nach Gleichung (1) im ungerissenen Querschnitt (Zustand I) erreicht wird;

$f_{cm} = f_{ck} + 8$, in Newton durch Quadratmillimeter, mittlere Druckfestigkeit von Beton;

f_{ck} die charakteristische Druckfestigkeit von Beton, in Newton durch Quadratmillimeter;

d_s der Durchmesser des Bewehrungsstabes, in Millimeter;

E_s der Elastizitätsmodul des Bewehrungsstahls, in Newton durch Quadratmillimeter.

Bei der Verwendung von Leichtbeton müssen die Bezeichnungen f_{cm} , f_{ctm} und f_{ck} ersetzt werden durch f_{lcm} , f_{lctm} und f_{lck} , ebenfalls in Gleichung (B.1) und in der Legende.