

## 6 Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

### 6.1 Spannungsbegrenzungen

Hohe Betondruckspannungen können Längsrisse im Beton verursachen; außerdem ist dann mit überproportionalen Kriechverformungen zu rechnen. Auf der Zugseite können nichtelastische Verformungen des Betonstahls zu großen und ständig offenen Rissen führen. Deshalb sind die Betondruckspannungen und die Stahlspannungen zu begrenzen [DIN 1045-1, 11.1].

Tabelle 6.1 Spannungsgrenzen

Einwirkungskombination	Betonspannung	Stahlspannung
selten  $G_k + Q_{k,l} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$	Expositionsklasse XD1 bis XD3 XF1 bis XF4 XS1 bis XS3  $\leq 0,6 f_{ck}$  Vermeidung Längsrisse	$\leq 0,8 f_{yk}$  $\leq f_{yk}$ bei Zwang  Vermeidung nichtelastischer Verformungen
quasi - ständig  $G_k + \sum_i \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$	$\leq 0,45 f_{ck}$  Vermeidung zu großer Kriechverformungen	

Die o.g. Spannungsnachweise dürfen für Stahlbetontragwerke des üblichen Hochbaus im Allgemeinen entfallen, wenn

- die Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie ermittelt und im Grenzzustand der Tragfähigkeit um nicht mehr als 15 % umgelagert wurden und
- die bauliche Durchbildung nach Abschnitt 9 durchgeführt wird und die Festlegungen für die Mindestbewehrung nach 6.2.2 eingehalten sind.

Damit sind im Stahlbetonbau die Spannungen praktisch nur für Bauteile nachzuweisen, die nicht dem üblichen Hochbau zuzuordnen sind oder deren Schnittgrößen spürbar von der linear-elastischen Rechnung abweichen.

## 6.2 Begrenzung der Rissbreite

### 6.2.1 Allgemeines

In Stahlbetonbauteilen sind Risse bei direkter Beanspruchung, z.B. Biegung infolge Lasten, oder indirekter Beanspruchung, z.B. Zug infolge Zwang, aufgrund der geringen Zugfestigkeit des Betons nahezu unvermeidbar. Entscheidend ist, die Rissbildung so zu begrenzen, dass die ordnungsgemäße Nutzung des Tragwerks, sein Erscheinungsbild und die Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigt werden.

Wenn keine besonderen Anforderungen gestellt werden, z.B. Wasserundurchlässigkeit, gilt für Stahlbetonbauteile [DIN 1045-1, Tab. 18 und 19]:

- quasi-ständige Einwirkungskombination
- Rissbreite  $\leq 0,3$  mm für Expositionsklasse XC2 bis XC4, XD1 bis XD3, XS1 bis XS3
- Rissbreite  $\leq 0,4$  mm für Expositionsklasse XC1

Bei den o.g. Rissbreiten handelt es sich um Rechenwerte in der Nähe der Bewehrung. Die Breite eines Risses ist bei biegebeanspruchten Bauteilen nicht über die gesamte Risstiefe konstant. Der Riss ist keilförmig, so dass er an der Oberfläche des Bauteils größer ist als in Höhe der Bewehrung.

Für die Expositionsklasse XC1 hat die Rissbreite keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit, so dass deren Begrenzung großzügiger gehandhabt werden kann.

Bei Platten in der Expositionsklasse XC1, die durch Biegung ohne wesentlichen zentralen Zug beansprucht werden, sind keine Nachweise zur Begrenzung der Rissbreite notwendig, wenn deren Gesamtdicke 200 mm nicht übersteigt und die Konstruktionsregeln nach Abschnitt 9 eingehalten sind [DIN 1045-1, 11.2.1(12)].

Zur Begrenzung der Rissbreite sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Anordnung einer Mindestbewehrung bei wesentlicher Zwangbeanspruchung
- Begrenzung des Durchmessers oder der Abstände der Bewehrungsstäbe

Die Berechnung der Rissbreite ist nur in Sonderfällen erforderlich, Angaben hierzu enthält DIN 1045-1, Abschnitt 11.2.4.

Für die Rissebeschränkung bei Lastbeanspruchung gibt es Konstruktionsregeln, die den maximalen Stabdurchmesser und die maximalen Stababstände in Abhängigkeit von der Stahlspannung angeben, s. Tabelle 6.2 und 6.3. Zur Berechnung der Mindestbewehrung dient Tabelle 6.2.

### 6.2.2 Mindestbewehrung

In Bauteilen, die durch Zwang beansprucht werden, soll die Mindestbewehrung die Rissbildung steuern und die Rissbreite auf  $w_k = 0,3$  mm bzw.  $w_k = 0,4$  mm begrenzen. Die Mindestbewehrung muss in der Lage sein, die Zugkraft aufzunehmen, die beim Aufreißen des Querschnitts – Primärrisse – frei wird. Dabei darf die Streckgrenze der Bewehrung nicht überschritten werden, um die weitere Rissbildung – Sekundärrisse – zu ermöglichen, d.h. die aufgezwungene Verformung auf mehrere Risse zu verteilen.

Bei der Berechnung ist die Ursache der Zwangbeanspruchung zu berücksichtigen:

- Zwang wird im Bauteil selbst hervorgerufen, z.B. Eigenspannungen infolge Abfließen der Hydratationswärme
- Zwang wird außerhalb des Bauteils hervorgerufen, z.B. Stützensenkung

Außerdem ist nach der Beanspruchungsart zu unterscheiden:

- Biegung:  
dreieckförmiger Verlauf der Zugspannungen in einem Teil des Querschnitts
- Zug:  
konstante Zugspannungen im ganzen Querschnitt

Die Mindestbewehrung kann nach folgender Gleichung ermittelt werden [DIN 1045-1, 11.2.2(5)]:

$$A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s \quad (6.1)$$

mit:  $A_s$  Querschnittsfläche der Zugbewehrung

$A_{ct}$  Querschnittsfläche der Betonzugzone, d.h. der Teil des Querschnitts, der rechnerisch vor der Erstrissbildung unter Zugspannungen steht

$\sigma_s$  zulässige Stahlspannung, abhängig vom Grenzdurchmesser  $d_s^*$ , s. Tabelle 6.2

$f_{ct,eff}$  wirksame Zugfestigkeit des Betons zum betrachteten Zeitpunkt  
Einzusetzen ist der Mittelwert der Zugfestigkeit  $f_{ctm}$  für die Festigkeitsklasse, die beim Auftreten der Risse zu erwarten ist. Bei Zwang aus dem Abfließen der Hydratationswärme darf  $f_{ct,eff} = 0,5 f_{ctm}$ , d.h. 50 % der Zugfestigkeit nach 28 Tagen, gesetzt werden.

$k_c$  berücksichtigt die Spannungsverteilung innerhalb der Zugzone  $A_{ct}$  vor der Erstrissbildung, sowie die Änderung des inneren Hebelarms beim Übergang in den Zustand II:

$$k_c = 1,0 \quad \text{reiner Zug (Zugspannung erreicht Zugfestigkeit)}$$

$$k_c = 0,4 \quad \text{reine Biegung}$$

Bei Kombination von Zug-/Druckkraft und Biegung errechnet sich  $k_c$  nach DIN 1045, Gl. (128)

$k$  berücksichtigt nichtlinear verteilte Eigenspannungen:

a) Zugspannungen infolge im Bauteil selbst hervorgerufenen Zwangs, z.B. Abfluss der Hydratationswärme

$$k = 0,8 \quad h \leq 300 \text{ mm}$$

$$k = 0,5 \quad h \geq 800 \text{ mm}$$

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Dabei ist für  $h$  der kleinere Wert von Höhe oder Breite des Querschnitts zu setzen.

b) Zugspannungen infolge außerhalb des Bauteils hervorgerufenen Zwangs, z.B. Stützensenkung

$$k = 1,0$$

Die Begrenzung der Rissbreite darf dabei durch eine Begrenzung des Stabdurchmessers nachgewiesen werden:

$$d_s = d_s^* \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot h_t}{4(h-d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \geq d_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{f_{ct,0}} \quad (6.2)$$

mit:  $d_s^*$  Grenzdurchmesser für die gewählte Spannung  $\sigma_s$  nach Tabelle 6.2

$h$  Bauteilhöhe

$d$	statische Nutzhöhe
$h_t$	Höhe der Zugzone im Querschnitt bzw. Teilquerschnitt vor Beginn der Erstrissbildung für zentrisch beanspruchte Bauteile ist $h_t = h/2$
$f_{ct,0}$	die Zugfestigkeit des Betons, auf die die Werte der Tabelle 6.2 bezogen sind: $f_{ct,0} = 3,0 \text{ N/mm}^2$

Der erste Teil der Gleichung 6.2 wird in der Regel erst bei dickeren Bauteilen maßgebend, s. Beispiel Abschnitt 6.2.4.

Wenn die Zwangsschnittgröße kleiner als die Risschnittgröße ist, d.h.  $\sigma_c < f_{ct,eff}$ , ist die Mindestbewehrung nur für die maßgebende Zwangsschnittgröße anzuordnen. Ein Beispiel dafür sind Sohlplatten, bei denen die Verkürzung infolge Abfluss der Hydratationswärme durch Bodenreibung behindert ist. Es ist möglich, dass die daraus resultierenden Normalkräfte kleiner sind als die Risschnittgröße, s. Beispiel [16].

Die Annahmen für Gleichung (6.2) zur Modifizierung des Grenzdurchmessers liegen auf der sicheren Seite. Es kann zweckmäßig sein, unabhängig von der in DIN 1045-1 angegebenen Tabelle für den Grenzdurchmesser  $d_s^*$  die Mindestbewehrung und die Begrenzung der Rissbreite direkt nachzuweisen.

Im Folgenden werden die Grundlagen und die maßgebenden Gleichungen zur Berechnung des Grenzdurchmessers und der Mindestbewehrung angegeben. Bei zentrischem Zwang muss die Bewehrung die Kraft  $F_s$  aufnehmen, die sich einstellt, wenn in der gesamten Betonzugzone  $A_{ct}$  die Zugfestigkeit  $f_{ct,eff}$  wirksam ist.

$$F_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} \quad (6.3)$$

Es ergeben sich Einzelrisse, die als Primärrisse bezeichnet werden. Bei dickeren Bauteilen entstehen weitere Risse – Sekundärrisse. Dabei beteiligt sich nur ein Teil des Betonquerschnitts – die wirksame Betonzugzone, Bild 6.1 – am Rissbildungsprozess. Die wirksame Betonzugzone reicht bis zum 2,5fachen Abstand der Bewehrung von der Bauteilaußenkante. Die Kraft für das Entstehen von Sekundärrissen beträgt

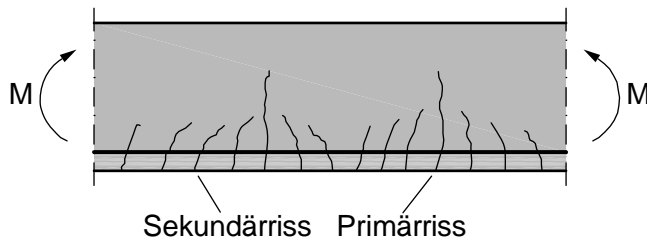
$$F_{cr} = A_{c,eff} \cdot f_{ct,eff} \quad (6.4)$$

mit:  $A_{c,eff} = 2,5 d_1 \cdot b$

$\leq h \cdot b / 2$  bei zentrischem Zwang

Bei abgeschlossenem Rissbild ist die anfangs von der Bewehrung aufzunehmende Kraft  $F_s$  größer als die Risskraft der effektiven Zugzone  $F_{cr}$ .

a)



b)

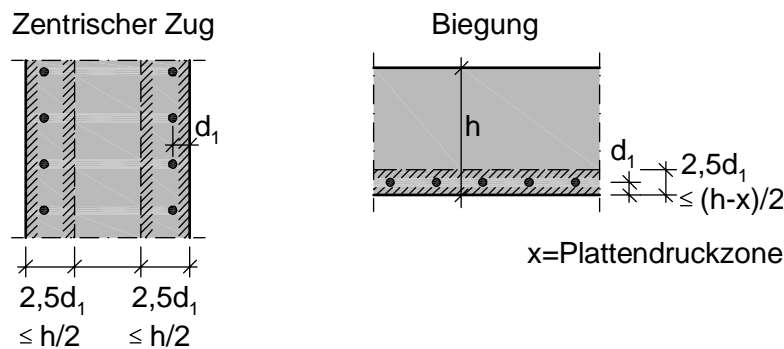


Bild 6.1 Rissbildung

a) Primär- und Sekundärrisse

b) Wirkungsbereich  $A_{c,eff}$  der Bewehrung

Für eine vorgegebene Rissbreite kann der Durchmesser mit den in [24] abgeleiteten Gleichungen wie folgt berechnet werden:

$$d_s = \frac{3,6 w_k \cdot E_s \cdot f_{ct,eff} \cdot A_s^2}{F_{cr} \cdot (F_s - 0,4 F_{cr})} = \frac{3,6 w_k \cdot E_s \cdot A_s^2}{A_{c,eff} (F_s - 0,4 F_{cr})} \quad (6.5)$$

Daraus ergibt sich die Mindestbewehrung je Seite für zentrischen Zwang:

$$A_s = \sqrt{\frac{d_s \cdot A_{c,eff}}{3,6 \cdot w_k \cdot E_s} (F_s - 0,4 F_{cr})} \quad (6.6)$$

Bei Lastbeanspruchung ist in Gleichung (6.5)

$$F_s = \frac{M_{Ek}}{z} \quad (6.7)$$

mit:  $M_{Ek} = M_{Gk} + \psi_2 M_{Qk}$

einzusetzen.