



Bewehren von Stahlbetontragwerken nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01

Arbeitsblatt 5
Ausgabe 2012-06

Nachweise der Gebrauchstauglichkeit

Gesamtherstellung und Herausgabe: Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.
Überarbeitung DIN EN 1992-1-1: Dr.-Ing. N. Brauer, Dipl.-Ing. J. Ehmke

1 Allgemeines (DIN EN 1992-1-1, 7)

Um ein nutzungsgerechtes und dauerhaftes Verhalten eines Bauwerks zu gewährleisten, sind im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit folgende Nachweise zu führen:

- Spannungsbegrenzung
- Begrenzung der Rissbreiten
- Begrenzung der Verformungen, z.B. Durchbiegung

2 Spannungsbegrenzung (DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 7.1)

Bei nicht vorgespannten Bauteilen können die Spannungsnachweise für Beton und Betonstahl entfallen, sofern:

- bei der Schnittgrößenermittlung im Grenzzustand der Tragfähigkeit eine Momentenumlagerung angesetzt wurde, die nicht größer als 15 % ist ($\delta \geq 0,85$)
- die bauliche Durchbildung - insbesondere die Mindestbewehrung - nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 9 erfolgt

2.1 Spannungsnachweise (DIN EN 1992-1-1, 7.2)

Nachweisbedingung	Zur Vermeidung von	Einwirkungskombination	Anmerkung
Betondruckspannung			
$ \sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck}$	Längsrissen und Mikrorissen bei randnaher Bewehrung	selten	Gilt für Umgebungsklassen XD, XF, XS und wenn keine anderen Maßnahmen getroffen werden ¹⁾
$ \sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}$	überproportionalen Kriechverformungen	quasi-ständig	Übersteigt $ \sigma_c $ den Grenzwert $0,45 \cdot f_{ck}$ so ist nicht-lineares zu berücksichtigen (nach EC 2-1-1, 3.1.4)
Betonstahlspannung			
$\sigma_s \leq 0,8 \cdot f_{yk}$	nicht-elastischen Verformungen	selten	Last- und Zwangeinwirkung
$\sigma_s \leq 1,0 \cdot f_{yk}$			Ausschließlich direkter Zwangeinwirkung
¹⁾ Andere Maßnahmen sind z. B. eine Erhöhung der Betondeckung in der Biegedruckzone oder eine Umschnürung der Druckzone durch Querbewehrung.			

3 Begrenzung der Rissbreite (DIN EN 1992-1-1, 7.3)

Die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und das Erscheinungsbild üblicher Stahlbetonbauteile gelten als erfüllt, wenn die Rechenwerte der Rissbreite w_k nicht überschritten werden.

Die Begrenzung der Rissbreite umfasst die Nachweise:

- Nachweis der Mindestbewehrung
- Nachweis der Begrenzung der Rissbreite unter der maßgebenden Einwirkungskombination

INSTITUT FÜR STAHLBETONBEWEHRUNG e.V.

3.1 Rechenwerte der Rissbreite w_k bei Stahlbetonbauteilen (NDP Zu 7.3.1 (5))

Expositionsklasse für Bewehrungskorrosion	Einwirkungskombination	Rechenwert der Rissbreite ¹⁾ w_k [mm]
X0, XC1	quasi-ständig	0,4 ²⁾
XC2, XC3, XC4 XD1, XD2, XD3 ³⁾ , XS1, XS2, XS3		0,3

1) Für Bauteile mit besonderen Anforderungen (z. B. Wasserbehälter) können kleinere Rechenwerte der Rissbreite erforderlich sein

2) Bei den Expositionsklassen X0 und XC 1 hat die Rissbreite keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit. Dieser Grenzwert wird daher nur zur Wahrung eines akzeptablen Erscheinungsbildes gesetzt. Bestehen an dem Erscheinungsbild dagegen keine besonderen Anforderungen kann der Grenzwert erhöht werden.

3) Zusätzliche besondere Maßnahmen für den Korrosionsschutz können im Einzelfall erforderlich sein

3.2 Mindestbewehrung A_s zur Aufnahme von Zwangeinwirkungen und Eigenspannungen und dazugehöriger Stabdurchmesser $d_{s,max}$ zur Begrenzung der Rissbreite

- Bemessung erfolgt für Schnittgrößenkombination, die Erstrissbildung verursacht
- Ist die nachgewiesene Zwangsschnittgröße kleiner als die Risschnittgröße, darf die Bemessung der Mindestbewehrung für die Zwangsschnittgröße erfolgen
- Bei profilierten Querschnitten ist A_s für jeden Teilquerschnitt (Gurte, Stege) nachzuweisen
- A_s ist in der Zugzone überwiegend am Querschnittsrand anzuordnen; zur Vermeidung von Sammelrissen ist ein angemessener Teil von A_s über die Zugzone zu verteilen
- Der Rissbreitennachweis erfolgt durch die Begrenzung des Stabdurchmessers auf σ_s

$$\min A_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

mit	σ_s zulässige Betonstahlspannung zur Begrenzung der Rissbildung, abhängig von Grenzdurchmesser der Stäbe bzw. dem Höchstwert der Stababstände	d statische Nutzhöhe
	A_{ct} Fläche der Betonzugzone im ungerissenen Querschnitt	k Beiwert zur Berücksichtigung nichtlinear verteilter Eigenspannungen bei Zugspannungen infolge innerem Zwang (z. B. Abfließen der Hydratationswärme; Zwischenwerte interpolieren): = 0,8 für Stege mit $h \leq 300$ mm, Gurte mit $b \leq 300$ mm = 0,5 für Stege mit $h \geq 800$ mm, Gurte mit $h \geq 800$ mm = 1,0 bei Zugspannungen infolge äußerem Zwang (z. B. Stützensenkung)
	k_c Beiwert zur Berücksichtigung der Spannungsverteilung und der Änderung des inneren Hebelarms z beim Übergang von Zustand I in Zustand II - rechteckige Querschnitte und Stege von Plattenbalken und Hohlkästen:	h_t Höhe der Zugzone im Zustand I
	$= 0,4 \cdot \left[1 + \frac{\sigma_c}{k_1 \cdot f_{ct,eff}} \right] \leq 1,0$	
	- Gurte von Plattenbalken und Hohlkästen: $= 0,9 \cdot \frac{F_{cr}}{A_{ct} \cdot f_{ct,eff}} \geq 0,5$	
	F_{cr} Zugkraft im Zuggurt von gegliederten Querschnitten im Zustand I unmittelbar vor der Rissbildung mit der Randspannung $f_{ct,eff}$	$f_{ct,eff}$ wirksame Betonzugfestigkeit zum Risszeitpunkt $= f_{ctm}$ der Betonfestigkeitsklasse bei Auftreten d. Risse $= f_{ctm} / 2$ der 28-Tage-Festigkeit, wenn Risse in den ersten 3 bis 5 Tagen auftreten $\geq 3 \text{ N/mm}^2$ wenn Erstrissbildung nach 28 Tagen auftritt
	σ_c Betonspannung in Höhe der Schwerlinie des Querschnitts im Zustand I ($\sigma_c < 0$ bei Druck)	
	$k_1 = 1,5 \cdot h/h'$ für Drucknormalkraft $= 2/3$ für Zugnormalkraft	
	h Höhe des Querschnitts	
	$h' = h$ für $h < 1$ m $= 1$ m für $h \geq 1$ m	

3.3 Nachweis der Rissbreitenbegrenzung ohne direkte Berechnung (DIN EN 1992-1-1, 7.3.3)

- Der Nachweis erfolgt bei der maßgebenden Stahlspannung über die Einhaltung maximaler Stabdurchmesser σ_s oder maximaler Stababstände
- Die maßgebenden Spannungen sind für den gerissenen Querschnitt und mit der maßgebenden Einwirkungskombination (siehe 3.1) zu ermitteln.
- Bei überwiegender Zwangbeanspruchung (indirekte Einwirkungen) erfolgt der Nachweis über die Grenzdurchmesser nach Tabelle 3.3, Spalten 2 bis 4 (DIN EN 1992-1-1/NA, Tabelle NA.7.2).
- Bei überwiegender Lastbeanspruchung (direkte Einwirkungen) erfolgt der Nachweis über die Grenzdurchmesser nach Tabelle 3.3, Spalten 2 bis 4 (NA.7.2) oder über die Höchstwerte der Stababstände nach Tabelle 3.3, Spalten 5 bis 7 (EC 2, Tabelle 7.3N).
- Der Grenzdurchmesser σ_s^* nach Tabelle 3.3, Spalten 2 bis 4 darf abhängig von der Bauteildicke und muss abhängig von der wirksamen Betonzugfestigkeit $f_{ct,eff}$ modifiziert werden.

Mindestbewehrung aus Biegung:

aus zentrischem Zwang:

aus Lastbeanspruchung:

$$\sigma_s = \sigma_s^* \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot h_{cr}}{4(h-d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \geq \sigma_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \quad \sigma_s = \sigma_s^* \cdot \frac{k_c \cdot k \cdot h_{cr}}{8(h-d)} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \geq \sigma_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \quad \sigma_s = \sigma_s^* \cdot \frac{\sigma_s \cdot A_s}{4(h-d) \cdot b \cdot 2,9} \geq \sigma_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9}$$

mit σ_s Stahlspannung im Zustand II

A_s Querschnittsfläche der Zugbewehrung

h Höhe des Querschnitts

σ_s^* Grenzdurchmesser nach Tabelle 3.3, Spalten 2, 3 und 4

d statische Nutzhöhe

Abgeleitet wurde Tabelle 3.3 mit einer Betonzugfestigkeit von 2,9 N/mm²

Tabelle 3.3: Begrenzung der Rissbreite ohne rechnerischen Nachweis

	1	2	3	4	5	6	7
1	Stahlspannung σ_s [N/mm ²]	Theoretischer Grenzdurchmesser ^{1), 2), 3)} σ_s^* ⁴⁾ [mm] für Rechenwert der Rissbreite			Höchstwert der Stababstände [mm] für Rechenwert der Rissbreite		
		$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
2	160	54	41	27	300	300	200
3	200	35	26	17	300	250	150
4	240	24	18	12	250	200	100
5	280	18	13	9	200	150	50
6	320	14	10	7	150	100	-
7	360	11	8	5	100	50	-
8	400	9	7	4	-	-	-
9	450	7	5	3	-	-	-
entspricht Tabelle NA.7.2 in DIN EN 1992-1-1/NA					entspricht Tabelle 7.3N in DIN EN 1992-1-1		

¹⁾ Bei unterschiedlichen Durchmessern im Querschnitt darf der Mittelwert $\sigma_{sm} = \frac{\sum \sigma_{s,i}^2}{\sum \sigma_{s,i}}$ angesetzt werden.

²⁾ Bei Stabbündeln ist anstelle des Einzelstabdurchmessers der Vergleichsdurchmesser $\sigma_n = \sigma \cdot \sqrt{n}$ anzusetzen.

³⁾ Bei Betonstahlmatten mit Doppelstäben darf der Durchmesser des Einzelstabes angesetzt werden.

⁴⁾ Die Beziehung für die Grenzdurchmesser ist: $\sigma_s^* = 3,48 \cdot 10^6 \cdot w_k / \sigma_s^2$

3.4 Ermittlung des Rechenwerts der Rissbreite w_k (DIN EN 1992-1-1, 7.3.4)

$$w_k = (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \cdot s_{r,max}$$

mit $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \left[\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right] \cdot \frac{1}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$

$$s_{r,max} = \frac{\sigma}{3,6 \cdot \rho_{p,eff}} \leq \frac{\sigma_s \cdot \theta}{3,6 \cdot f_{ct,eff}} ; \text{ bei Schrägrissen mit } \theta > 15^\circ : s_{r,max} = 1 / \left[\frac{\cos \theta}{s_{r,max,x}} + \frac{\sin \theta}{s_{r,max,y}} \right]$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ Differenz der mittleren Dehnungen von Betonstahl ε_{sm} und Beton ε_{cm}

α_e Verhältnis E_s / E_{cm}

A_s Querschnittsfläche der Zugbewehrung

$s_{r,max}$ maximaler Rissabstand bei abgeschlossenem Rissbild

$A_{c,eff}$ Wirkungsbereich der Zugbewehrung (DIN EN 1992-1-1, Bild 7.1)

ε_s Betonstahldehnung im Zustand II

$f_{ct,eff}$ wirksame Betonzugfestigkeit, siehe Abschnitt 3.2 (ohne Ansatz einer Mindestbetonfestigkeit)

σ_s Betonstahlspannung im Zustand II

θ bei orthogonal bewehrten Bauteilen:

E_s Elastizitätsmodul des Betonstahls

Winkel zwischen Bewehrung in x-Richtung

E_{cm} mittlerer Elastizitätsmodul des Betons

und Richtung der Hauptzugspannungen

σ Durchmesser des Betonstahls

maximale Rissabstände in x- und y-Richtung nach obiger Gleichung

$\rho_{p,eff}$ effektiver Bewehrungsgrad
= $A_s / A_{c,eff}$ für Betonstahl

$s_{r,max,x}, s_{r,max,y}$

k_t Faktor Lastdauer, 0,6 bei kurzzeitiger Belastung bzw. 0,4 bei langfristiger Belastung

4	Begrenzung der Verformung in vertikaler Richtung (Durchbiegung) (DIN EN 1992-1-1, 7.4)
Durchhang:	Vertikale Bauteilverformung bezogen auf die Verbindungslinie der Unterstützungspunkte
Durchbiegung:	Vertikale Verformung bezogen auf die Systemlinie des Bauteils, d.h. bei Schalungsüberhöhung bezogen auf die überhöhte Lage

4.1	Erlaubte Verformung in vertikaler Richtung
Unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination gilt:	mit l_F = Stützweite des Feldes
Durchhang	$\leq l_F / 250$ (Kragträger: $\leq l_k / 100$ und $l_F / 250$)
Schalungsüberhöhung	$\leq l_F / 250$ (max. Durchbiegung $l_F / 125$)
Durchbiegung nach Einbau angrenzender Bauteile	$\leq l_F / 500$

4.2	Vereinfachter Nachweis mit Begrenzung der Biegeschlankheit l / d
Bei Decken des üblichen Hochbaus ist nachzuweisen:	
$\frac{l}{d} \leq \alpha_l K \cdot \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{1,5} \right] \text{ wenn } \rho \leq \rho_0 ; \quad \frac{l}{d} \leq \alpha_l K \cdot \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho'}{\rho_0} \right] \text{ wenn } \rho > \rho_0$	
mit	$\frac{l}{d}$ Biegeschlankheit l Stützweite des statischen Systems K Beiwert zur Berücksichtigung des statischen Systems bei Ermittlung der Ersatzstützweite; für häufig vorkommende Anwendungsfälle können Zahlenwerte der Tabelle 4.2.1 entnommen werden d statische Nutzhöhe α_l Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der erhöhten Anforderungen an die Begrenzung der Durchbiegung (z.B. zur Vermeidung von Rissen in Trennwänden: Balken und Platten mit $l_{eff} > 7,0$ m: $\alpha_l = 7,0 / l_{eff}$ Flachdecken mit $l_{eff} > 8,5$ m: $\alpha_l = 8,5 / l_{eff}$ ohne besondere Anforderungen: $\alpha_l = 1,0$ ρ_0 Referenzbewehrungsgrad = $10^{-3} \sqrt{f_{ck}}$ mit f_{ck} in $[N/mm^2]$ ρ erforderlicher Zugbewehrungsgrad infolge maximalen Bemessungsmoment ρ' erforderlicher Druckbewehrungsgrad infolge maximalen Bemessungsmoment
1) l und d sind in $[m]$ einzusetzen	
Zusätzliche Forderung nach DIN EN 1992-1-1/NA, NCI Zu 7.4.2 (2):	
Normale Anforderungen an die Begrenzung der Durchbiegung	$\frac{l}{d} \leq K \cdot 35$
Höhere Anforderungen an die Begrenzung der Durchbiegung (z.B. zur Vermeidung von Rissen in Trennwänden)	$\frac{l}{d} \leq K^2 \cdot \frac{150^{(1)}}{l}$

4.2.1	Grundwerte zur Bestimmung der zulässigen Biegeschlankheit nach EC 2-1-1, Tabelle 7.4N																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Statisches System</th> <th>$K = l / l_{eff}$</th> <th>Beton hoch beansprucht $\rho = 1,5\%$</th> <th>Beton gering beansprucht $\rho = 0,5\%$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td> </td> <td>1,0</td> <td>14</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2a</td> <td> </td> <td>1,3</td> <td>18</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>2b</td> <td> </td> <td>1,1¹⁾</td> <td>15¹⁾</td> <td>22¹⁾</td> </tr> <tr> <td>3a</td> <td> </td> <td>1,5</td> <td>20</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>3b</td> <td> </td> <td>1,2</td> <td>17</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td> </td> <td>0,4</td> <td>6</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>		Statisches System	$K = l / l_{eff}$	Beton hoch beansprucht $\rho = 1,5\%$	Beton gering beansprucht $\rho = 0,5\%$	1		1,0	14	20	2a		1,3	18	26	2b		1,1 ¹⁾	15 ¹⁾	22 ¹⁾	3a		1,5	20	30	3b		1,2	17	24	4		0,4	6	8
	Statisches System	$K = l / l_{eff}$	Beton hoch beansprucht $\rho = 1,5\%$	Beton gering beansprucht $\rho = 0,5\%$																																
1		1,0	14	20																																
2a		1,3	18	26																																
2b		1,1 ¹⁾	15 ¹⁾	22 ¹⁾																																
3a		1,5	20	30																																
3b		1,2	17	24																																
4		0,4	6	8																																
1) Empfehlung, Angabe Endfeld für punktgestützte Platten ist nicht Bestandteil der Tabelle 7.4N in DIN EN 1992-1-1																																				