Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240

Überarbeitung Heft 220 (neu: Heft 630)

Begrenzung der Rissbreiten

Univ.-Prof.-Dr.-Ing. **Martin Empelmann**
iBMB, Fachgebiet Massivbau der TU Braunschweig

5. Jahrestagung des DAfStb | TU Kaiserslautern | Mittwoch 20.09.2017

Vortragsgliederung

- **Grundlagen der Rissbildung**
- **Nachweis der Rissbreite**
  - Berechnung der Rissbreite
  - Einflussgrößen
  - Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung
- **Sonderfragen**
  - Verbundbedingungen
  - Langzeitbeanspruchung
  - etc.
- **Zusammenfassung**

Foto: iBMB, FG Massivbau

Grundlagen der Rissbildung

- Rissbildung
  - Überschreitung der effektiven Betonzugfestigkeit
  - geometrische und mechanische Einflussgrößen
  - betontechnologische Randbedingungen
  - äußere Last- und Zwangeinwirkungen
  - sonstige Effekte (z. B. Bewehrungskorrosion, …)

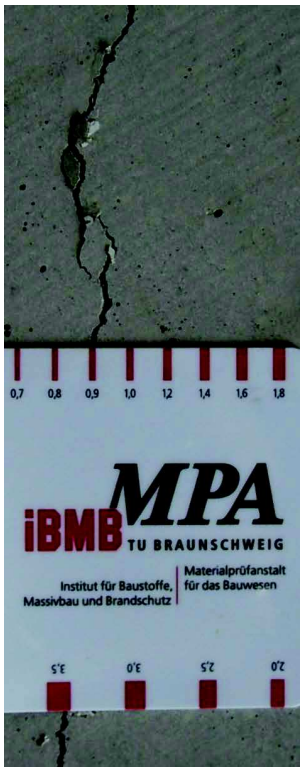


Foto: iBMB, FG Massivbau

Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

Nachweis der Rissbreite

- Nachweis nach DIN EN 1992-1-1/NA
  - keine Beeinträchtigung der Nutzung und der Dauerhaftigkeit
  - Grenzwerte in Tabelle NA 7.1

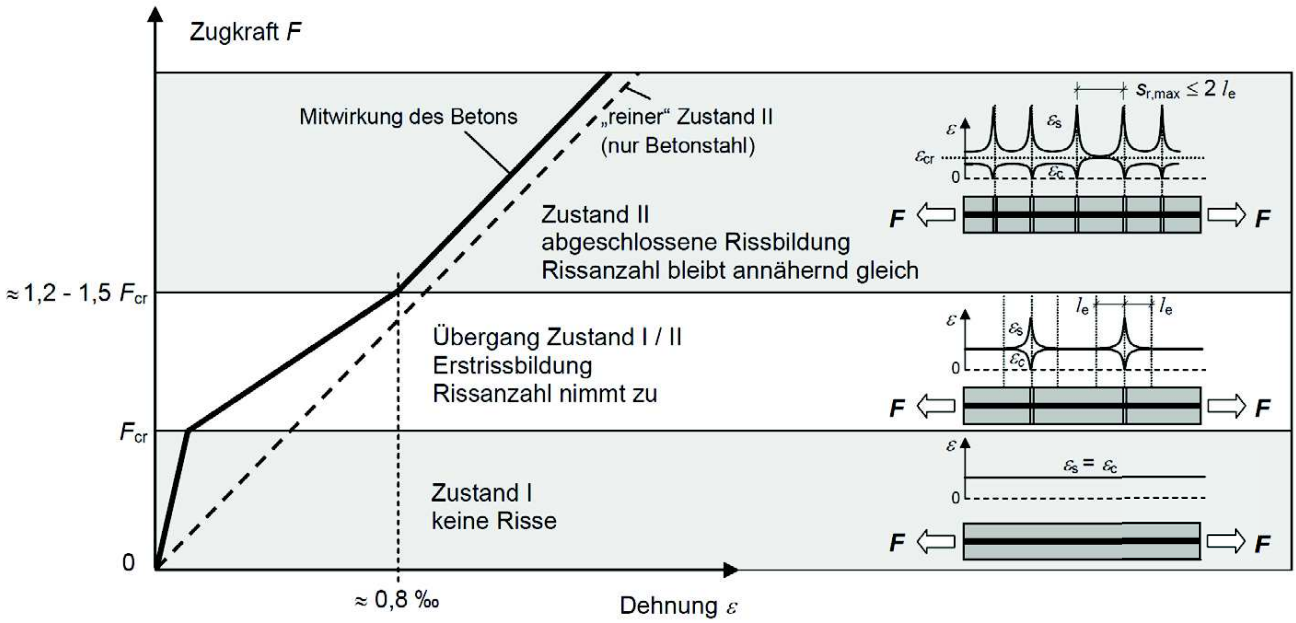
DIN EN 1992-1-1/NA - Tabelle NA 7.1:
Rechenwerte für w_{max} [mm]

Expositionsklasse	Stahlbeton und Vorspannung ohne Verbund	Vorspannung mit nachträglichem Verbund	Vorspannung mit sofortigem Verbund	
	mit Einwirkungskombination			
	quasi-ständig	häufig	häufig	selten
X0, XC1	0,4 [a]	0,2	0,2	—
XC2 – XC4	0,3	0,2 [b, c]	0,2 [b]	
XS1 – XS3 XD1, XD2, XD3 [d]			Dekompression	0,2

- Nachweisformate
  - Berechnung der Rissbreite
  - Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung
  - Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite

Berechnung der Rissbreite

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



Quelle: DBV-Merkblatt „Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau"

Neufassung der DAfStb Hefte 220/240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

Berechnung der Rissbreite

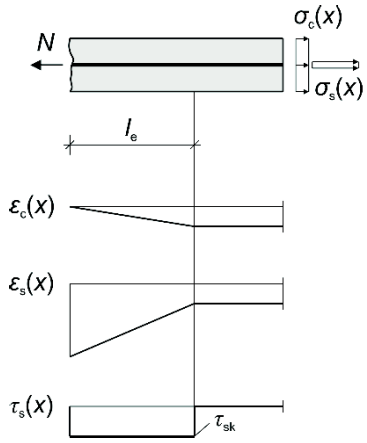
- Berechnung der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1/NA

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

$$s_{r,max} = \boxed{\frac{\sigma_{sr} \cdot \phi_s}{3{,}6 \cdot f_{ct,eff}}} \geq \frac{\phi_s}{3{,}6 \cdot \rho_{p,eff}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \boxed{0{,}6 \cdot \frac{\sigma_{sr}}{E_s}} \leq \frac{(\sigma_s - k_t \cdot \sigma_{sr})}{E_s}$$

Erstrissbildung



Berechnung der Rissbreite

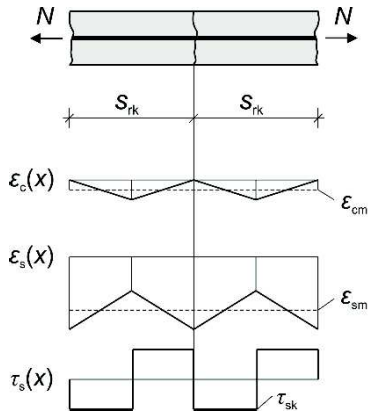
- Berechnung der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1/NA

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

$$s_{r,max} = \frac{\sigma_{sr} \cdot \phi_s}{3{,}6 \cdot f_{ct,eff}} \geq \frac{\phi_s}{3{,}6 \cdot \rho_{p,eff}}$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0{,}6 \cdot \frac{\sigma_{sr}}{E_s} \leq \frac{(\sigma_s - k_t \cdot \sigma_{sr})}{E_s}$$

Erstrissbildung — abgeschlossenes Rissbild



Neufassung der DAfStb Hefte 220/240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

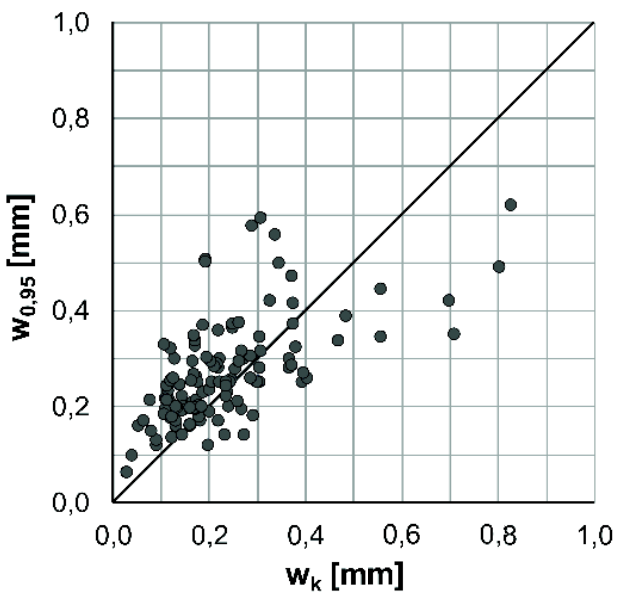
Berechnung der Rissbreite

- Vergleich von Rechenwerten mit Versuchsergebnissen

  w_k — Rechenwert der Rissbreite nach DIN EN 1992-1-1/NA

  $w_{0,95}$ — 95%-Quantil im Versuch gemessener Rissbreiten

- Überschreitungen der Rissbreite im Bauwerk (geringfügig) möglich



Quelle: DBV-Heft 38

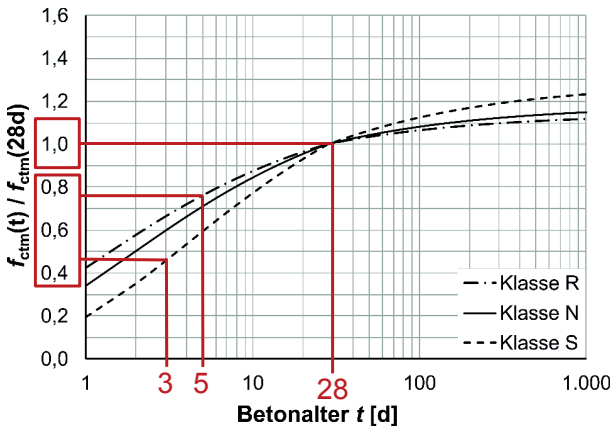
Einflussgrößen

- Stahlspannung bei Erstrissbildung σ_{sr}
- wirksame Zugfestigkeit des Betons $f_{ct,eff}$
- Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{c,eff}$
- unterschiedliche Stabdurchmesser und Stabbündel
- Spannungsermittlung (GZG)

Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

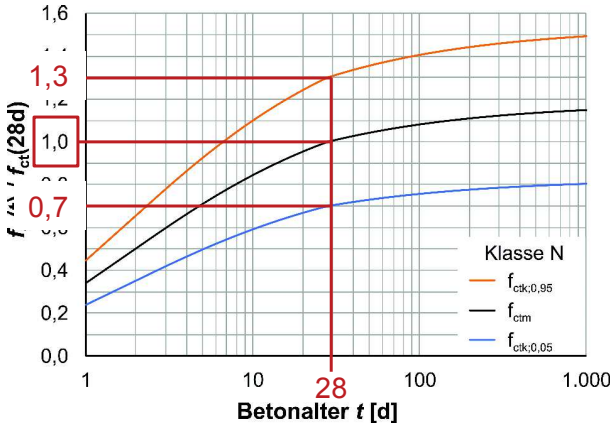
Einflussgrößen

- wirksame Zugfestigkeit des Betons $f_{ct,eff}$
  - zeitabhängige Entwicklung
  - Nachweis mit charakteristischen Werten
  - weitere Einflussfaktoren



Einflussgrößen

- wirksame Zugfestigkeit des Betons $f_{ct,eff}$
  - zeitabhängige Entwicklung
  - Nachweis mit charakteristischen Werten
  - weitere Einflussfaktoren



Neufassung der DAfStb Hefte 220/240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

Einflussgrößen

- Wirkungsbereich der Bewehrung $A_{c,eff}$

$$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,ef}$$

$$h_{c,ef} = \min \begin{cases} h/2 \\ (h - x^{I})/3 \\ \boxed{2{,}5 \cdot d_1} \end{cases}$$

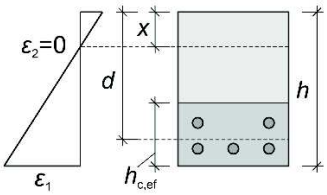
für „dünne“ Bauteile

mit:

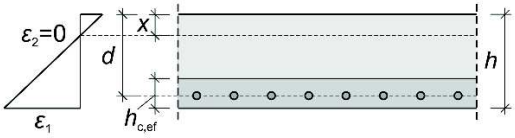
x^{I} Druckzonenhöhe im Zustand I

d_1 $= h - d$

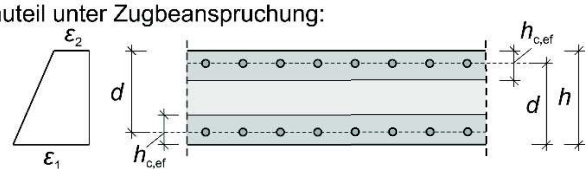
Träger:



Platte/Decke:



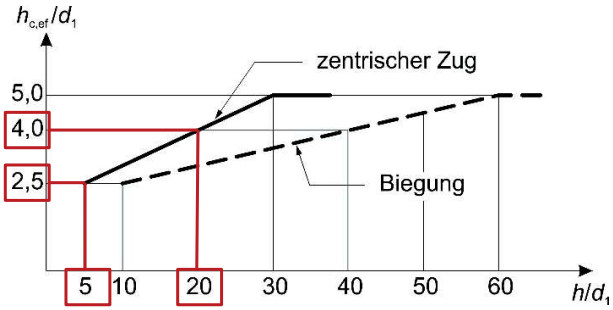
Bauteil unter Zugbeanspruchung:



Einflussgrößen

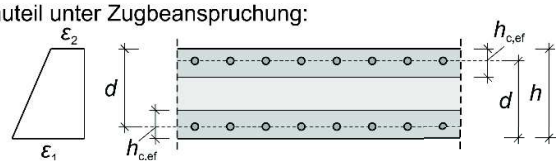
- „Dicke Bauteile“

$$h_{c,ef} = \min \begin{cases} h/2 \\ (h - x^{I})/3 \\ \boxed{(h_{c,ef}/d_1)} \cdot d_1 \end{cases}$$



h	d_1	h/d_1	$h_{c,ef}/d_1$
25	5	5	2,5
100	5	20	4,0

Bauteil unter Zugbeanspruchung:

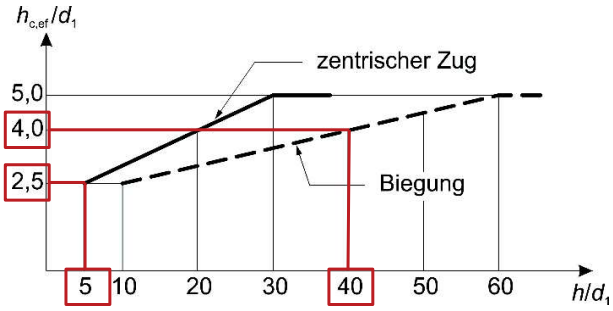


Neufassung der DAfStb Hefte 220/240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

Einflussgrößen

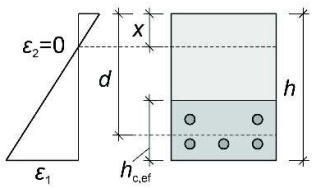
- „Dicke Bauteile“

$$h_{c,ef} = \min \begin{cases} h/2 \\ (h - x^{I})/3 \\ (h_{c,ef}/d_1) \cdot d_1 \end{cases}$$



h	d_1	h/d_1	$h_{c,ef}/d_1$
50	5	10	2,5
200	5	40	4,0

Träger:



Nachweis der Rissbreite

- Nachweis nach DIN EN 1992-1-1/NA
  - keine Beeinträchtigung der Nutzung und der Dauerhaftigkeit
  - Grenzwerte in Tabelle 7.1DE

DIN EN 1992-1-1/NA - Tabelle NA 7.1:
Rechenwerte für w_{max} [mm]

Expositions-klasse	Stahlbeton und Vorspannung ohne Verbund	Vorspannung mit nachträglichem Verbund	Vorspannung mit sofortigem Verbund	
	mit Einwirkungskombination			
	quasi-ständig	häufig	häufig	selten
X0, XC1	0,4 [a]	0,2	0,2	—
XC2 – XC4	0,3	0,2 [b, c]	0,2 [b]	
XS1 – XS3 XD1, XD2, XD3 [d]			Dekom-pression	0,2

- Nachweisformate
  - Berechnung der Rissbreite
  - Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung
  - Mindestbewehrung für die Begrenzung der Rissbreite

Neufassung der DAfStb Hefte 220/240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

- Ermittlung des Grenzdurchmessers ϕ_s^*
- Nachweis: $\phi_{s,vorh} \leq \phi_s$
- Erstrissbildung („sichere“ Seite)

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \phi_s}{3{,}6 \cdot f_{ct,eff}} \cdot 0{,}6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\phi_s = \frac{1{,}2 \cdot 10^6 \cdot f_{ct,eff} \cdot w_k}{\sigma_s^2}$$

C30/37: $f_{ct,eff} = 2{,}9\ \mathrm{N/mm^2}$

$$\phi_s^* = \frac{3{,}48 \cdot 10^6 \cdot w_k}{\sigma_s^2}$$

DIN EN 1992-1-1/NA - Tabelle NA 7.2:
Grenzdurchmesser bei Betonstählen

	Grenzdurchmesser bei Betonstählen ϕ_s^* [a] mm		
σ_s [b] N/mm²	w_k 0,4 mm	0,3 mm	0,2 mm
160	54	41	27
200	35	26	17
240	24	18	12
280	18	13	9
320	14	10	7
360	11	8	5
400	9	7	4
450	7	5	3

Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

- Tabellen für weitere Festigkeitsklassen

$$\phi_s^* = \frac{3{,}48 \cdot 10^6 \cdot w_k}{\sigma_s^2}$$

- Umrechnungsfaktor

$$\phi_s = \phi_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2{,}9}$$

Grenzdurchmesser für Erstrissbildung und $f_{ct,eff}$ = 2,2 N/mm² (C20/25)

w [mm]	Stahlspannung σ_s [N/mm²]						
	160	200	240	280	320	360	400
0,2	20,6	13,2	9,2	6,7	5,2	4,1	3,3
0,3	30,9	19,8	13,8	10,1	7,7	6,1	5,0
0,4	41,3	26,4	18,3	13,5	10,3	8,1	6,6

Grenzdurchmesser für Erstrissbildung und $f_{ct,eff}$ = 4,1 N/mm² (C50/60)

w [mm]	Stahlspannung σ_s [N/mm²]						
	160	200	240	280	320	360	400
0,2	38,4	24,6	17,1	12,6	9,6	7,6	6,2
0,3	57,7	36,9	25,6	18,8	14,4	11,4	9,2
0,4	76,9	49,2	34,2	25,1	19,2	15,2	12,3

Neufassung der DAfStb Hefte 220/240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

- abgeschlossenes Rissbild

$$w_k = \frac{\phi_s}{3{,}6 \cdot \rho_{p,eff}} \cdot \frac{(\sigma_s - k_t \cdot \sigma_{sr})}{E_s}$$

$$\phi_s = \frac{w_k \cdot 3{,}6 \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}{\sigma_s - k_t \cdot \sigma_{sr}}$$

mit: $k_t = 0{,}4$

$$\sigma_{sr} \approx \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}$$

$$\phi_s^* = \frac{w_k \cdot 3{,}6 \cdot \rho_{p,eff} \cdot E_s}{\sigma_s - 0{,}4 \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}}$$

Grenzdurchmesser für abgeschlossenes Rissbild und $\rho_{p,eff}$ = 1,0 %, $f_{ct,eff}$ = 2,9 N/mm² (C30/37)

w [mm]	Stahlspannung σ_s [N/mm²]						
	160	200	240	280	320	360	400
0,2	32,7	17,1	11,6	8,8	7,1	5,9	5,1
0,3	49,1	25,7	17,4	13,2	10,6	8,9	7,6
0,4	65,5	34,3	23,2	17,6	14,1	11,8	10,1

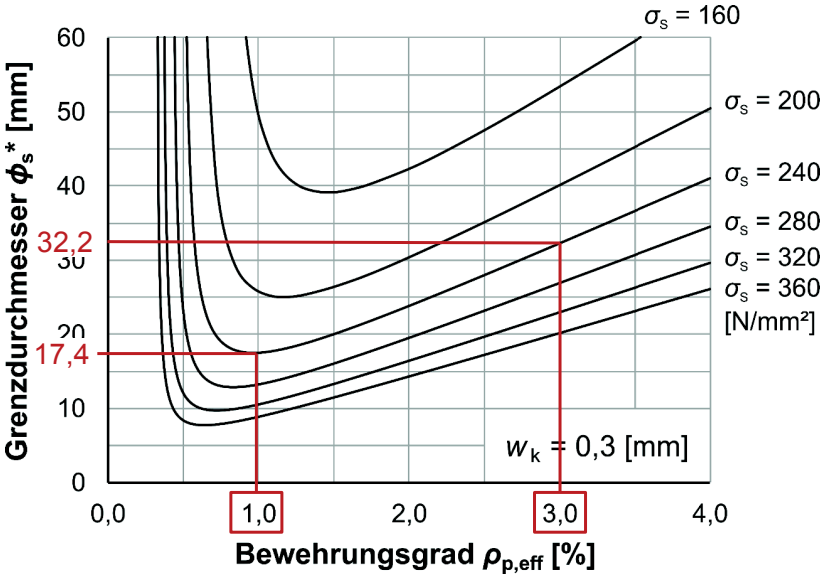
Grenzdurchmesser für abgeschlossenes Rissbild und $\rho_{p,eff}$ = 3,0 %, $f_{ct,eff}$ = 2,9 N/mm² (C30/37)

w [mm]	Stahlspannung σ_s [N/mm²]						
	160	200	240	280	320	360	400
0,2	35,6	26,8	21,5	17,9	15,4	13,4	12,0
0,3	53,4	40,2	32,2	26,9	23,0	20,2	17,9
0,4	71,2	53,6	42,9	35,8	30,7	26,9	23,9

Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

- Einsatz von Nomogrammen

Grenzdurchmesser für w_k = 0,3 mm und $f_{ct,eff}$ = 2,9 N/mm² (C30/37)

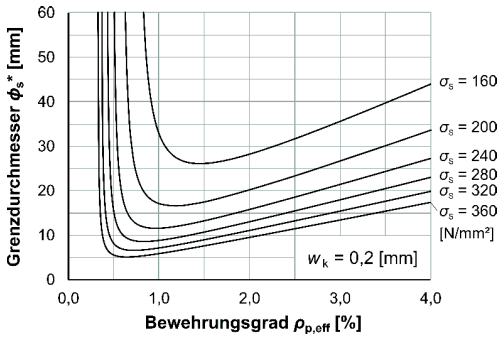


Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

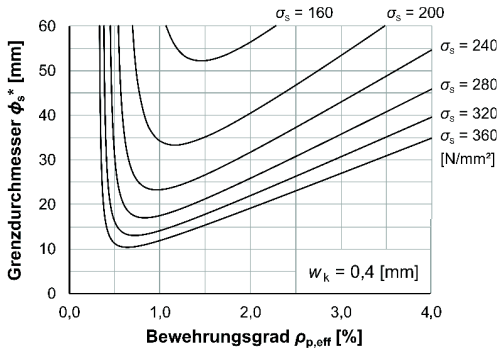
Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung

- Einsatz von Nomogrammen
  - Minimum entspricht ungefähr dem Erstrisszustand ($\sigma_s \approx \sigma_{sr}$)
  - Anstieg links des Minimums durch Mindestbewehrung abgedeckt

Grenzdurchmesser für w_k = 0,2 mm und $f_{ct,eff}$ = 2,9 N/mm² (C30/37)



Grenzdurchmesser für w_k = 0,4 mm und $f_{ct,eff}$ = 2,9 N/mm² (C30/37)



Sonderfragen

- Bewehrung
  - Verbundverhalten, unterschiedliche Stabdurchmesser, Spannlitzen, schiefwinklig, …
- Hochleistungsbetone
  - Faserbeton, HPC, UHPC, …
- Einfluss der Betondeckung
  - große Betondeckung, biegebeanspruchte Bauteile, …
- Langzeitverhalten
  - Materialverhalten, Dauerlast, Überlasten, …
- …

Fotos: iBMB, FG Massivbau

Neufassung der DAfStb Hefte 220/240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

Sonderfragen

- Verbundbedingungen
  - Bauen im Bestand
  - Spannstahl

$$w_k = \frac{\phi_s \cdot f_{ct,eff}}{2 \cdot \tau_{sk} \cdot \rho_{p,eff}} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

mit: $\tau_{sk} = k_b \cdot f_{ct,eff}$

Foto: Daniel Busse

Völligkeitsbeiwert k_b in Abhängigkeit der vorliegenden Verbundbedingungen

k_b		
Bewehrung	**„gute“ Verbundbedingungen**	**„mäßige“ Verbundbedingungen**
gerippt	1,8	$1{,}8/1{,}6 \approx 1{,}1$
profiliert	1,2	$1{,}2/1{,}6 \approx 0{,}75$
glatt	0,9	$0{,}9/1{,}6 \approx 0{,}56$

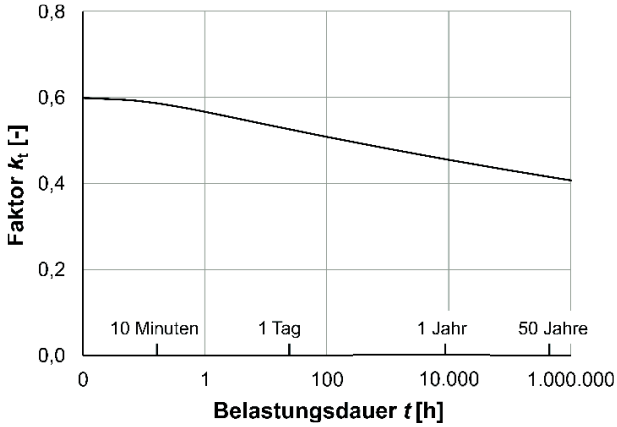
Sonderfragen

- Langzeitbeanspruchung
  - Verbundkriechen
  - Reduktion des Völligkeitsbeiwertes $k_t(t)$

$$w_k = \frac{\phi_s}{2 \cdot k_b \cdot \rho_{p,eff}} \cdot \frac{(\sigma_s - k_t(t) \cdot \sigma_{sr})}{E_s}$$

mit: $k_t = 0{,}6$ kurzfristige Lasteinwirkung
$k_t = 0{,}4$ langfristige Lasteinwirkung

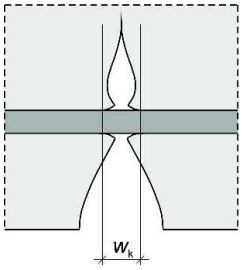
Faktor k_t in Abhängigkeit der Belastungsdauer



Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

Sonderfragen

- Einfluss einer großen Betondeckung
  - Rechnerische Rissbreite w_k
  - Gemessene Rissbreite
    (i. A. an der Bauteiloberfläche)
  - Betondeckung $c \geq 50$ mm



Quelle: DAfStb Heft 525

$$w_{k,c} = w_k + \Delta w$$

mit: Δw Korrekturfaktor zum Einfluss der Betondeckung

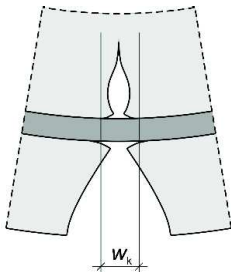
$\Delta w = 0{,}1\ mm$ (bei σ_s = 250 N/mm²)

Sonderfragen

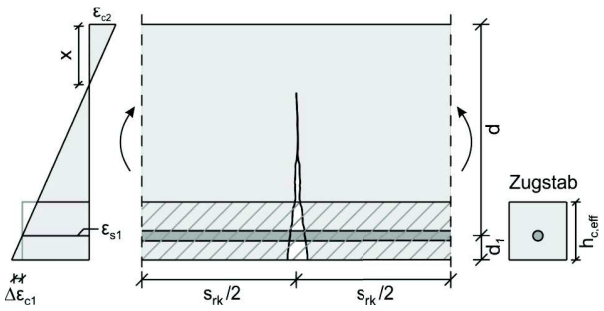
- Biegebeanspruchte Bauteile
  - Modell entwickelt für Zugstäbe
  - Zusätzliche Rissöffnung infolge $\Delta\varepsilon_{c1}$

$$w_{k,c} = \frac{h - x}{d - x} \cdot w_k$$

mit: x Druckzonenhöhe Zustand II



Quelle: DAfStb Heft 525



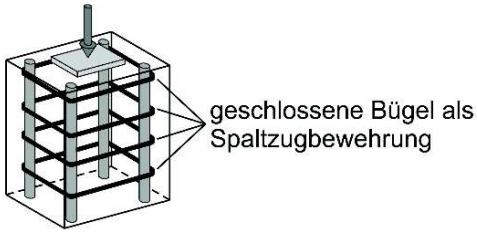
Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

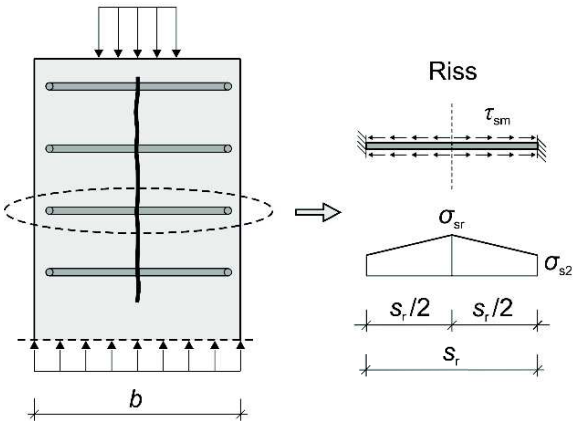
Sonderfragen

- Spannungs- und Verformungskonzentrationen
  - Lasteinleitungsbereiche
  - Nachweis für Stäbe mit Endverankerung

$$w_k = \left(2 \cdot \sigma_{sr} - \frac{3{,}6 \cdot f_{ct,eff} \cdot s_r}{\phi_s}\right) \cdot \frac{s_r}{2 \cdot E_s}$$

mit: s_r Abstand der Verankerungspunkte





Quelle: Empelmann, Wichers (2009): Stabwerke und Teilflächenbelastung nach DIN 1045-1 und Eurocode 2: Modelle und Anwendungen

Zusammenfassung

- Berechnung der Rissbreite
- Einflussgrößen
- Begrenzung der Rissbreite ohne direkte Berechnung
- Sonderfragen
  - Verbundbedingungen
  - Einfluss einer großen Betondeckung
  - Biegebeanspruchte Bauteile
  - Langzeitbeanspruchung
  - Spannungs- und Verformungskonzentrationen

Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Begrenzung der Rissbreiten (neu: Heft 630)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Mitwirkende

- Technische Universität Braunschweig, iBMB, Fachgebiet Massivbau
  - Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Empelmann
  - Jonas Cramer, M.Sc.