Bemessung von Stahlfaserbetonbauteilen

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark

Peter Heek, M. Sc.

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
UA Stahlfaserbeton
www.dafstb.de

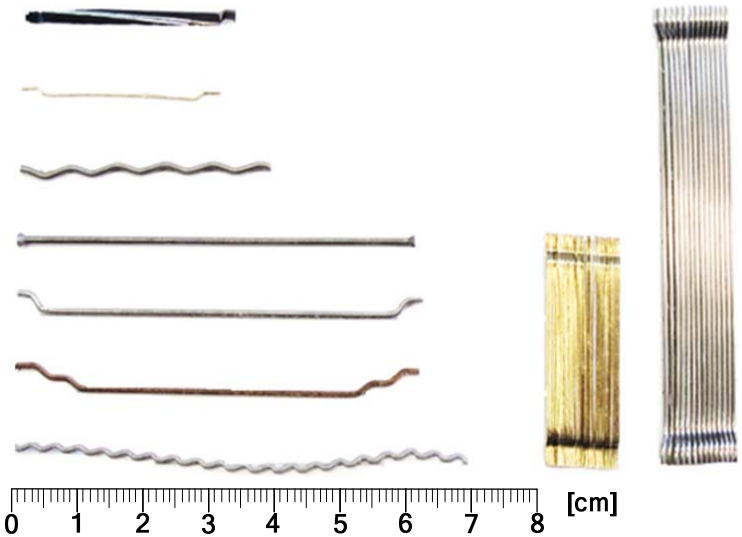
Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Massivbau
www.massivbau.rub.de

Inhalt

- Einführung
- Prinzipielles Tragverhalten
- Vorschriftenentwicklung in Deutschland
- DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“
  - Leistungsklassen und Residualfestigkeiten
  - Bemessung im GZT
  - Querschnitts- und Systemtragfähigkeiten
  - Methoden der Schnittgrößenermittlung
  - Bemessung im GZG
- Schlussfolgerungen

Anwendungsbereiche Stahlfaserbeton

- Industriefußböden
- Wohnungsbau
- Bauteile mit Dichtfunktion
- Fertigteile und Tunnelbau



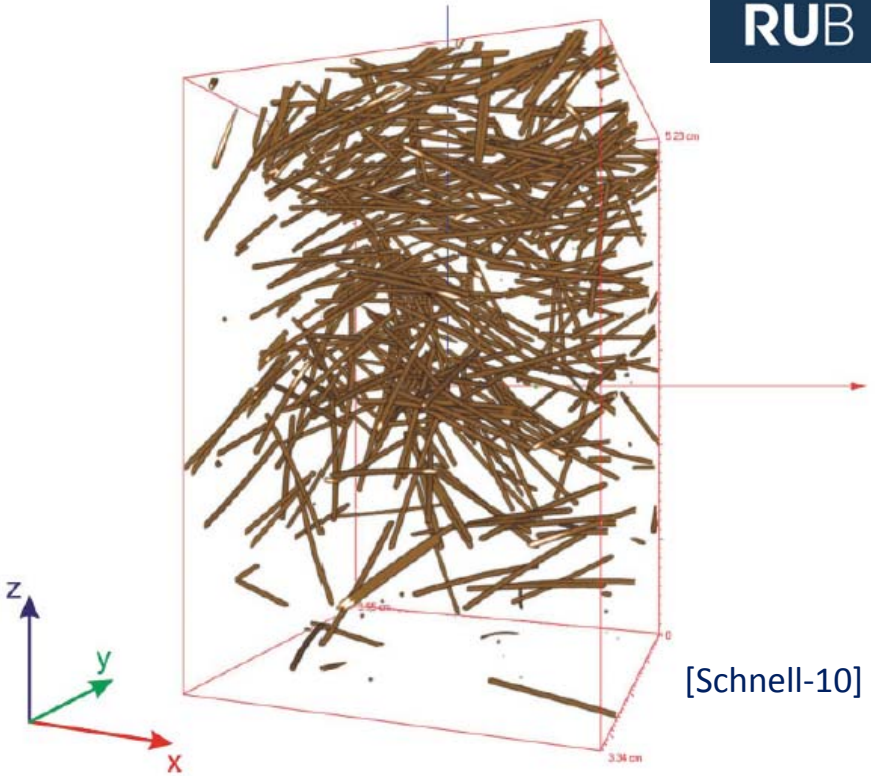
kalt gezogene Stahldrahtfasern:
ca. $40 \leq l/d \leq 80$
$1.000 \leq f^f_y \leq 2.000$ N/mm²
$150.000 \leq E^f \leq 210.000$ N/mm²

[Stahlbetonbau-aktuell-14]

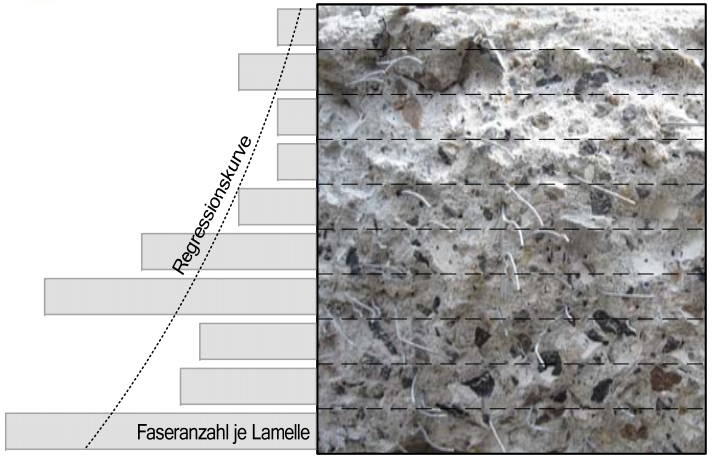
Mechanisches Tragverhalten

Einflussfaktoren auf Nachrisszugtragverhalter

- Faserorientierung
- Faserverteilung
- Faseranzahl
- Fasertyp
  - Faserschlankheit und -länge
  - Faserverankerung
  - Faserzugfestigkeit
- Betonrezeptur
  - Größtkorn des Zuschlags
  - Druckfestigkeit

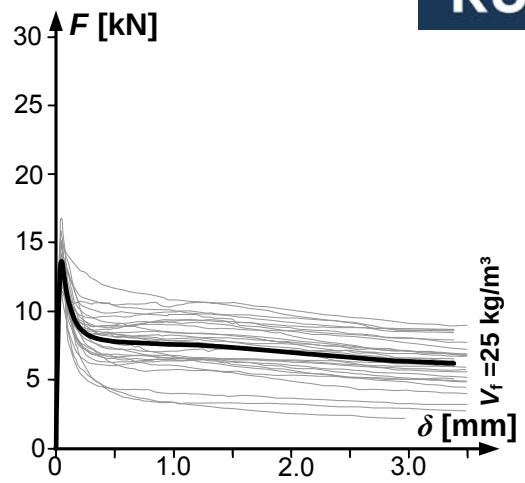


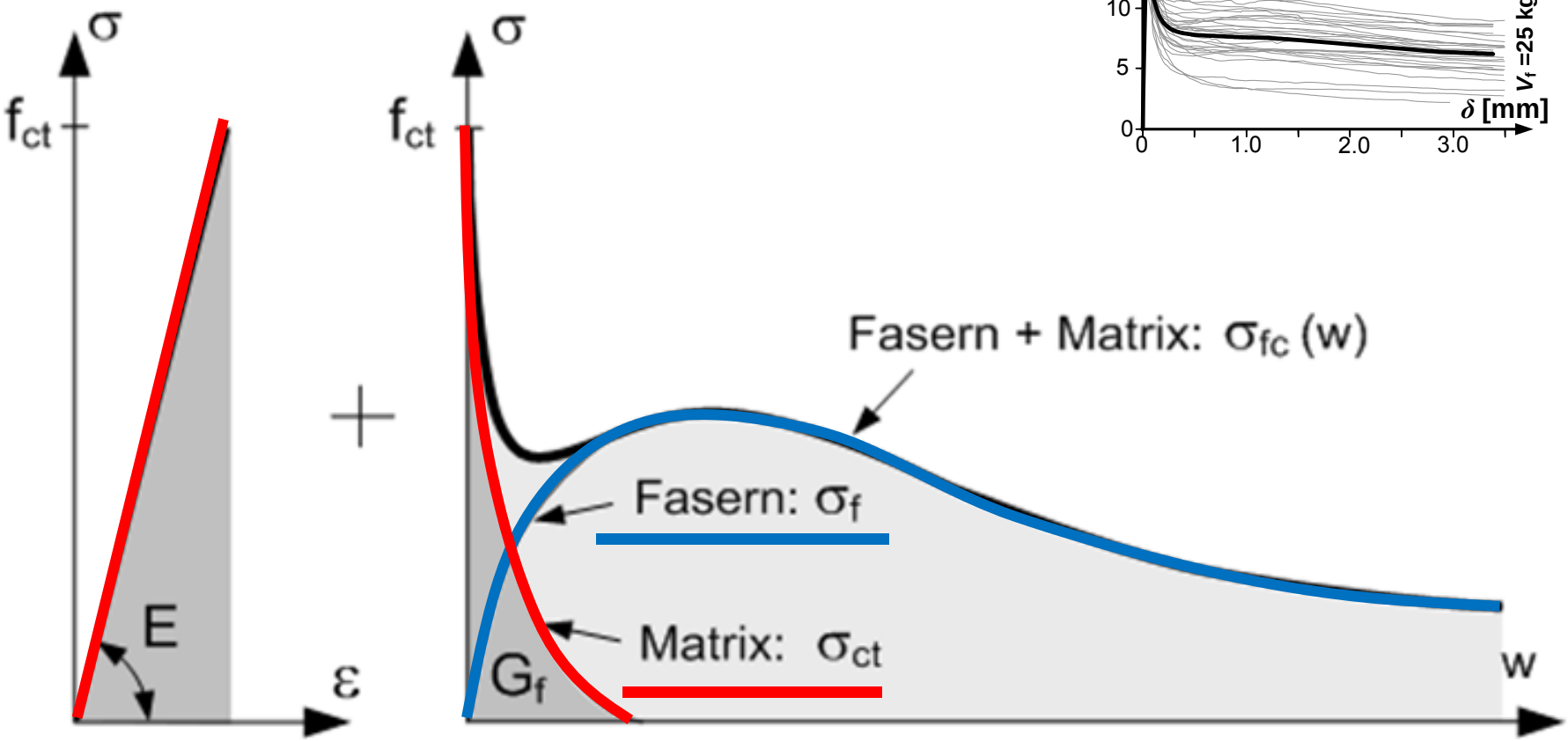
[Schnell-10]



Mechanisches Tragverhalten

Biegebalken





[Strack-07]

Vorschriftenentwicklung in Deutschland

- 1996: DBV-Merkblatt „Bemessungsgrundlagen für Stahlfaserbeton im Tunnelbau“
- 2001: DBV-Merkblatt „Stahlfaserbeton“

- 2010: DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“
  - basiert auf RILEM TC 162-TDF „Test and design methods for steel fibre reinforced concrete“ – σ-ε design method
  - nur geringe Änderungen zum DBV-Merkblatt „Stahlfaserbeton“ (2001)

  seit 2012 in Deutschland flächendeckend bauaufsichtlich eingeführt

DAfStb-Richtlinie

Stahlfaserbeton

Ausgabe März 2010

Ergänzung zu DIN 1045, Teile 1 bis 3 und DIN EN 206-1

Teil 1: Bemessung und Konstruktion
Teil 2: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
Teil 3: Hinweise für die Ausführung

- Bauaufsichtlich eingeführt in allen Bundesländern im Jahr 2012
- Ergänzungen zu DIN 1045 Teile 1 bis 3
- 45 Seiten

DAfStb-Richtlinie

Stahlfaserbeton

Entwurf Februar 2012 (Gelbdruck)

Ergänzungen und Änderungen zu DIN EN 1992-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1992-1-1/NA, DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2 und DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3

Teil 1: Bemessung und Konstruktion
Teil 2: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
Teil 3: Hinweise für die Ausführung

- Voraussichtliche bauaufsichtliche Einführung im Jahr 2014
- Aktueller Status: Weißdruck
- Ergänzungen zu EC2-1-1 mit NAD, DIN EN 206-1 mit DIN 1045-2, DIN EN 13670 mit DIN 1045-3
- 46 Seiten

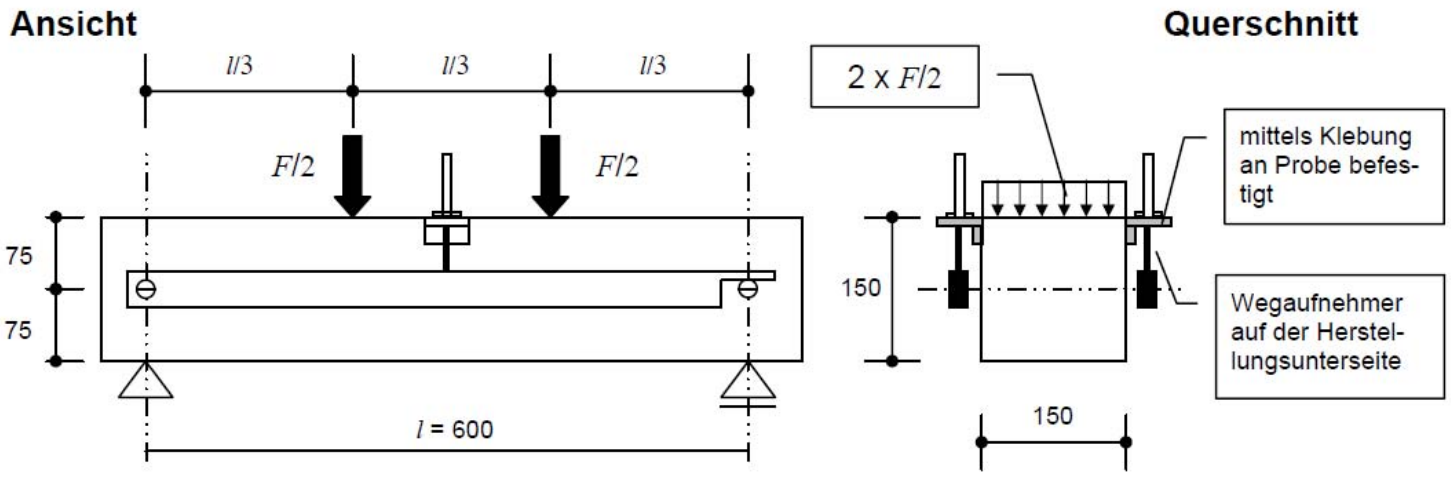
Anwendungsbereich

- Ergänzend zu EC2 1-1 mit NAD (DIN 1045)
- Normalbeton bis C50/60
- Stahlfaserbewehrter Beton (SFB) mit und ohne Stabbewehrung
- Mechanisch verankerte Fasern (gewellt, gekröpft, Endköpfe,…)
- Systeme mit Steigerungsfähigkeit von Lasten / Zwangsabbau nach Rissbildung („*Gleichgewichtssystem*“)
  - Querschnittsebene (Komb. mit Betonstahlbewehrung)
  - Systemebene (Umlagerungspotential statisch unbestimmter Systeme, äußere Drucknormalkräfte)

Nicht enthalten

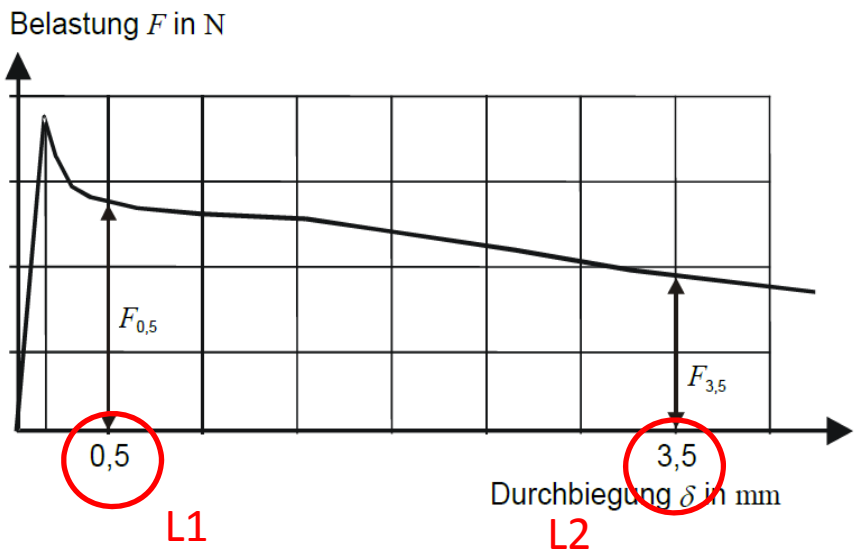
- Vorgespannter SFB
- Gefügedichte und haufwerksporige Leichtbetone
- Hochfester Beton (≥ C55/67)
- Reiner SFB in XS2, XD2, XS3 und XD3 (für rechn. angesetzte Faserwirkung)
- Selbstverdichtender Beton
- Stahlfaserspritzbetone

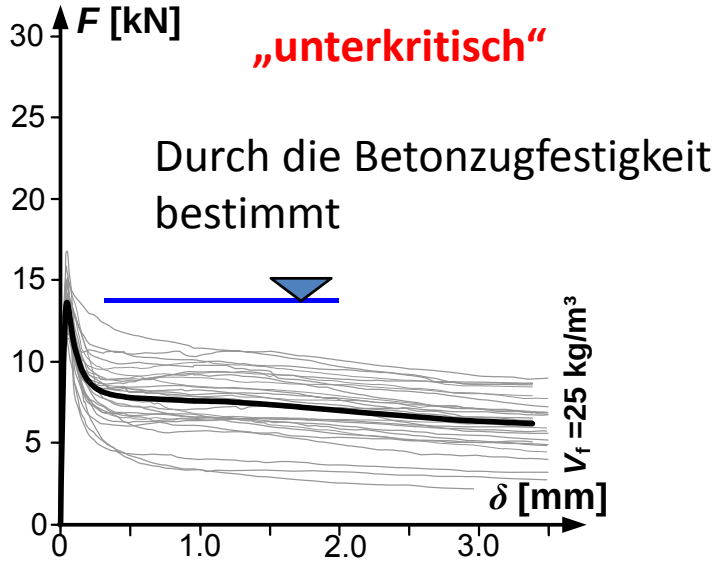
Biegezugversuch und Fasergehalte



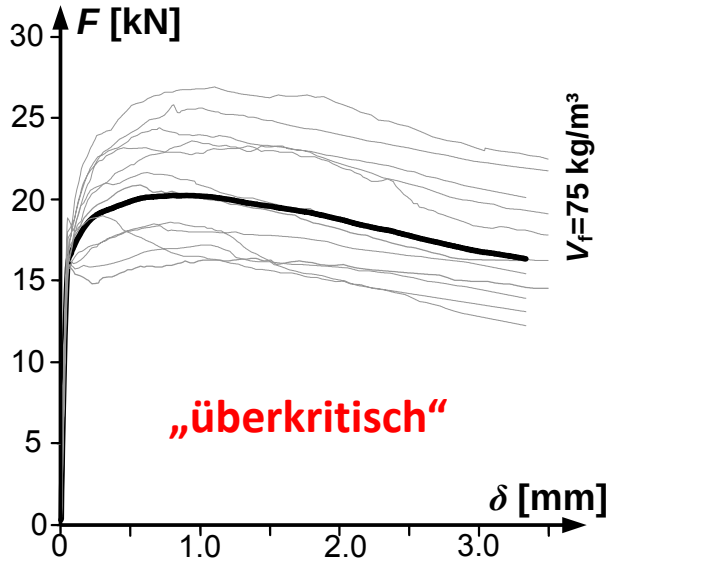
Nach DAfStb-Stahlfaserbeton, T. 2, Anhang O

Biegezugversuch und Fasergehalte





Basis für Einstufung und nutzbare Biegezugfestigkeiten

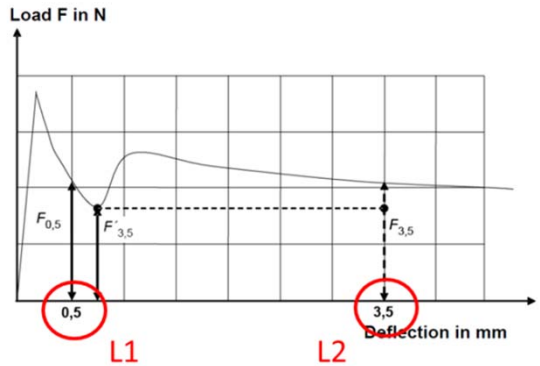


Rechnerische Zugfestigkeiten und Leistungsklassen

$$f^{f}_{cflm,L1} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{F_{0,5,i}\cdot l}{b_i\cdot h_i^2}$$

$$f^{f}_{cflm,L2} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{F_{3,5,i}\cdot l}{b_i\cdot h_i^2}$$

Mittelwerte der Serie



$$f^{f}_{cflk,Li} = e^{(Lf^{f}_{cflm,Li} - k_s\cdot Ls)} \leq 0{,}51\cdot f^{f}_{cflm,Li}$$

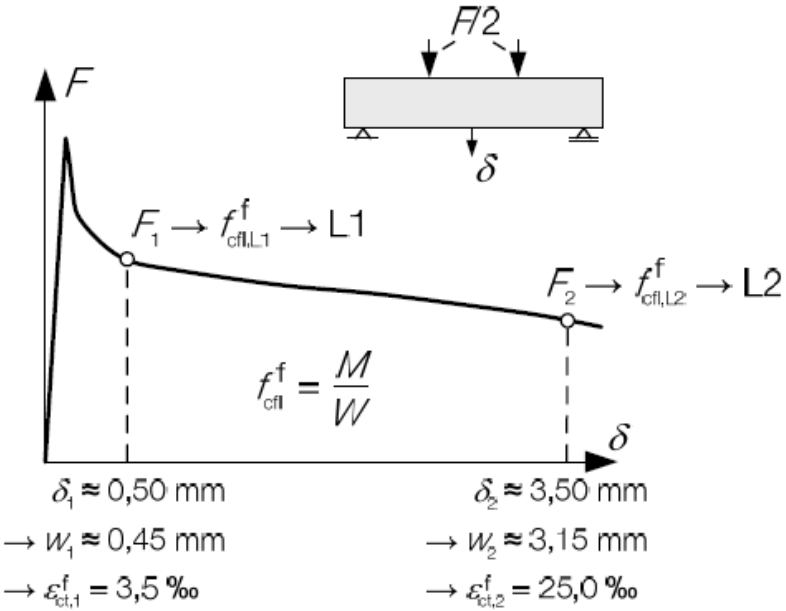
$Lf^{f}_{cflm,Li}$ Mittelwert der logarithmierten Einzelprüfergebnisse $f^{f}_{cfl,Li,i}$;

$Lf^{f}_{cflm,Li} = 1/n \cdot \Sigma \ln(f^{f}_{cfl,Li,i})$;

Ls Standardabweichung der logarithmierten Einzelprüfergebnisse der Serie;

$$Ls = \sqrt{\frac{\sum(Lf^{f}_{cflm,Li} - \ln(f^{f}_{cfl,Li,i}))^2}{n-1}};$$

Versuchsauswertung



→ Einstufung in Leistungsklassen L2/L1

Bsp.: C30/37 – L1,2/0,9 – XC1

Residualfestigkeiten

Zentrische Nachrisszugfestigkeiten

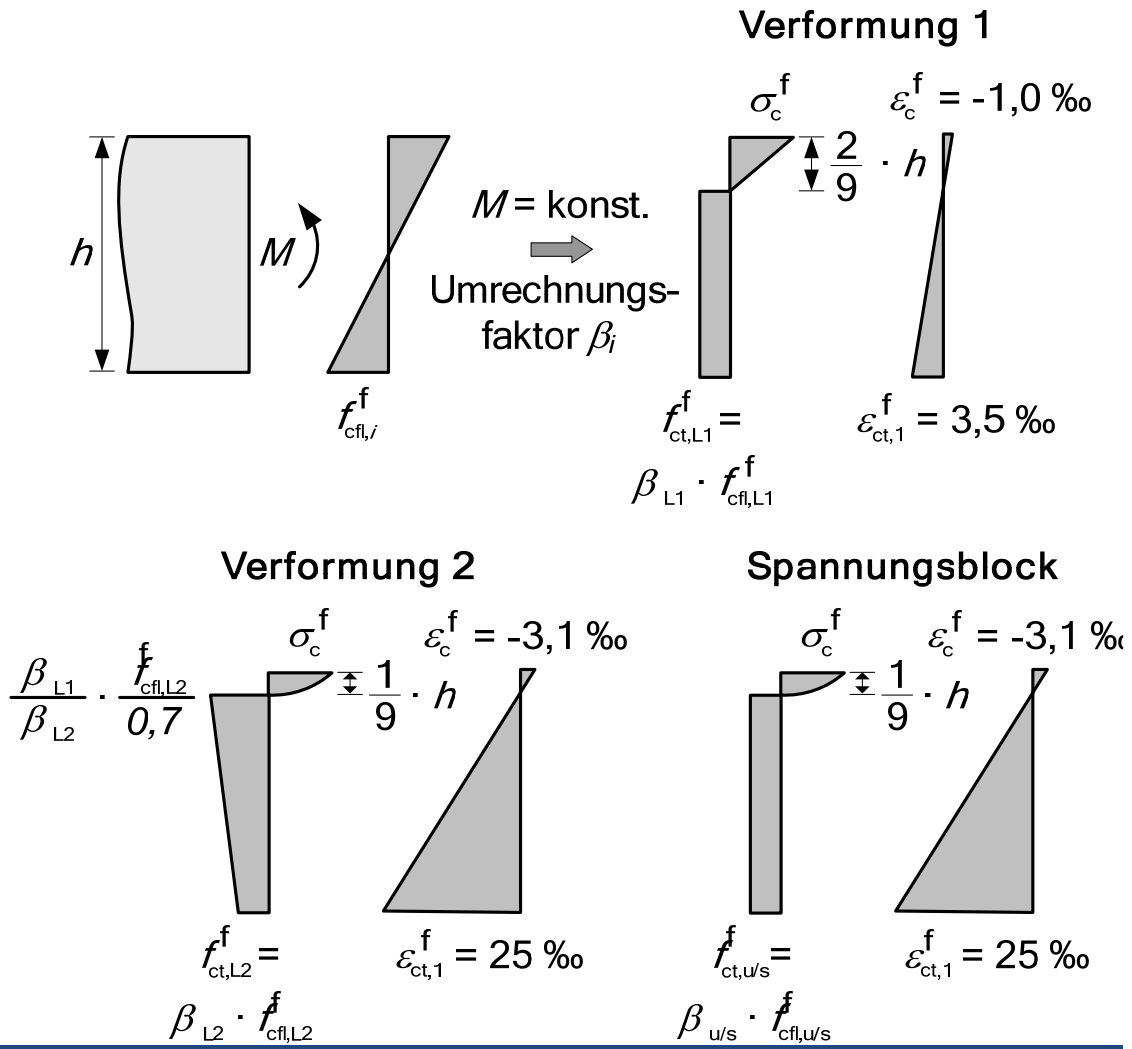
Verformung 1		Verformung 2		
L1	$f^f_{ct0,L1}$	L2	$f^f_{ct0,L2}$	$f^f_{ct0,u/s}$
0	< 0,16	0	-	-
0,4*	0,16	0,4*	0,10	0,15
0,6	0,24	0,6	0,15	0,22
0,9	0,36	0,9	0,23	0,33
1,2	0,48	1,2	0,30	0,44
1,5	0,60	1,5	0,38	0,56
1,8	0,72	1,8	0,45	0,67
2,1	0,84	2,1	0,53	0,78
2,4	0,96	2,4	0,60	0,89

> 2,4 Baufsichtliche Zulassung

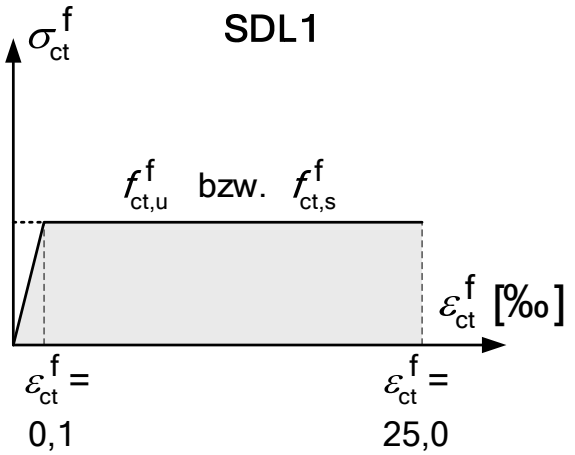
$\beta_{L1} = 0{,}40$ $\beta_{L2} = 0{,}25$ $\beta_{u/s} = 0{,}37$

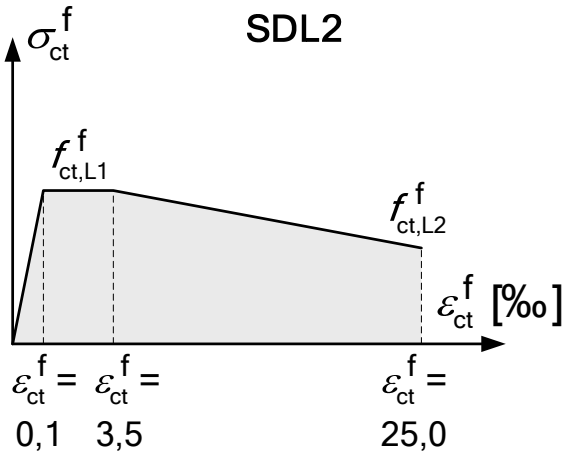
* nur flächenhafte Bauteile ($b > 5h$)

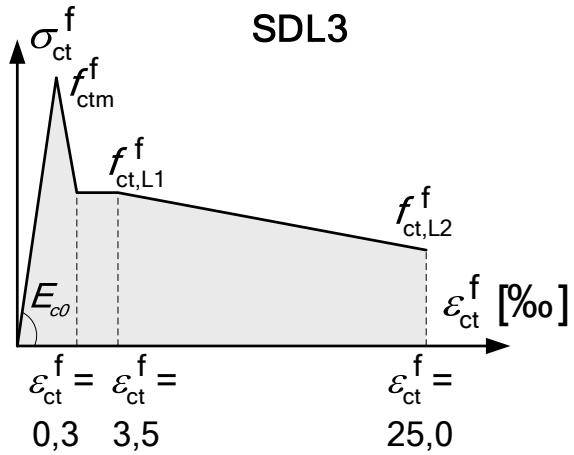
Bestimmung der Umrechnungsfaktoren



Spannungs-Dehnungs-Linien (SDL)







zulässig für: L2/L1 ≤ 1,0 (GZT)	**zulässig für:** L2/L1 ≥ 0,7 (GZT)	**zulässig für:** L2/L1 ≥ 0,7 (GZT)
Verwendung für: • vereinfachte (konservative) Bemessung im GZT • Nachweise im GZG (außer Verformungen) bei Verwendung von BSt-Bewehrung	**Verwendung für:** • Bemessung im GZT außer für nichtlineare Verfahren • überschlägige Verformungsberechnungen	**Verwendung für:** • nichtlineare Verfahren • genauere Verformungsberechnungen

Residualfestigkeiten / Bemessungswerte

$$f^f_{ct0,L1} = f^f_{cflk,L1} \cdot \beta_{L1}$$
$$f^f_{ct0,L2} = f^f_{cflk,L2} \cdot \beta_{L2}$$
$$f^f_{ct0,u} = f^f_{cflk,L2} \cdot \beta_u$$
$$f^f_{ct0,s} = f^f_{cflk,L2} \cdot \beta_s \text{ für } L2/L1 \leq 1{,}0\text{; sonst gilt Abs. (7)}$$

Rechenwerte der zentrischen Nachrisszugfestigkeit

$$f^f_{ctR,L1} = \kappa^f_F \cdot \kappa^f_G \cdot f^f_{ct0,L1}$$
$$f^f_{ctR,L2} = \kappa^f_F \cdot \kappa^f_G \cdot f^f_{ct0,L2}$$
$$f^f_{ctR,u} = \kappa^f_F \cdot \kappa^f_G \cdot f^f_{ct0,u}$$
$$f^f_{ctR,s} = \kappa^f_F \cdot \kappa^f_G \cdot f^f_{ct0,s}$$

Größenordnungsfaktor (Variationskoeffizient)

$$\kappa^f_G = 1{,}0 + A^f_{ct} \cdot 0{,}5 \leq 1{,}70$$

Orientierungsfaktor

0,5 (ungünstig) bis 1,0 (isotrop, günstig)

$$\kappa^f_F$$

Bemessungswerte

$$f^f_{ctd,L1} = \alpha^f_c \cdot f^f_{ctR,L1} / \gamma^f_{ct}$$

$$f^f_{ctd,L2} = \alpha^f_c \cdot f^f_{ctR,L2} / \gamma^f_{ct}$$

$$\alpha^f_c = 0{,}85$$

$$f^f_{ctd,s} = \alpha^f_c \cdot f^f_{ctR,s} / \gamma^f_{ct}$$

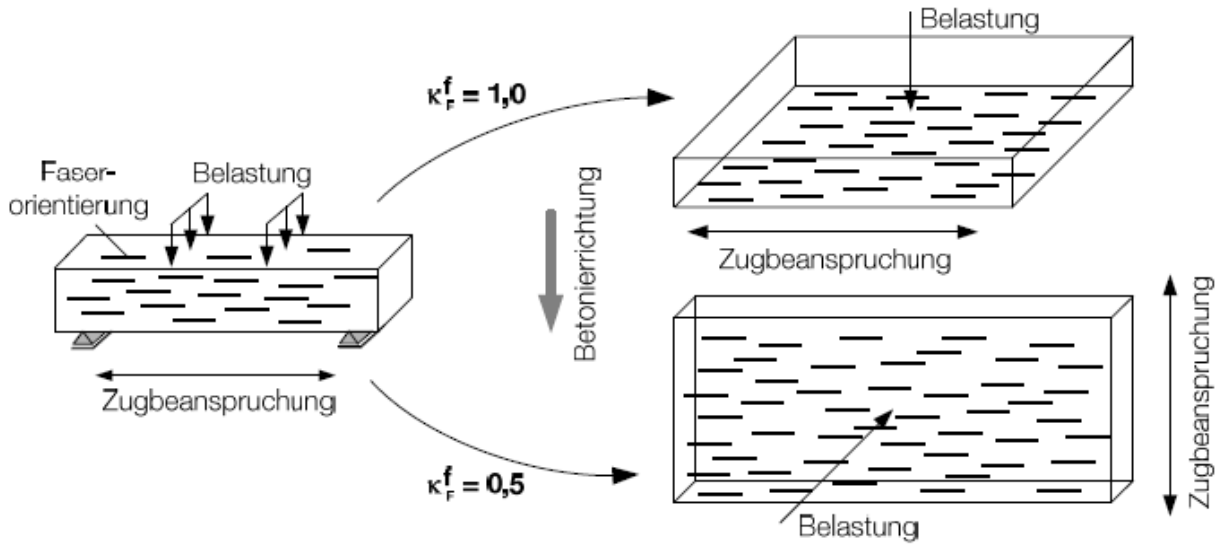
Zeile	Spalte	1	2
	Teilsicherheitsbeiwert für	Stahlfaser-beton	Stahlfaserbeton mit Beton-stahlbewehrung
1	Nachrisszugfestigkeit Stahlfaserbeton γ^f_{ct} [3])	1,25	1,25
2	Ungerissener Stahlfaserbeton γ^f_{ct} [1]) [3])	1,8	–
3	Systemwiderstand bei nichtlinearer Berechnung γ_R	1,4	1,35 (ohne Nachweis)[2])

Residualfestigkeiten / Bemessungswerte

κ^f_F: Orientierungsfaktor

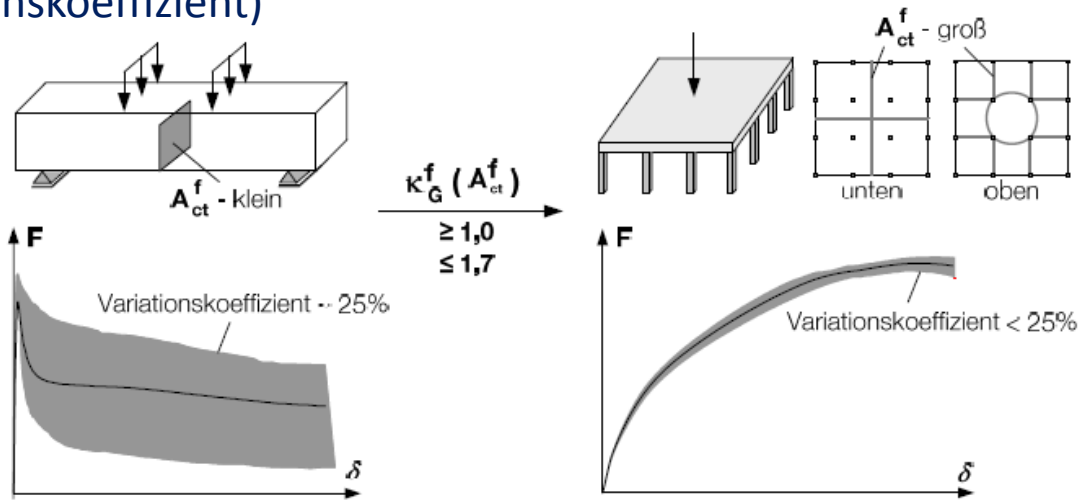
κ^f_F= 0,5 (ungünstig)

κ^f_F= 1,0 (isotrop, günstig)



κ^f_G: Größenordnungsfaktor (Variationskoeffizient)

$\kappa^f_G = 1{,}0 + A^f_{ct} \cdot 0{,}5 \leq 1{,}70$

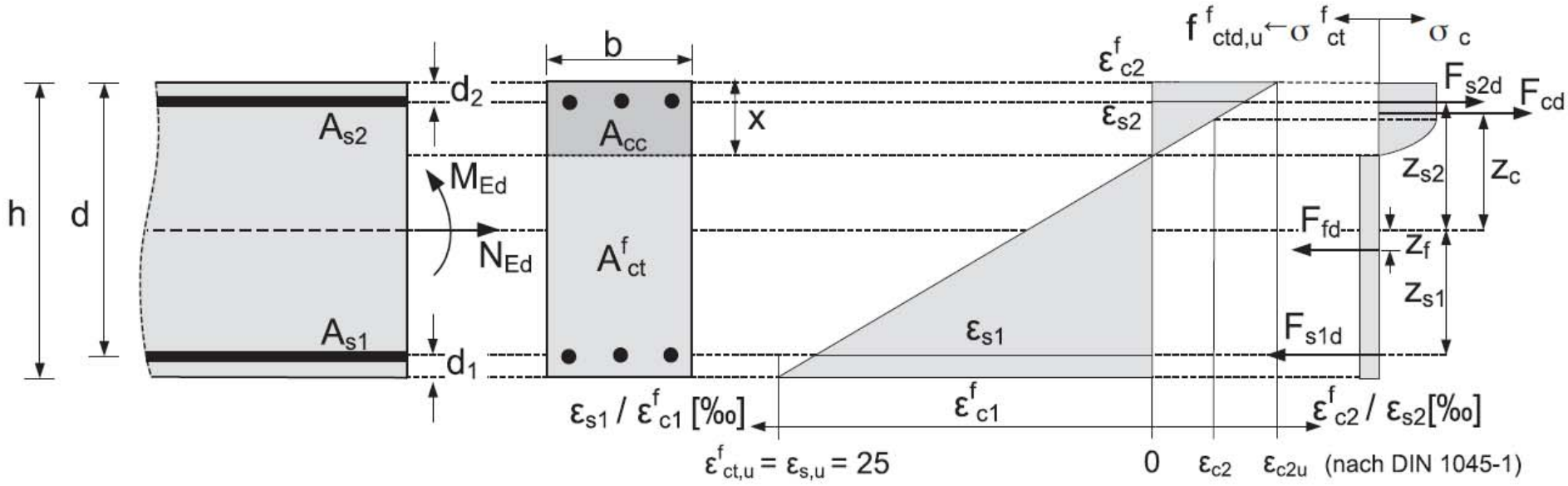


[Stahlbetonbau-aktuell-14]

Bemessung im GZT

Zulässige Dehnungsverteilungen

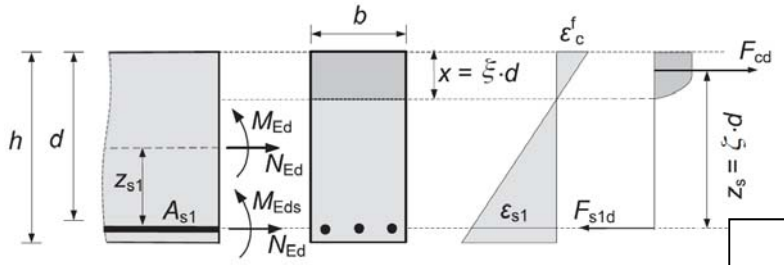
$$-3{,}5‰ \leq \varepsilon_c \leq 25\ ‰$$



Bemessung im GZT

Biegung mit Normalkraft – dimensionslose Querschnittsbemessung

Stahlbeton



$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\Sigma N: \quad N_{Ed} = N_{Rd} = F_{sd} - F_{cd}$$

$$\Sigma M: \quad M_{Eds} = M_{Rds} = F_{cd} \cdot z_s$$

$$F_{s1d} = A_{s1} \cdot \sigma_{sd}$$

$$F_{cd} = \alpha_R \cdot x \cdot b \cdot f_{cd}$$

$$\mu_{Eds} = \xi \cdot \alpha_R \cdot \zeta$$

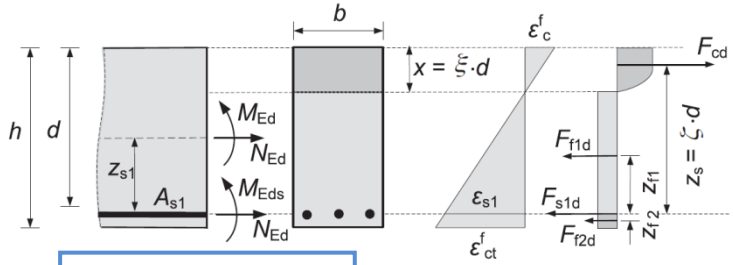
$$\omega = \frac{A_{s\omega} \cdot \sigma_{sd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$

$$A_{s1} = A_{s\omega} + N_{Ed}/\sigma_{sd}$$

$$A_{s\omega} = (F_{cd})/\sigma_{sd}$$

$$A_{s1} = \frac{\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$$

Stahlfaserverstärkter Stahlbeton



$$\alpha_{f,u} = f^f_{ct,u}/f_c$$

$$\Sigma N: \quad N_{Ed} = N_{Rd} = F_{sd} + F_{f1d} + F_{f2d} - F_{cd}$$

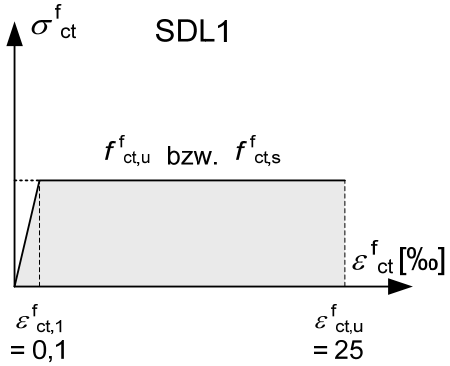
$$\Sigma M: \quad M_{Eds} = M_{Rds} = F_{cd} \cdot z_s - F_{f1d} \cdot z_{f1} + F_{f2d} \cdot z_{f2}$$

$$F_{f1d} = (d - x) \cdot b \cdot f^f_{ctd,u}$$

$$F_{f2d} = d_1 \cdot b \cdot f^f_{ctd,u}$$

$$\mu_{Eds} = \xi \cdot \alpha_R \cdot \zeta - (1 - \xi)^2 \cdot \alpha_{fd,u}/2 + (d_1/d)^2 \cdot \alpha_{fd,u}/2$$

$$A_{s\omega} = (F_{cd} - F_{f1d} - F_{f2d})/\sigma_{sd}$$



Eingabe

Geometrie:

Höhe h:[m]	0,250
Breite b:[m]	1,000
d_1 :[m]	0,025
d_2 :[m]	0,000
d :[m]	0,225
liegend betoniertes flächenhaftes Bauteil (b/h ≥ 5)	☑

Baustoffe:

Stahlfaserbeton - Druck:

Festigkeitsklasse	C20/25	
f_{ck} [N/mm²]:	20	
γ_c :	1,50	
$\alpha = \alpha^f_c$:	0,85	
f_{cd} / f_{cR} [N/mm²]:	**11,33**	

Spannungs-Dehnungs-Beziehung:

Bemessung	◉
SDL nichtlinear	○

Stahlfaserbeton - Zug:

Leistungsklassen L1	1,8	L2 1,5
$f^f_{ct0,L1}$ [N/mm²]:	0,72	
$f^f_{ct0,L2}$ [N/mm²]:	0,38	0,44
$f^f_{ct0,u}$ [N/mm²]:	0,56	
f_{ctm} [N/mm²]:	2,21	
κ^f_F :	1,00	
κ^f_G :	1,00	
γ^f_{ct} :	1,25	
$f^f_{ctd,L1}$ / $f^f_{ctR,L1}$ [N/mm²]:	**0,49**	
$f^f_{ctd,L2}$ / $f^f_{ctR,L2}$ [N/mm²]:	**0,30**	
$f^f_{ctd,u}$ / $f^f_{ctR,u}$ [N/mm²]:	**0,38**	

Spannungs-Dehnungs-Beziehung:

Spannungsblock (SDL1)	○
Bemessung (SDL2)	◉
Nicht-linear (SDL3)	○

Stahl:

E_s [MN/m²]:	200000
f_{yk} [MN/m²]:	500
f_{tk} [MN/m²]:	525
γ_s:	1,15
ε_{yd} [‰]:	2,17

Iteration

- Bemessung nach DAfStb Richtlinie „Stahlfaserbeton" und DIN 1045
- Normalfester Beton (C16/20 bis C50/60)
- Drucknormalkraft negativ
- Multilineare σ-ε- Beziehung für Stahlfaserbeton
- Rechteckquerschnitt
- Nulllinie liegt im Querschnitt
- Nur positive Momente eingeben

Gleichgewicht:

N_{Ed} [kN]=	**0,00**	0,00	$=N_{Rd}$ [kN]
M_{Ed} [kNm]=	**67,39**	67,39	$=M_{Rd}$ [kNm]

Dehnungszustand:

Betonstauchung ε^f_c [‰]:	**-2,84**
Stahldehnung-Druck ε_{s2} [‰]:	-2,84
Stahldehnung ε_{s1} [‰]:	12,54
Randdehnung ε^f_{ct} [‰]:	**14,25**
Krümmung κ 10^{-3} [1/m]:	68,38
Bezogene Druckzonenhöhe ξ :	0,18

Gleichgewicht gefunden ?	**JA**

Stahlquerschnitt A_{s1} [cm²]:	**6,00**
Stahlquerschnitt-Druck A_{s2} [cm²]:	**0,00**
Stahlquerschnitt-Gesamt A_s [cm²]:	**6,00**

Druckbewehrung bei Ermitllung von min. As

- = A_{S2}/A_{S1} keine

Beschränkung der Druckzonenhöhe

- = ξ_{lim} -

Berechnung

Beton:

ε_{c2} bzw. ε_{c1} [‰]:	-2,0
ε_{c2u} bzw. ε_{c1u} [‰]:	-3,5
Betondruckkraft F_{cd} [MN]:	**0,3610**
Randabstand a [m]:	**0,0167**
Druckzonenhöhe x [m]:	0,0416

Stahlfasern:

$f^f_{ctd,Rand}$ [N/mm²]:	0,394
ε^{f*}_1 [‰]:	0,017
ε^f_1 [‰]:	0,1
ε_{ctm} [‰]:	0,077
ε_{ctm2} [‰]:	0,3
ε^f_2 [‰]:	3,5
ε^f_{ctu} [‰]:	25,0
Begrenzung Stahldehnung	☐
$\varepsilon^f_{ctu} \geq \varepsilon^f_2 \geq \varepsilon^f_1$!	OK
$\varepsilon^f_{ctu} \geq \varepsilon^f_2 \geq \varepsilon_{ctm2} \geq \varepsilon_{ctm}$!	OK
Faserzugkraft F_{fd} [MN]:	**0,0942**
Hebelarm z_f [m]:	**0,1254**

Stahl Zug:

Stahlkraft F_{s1d} [MN]:	**0,2668**
Hebelarm z_{s1} [m]:	**0,2083**
Stahlspannung σ_{sd1} [MN/m²]:	444,66

Stahl Druck:

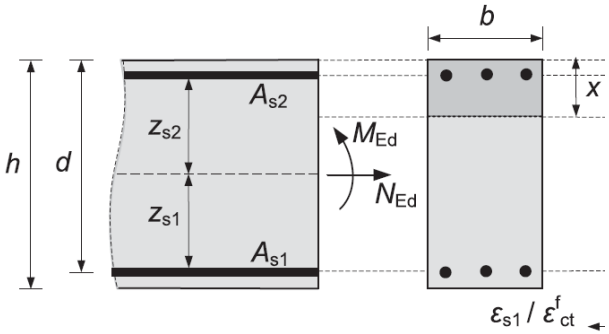
Stahlkraft F_{s2d} [MN]:	**0,0000**
Hebelarm z_{s2} [m]:	**0,0167**
Stahlspannung σ_{s2d} [MN/m²]:	435,42
gesamter Hebelarm z [m]:	**0,1867**

Berechnung starten

min. A_s

max. M_{Ed}

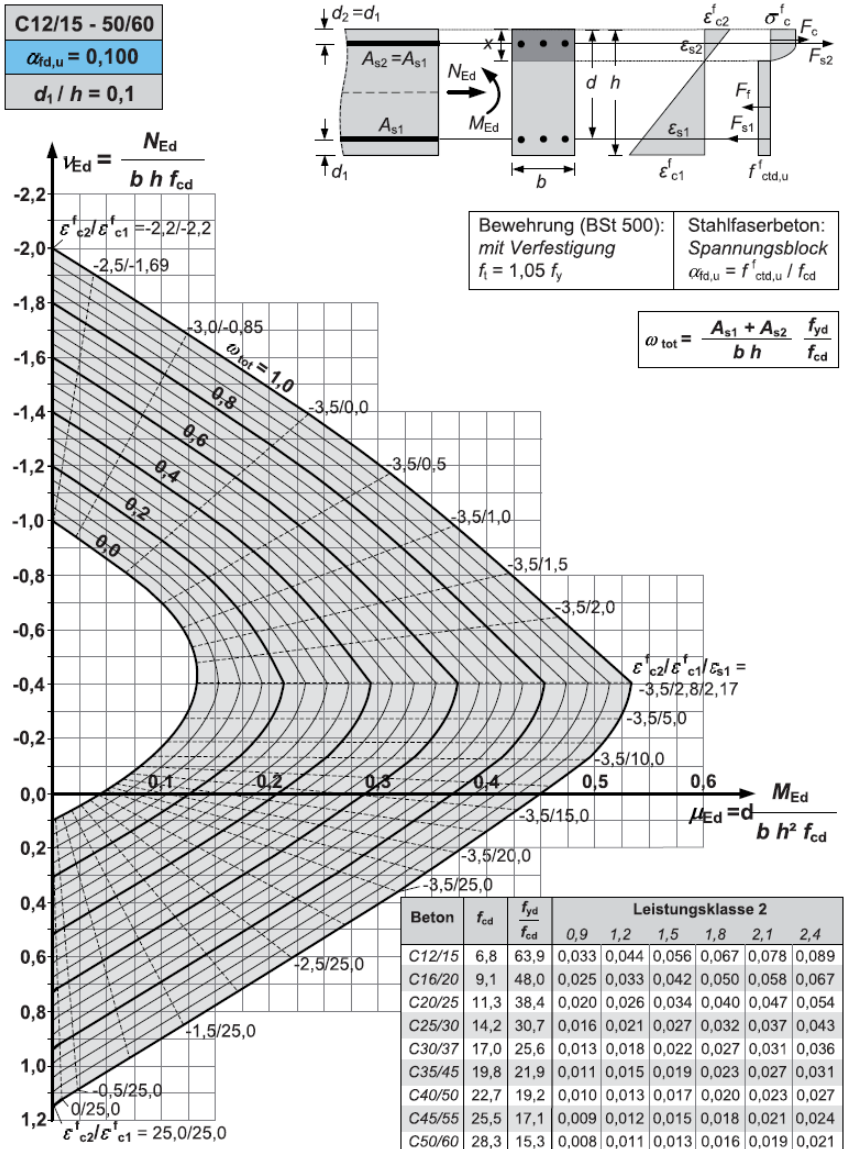
M-ε-Bez.



Optimierungsaufgabe

$$f = \begin{bmatrix} \left(M_y - \iint \sigma z \, dA\right)^2 + \\ \left(N - \iint \sigma \, dA\right)^2 \end{bmatrix} \rightarrow \min$$

www.massivbau.rub.de



Beton	f_{cd}	$\frac{f_{yd}}{f_{cd}}$	Leistungsklasse 2					
			0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
C12/15	6,8	63,9	0,033	0,044	0,056	0,067	0,078	0,089
C16/20	9,1	48,0	0,025	0,033	0,042	0,050	0,058	0,067
C20/25	11,3	38,4	0,020	0,026	0,034	0,040	0,047	0,054
C25/30	14,2	30,7	0,016	0,021	0,027	0,032	0,037	0,043
C30/37	17,0	25,6	0,013	0,018	0,022	0,027	0,031	0,036
C35/45	19,8	21,9	0,011	0,015	0,019	0,023	0,027	0,031
C40/50	22,7	19,2	0,010	0,013	0,017	0,020	0,023	0,027
C45/55	25,5	17,1	0,009	0,012	0,015	0,018	0,021	0,024
C50/60	28,3	15,3	0,008	0,011	0,013	0,016	0,019	0,021

$\alpha_{fd,u}$ = Tabellenwert · κ^f_F · κ^f_G

κ^f_F und κ^f_G → Beiwerte Faserorientierung und Zugzonengröße

Angaben für: γ_c=1,5 ; γ^f_{ct}=1,25 ; γ_s=1,15 sowie α_c=α^f_c=0,85

Zusätzlicher Normierungsparameter bei Verwendung von SDL 1 (Spannungs-block) für den Stahlfaserbeton

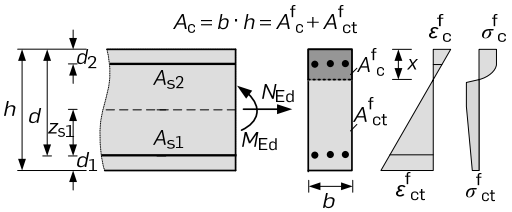
$$\alpha_{fd,u} = \frac{f^f_{ctd,u}}{f_{cd}}$$

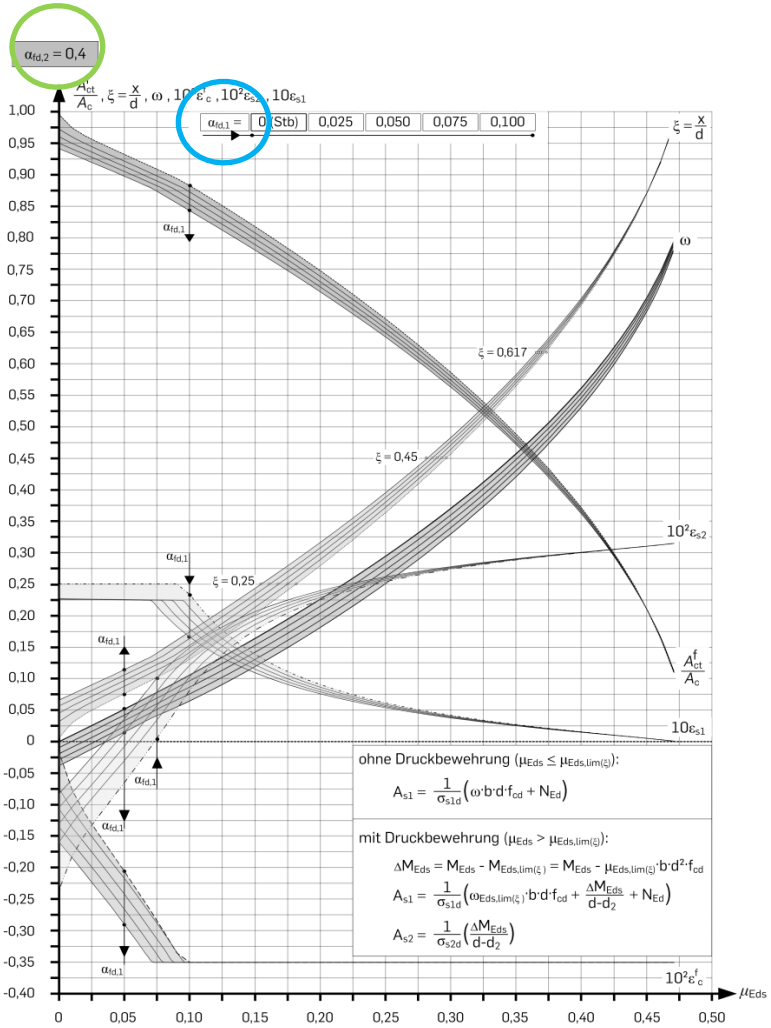
Gödde, L.; Strack, M.; Mark, P.: M-N-Interaktionsdiagramme für stahlfaserverstärkte Stahlbetonquerschnitte – Anwendung am Beispiel von Tübbingen, Beton- und Stahlbetonbau 105 (5), 2010, S. 318-323.

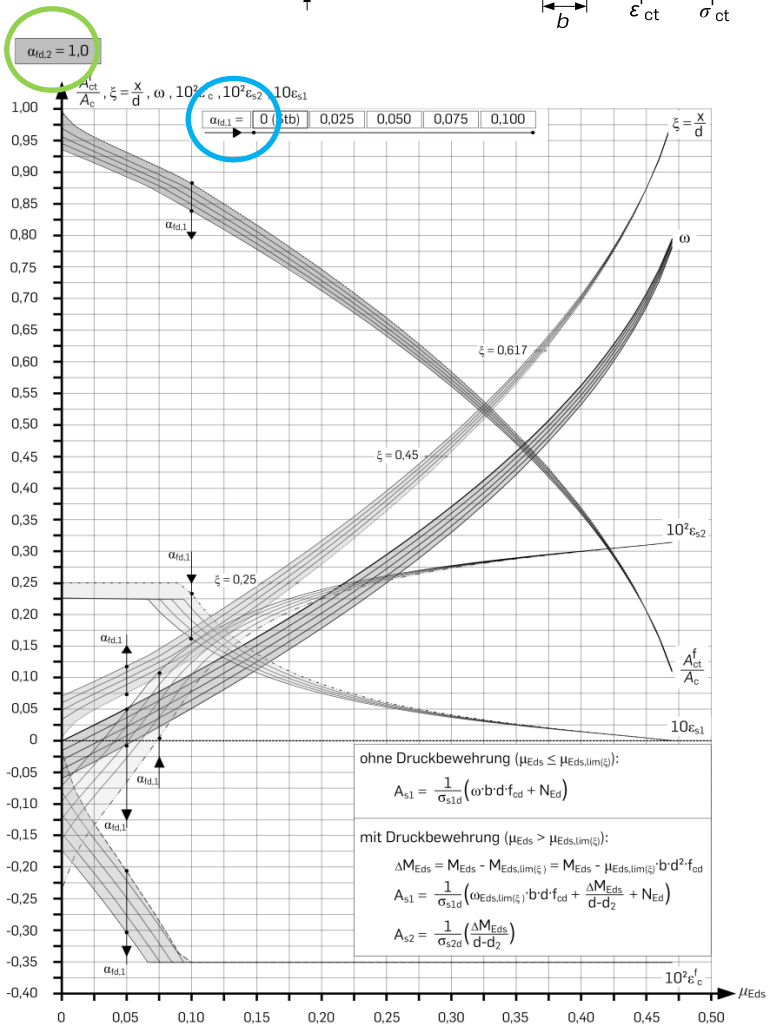
2 zusätzliche Normierungsparameter bei Verwendung der trilinearen σ-ε-Beziehung für Stahlfaserbeton (SDL 2)

C 12/15 – C 50/60 | $d_1/d = 0{,}1$

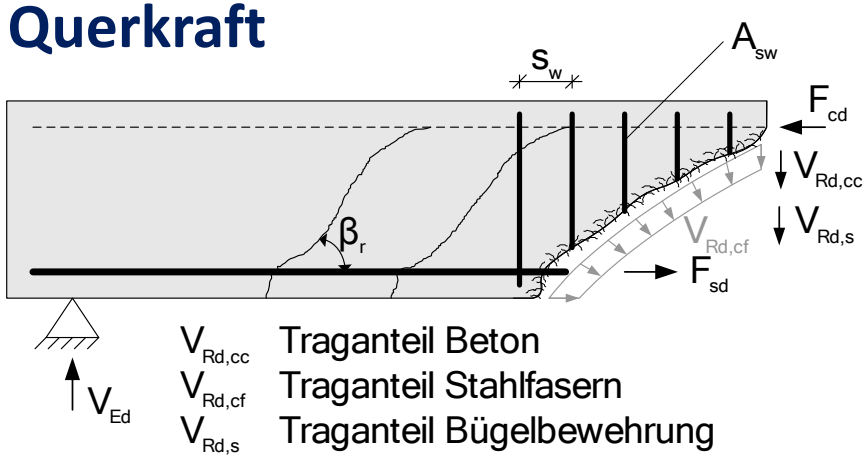
$$\alpha_{fd,1} = \frac{f^f_{ctd,L1}}{f_{cd}} \qquad \alpha_{fd,2} = \frac{f^f_{ctd,L2}}{f^f_{ctd,L1}} \qquad \mu_{Eds} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$







Querkraft



$V_{Rd,cc}$ Traganteil Beton
$V_{Rd,cf}$ Traganteil Stahlfasern
$V_{Rd,s}$ Traganteil Bügelbewehrung

Bauteile ohne Querkraftbewehrung

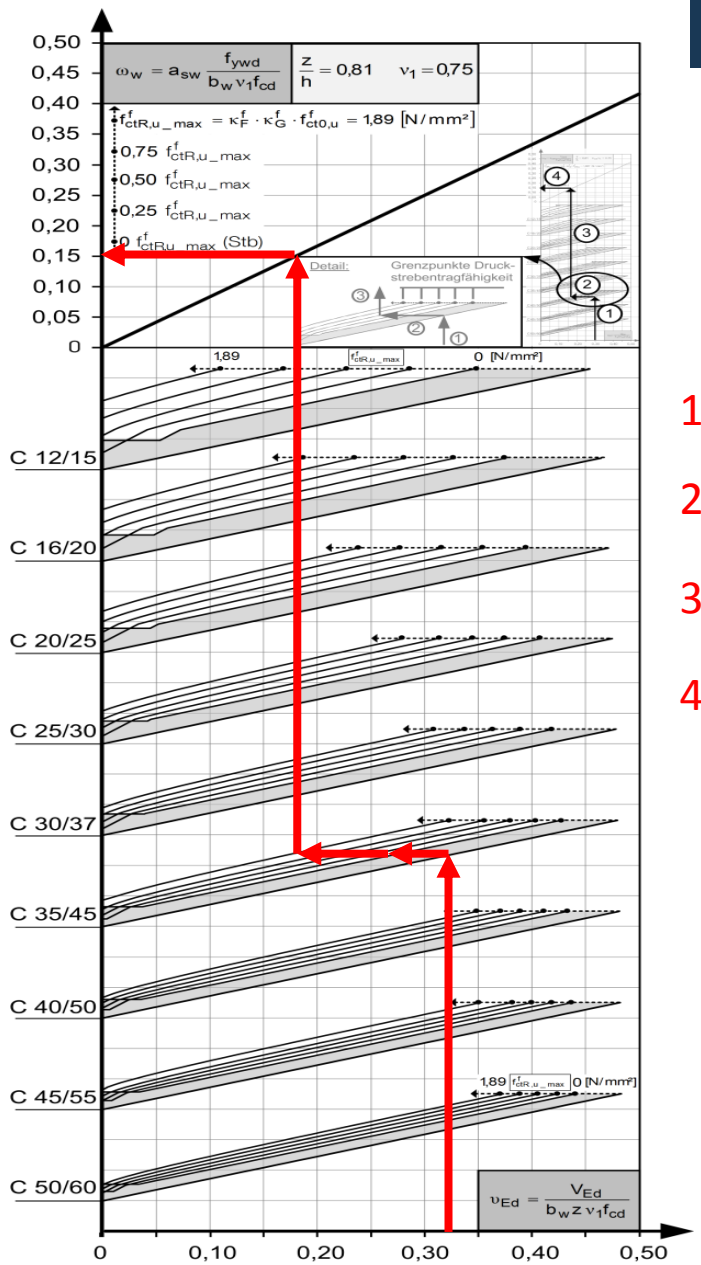
$$V^f_{Rdct} = V_{Rd,ct} + V_{Rd,cf}$$

Bauteile mit Querkraftbewehrung

$$V^f_{Rd,sy} = V_{Rd,sy} + V_{Rd,cf} \leq V_{Rd,max}$$

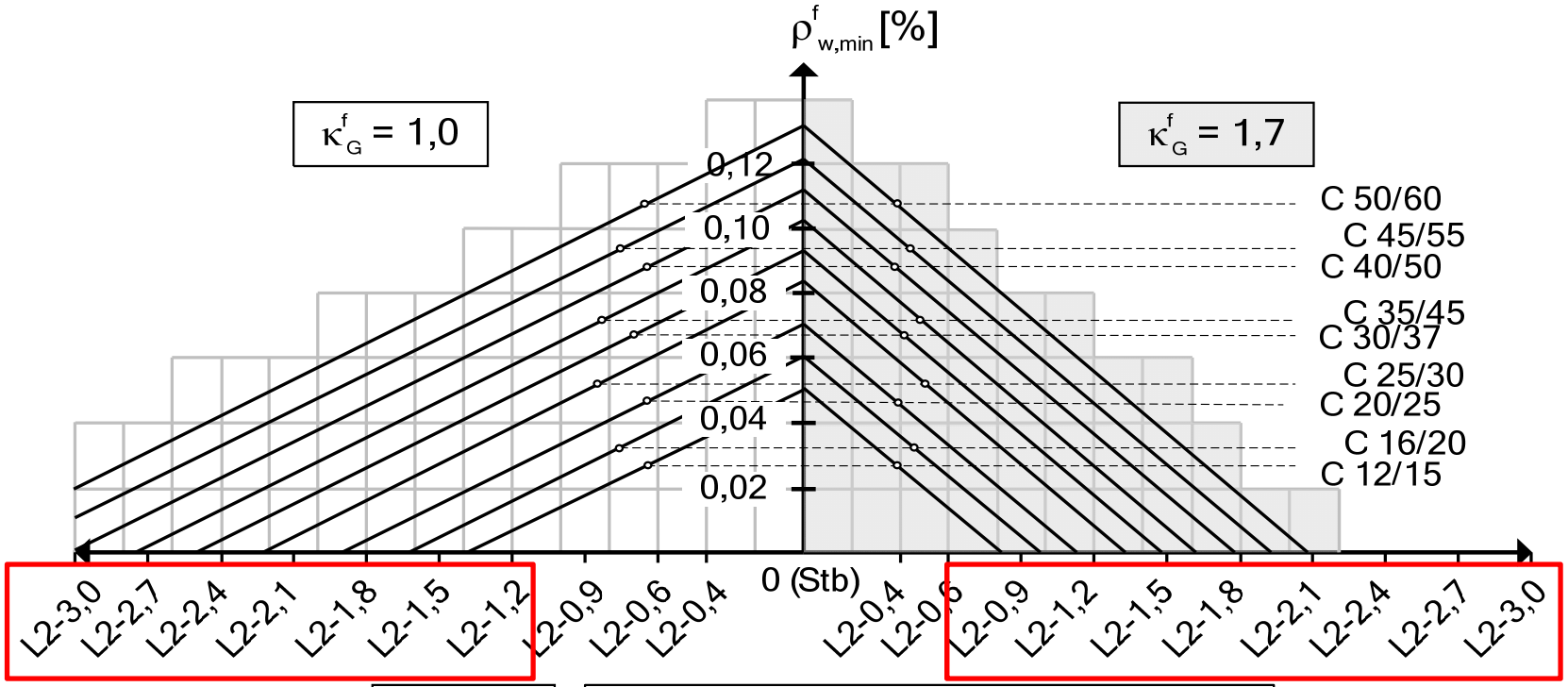
$$V_{Rd,cf} = \frac{\alpha^f_c \cdot f^f_{ctR,u} \cdot b_w \cdot h}{\gamma^f_{ct}}$$

$$A^f_{ct} = b_w \cdot d \leq b_w \cdot 1{,}50$$



1. υ_{Ed}
2. $v_{Rd,cc}$
3. $v_{Rd,cf}$
4. ω_W

Mindestquerkraftbewehrung



$\kappa^f_F = 0{,}5$

$$\rho^f_{w,min} = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin\alpha} = 0{,}16\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} - \frac{f^f_{ctR,u}}{f_{yk}} \geq 0$$

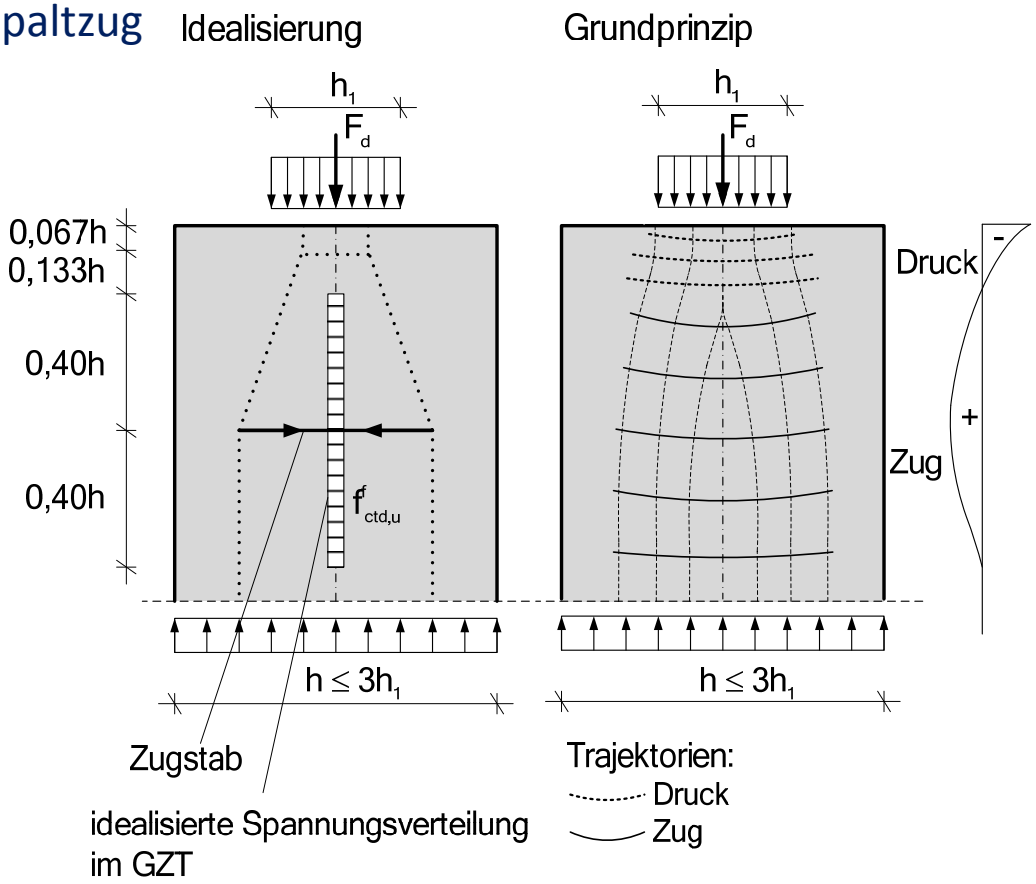
Keine Bewehrung BSt erforderlich

Stabwerkmodelle

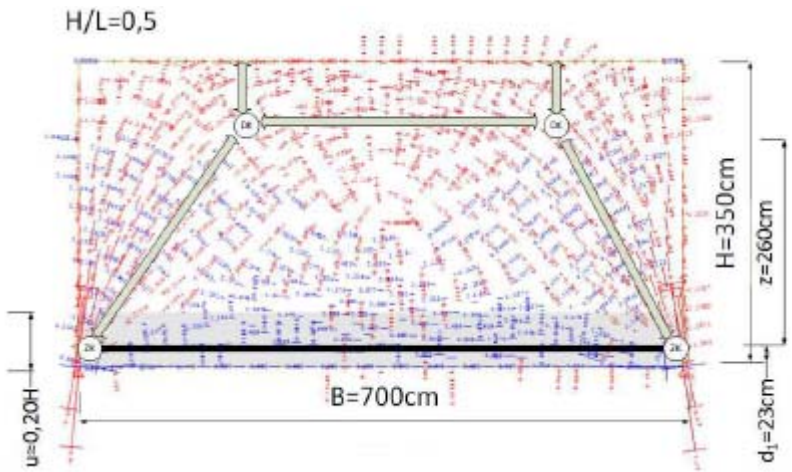
- Spannungsblock mit $\sigma_{c,\ Zustand\ I} \leq f^{f}_{ctd,u}$
- oder Nachweis $w_{k,cal} \leq 0{,}5mm$ im GZT

- Sonst kombinationsbewehrt mit Fasertraganteil $\leq 30\%$

Spaltzug



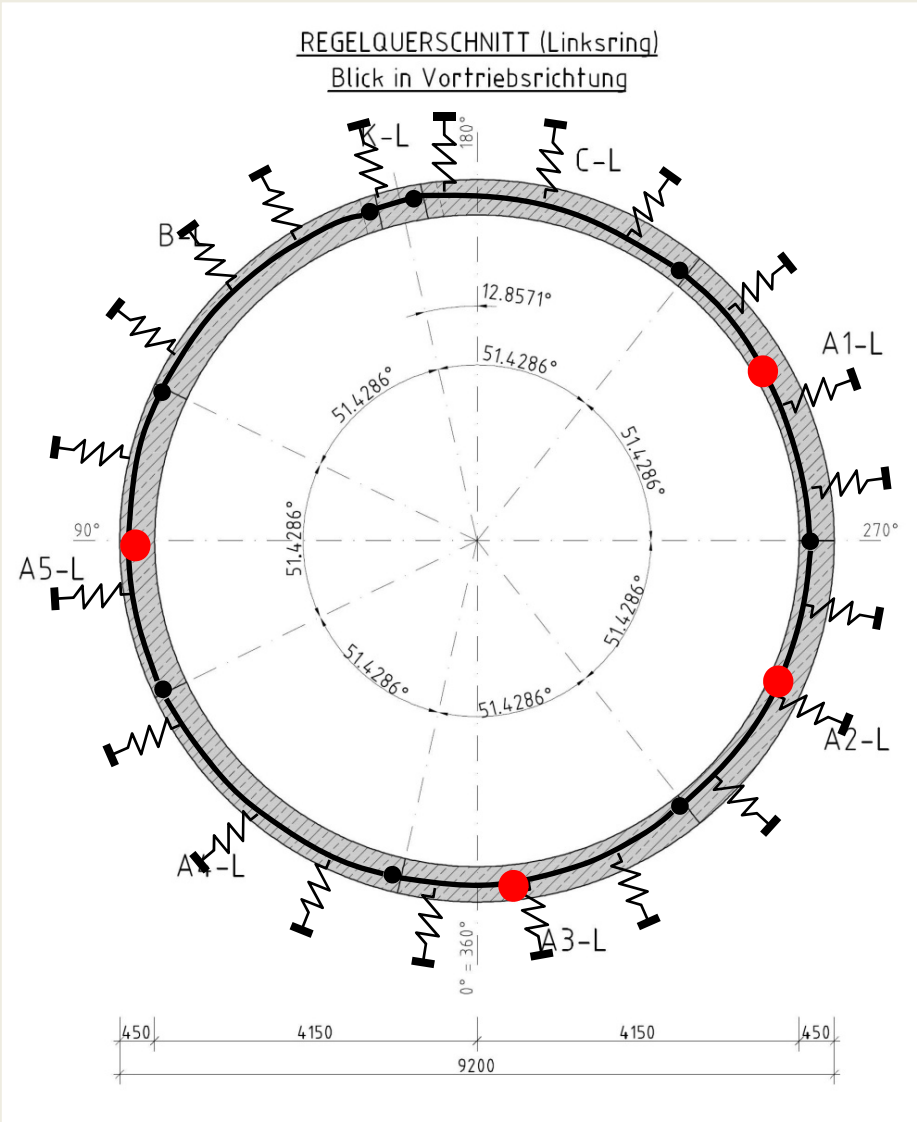
Scheiben

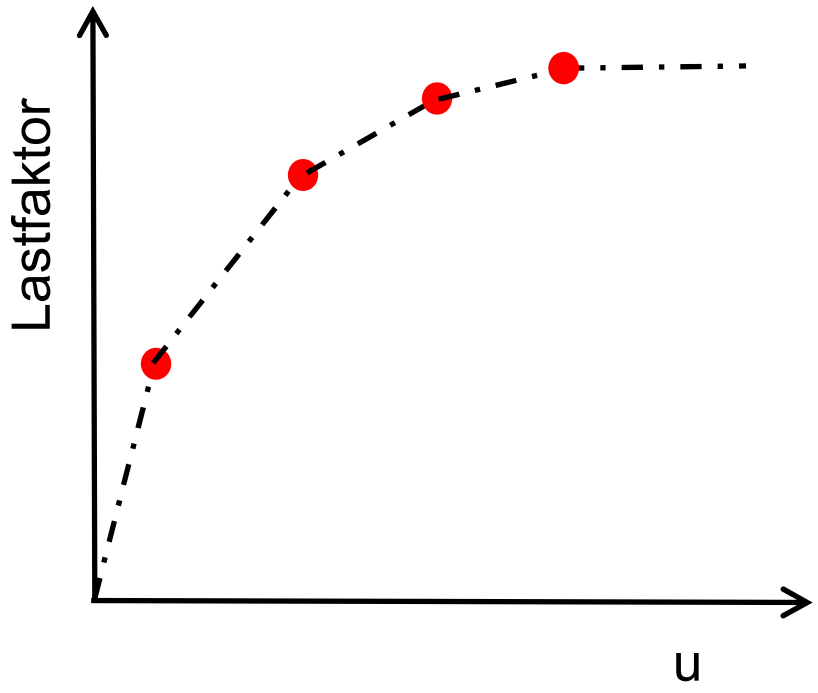


Abschätzung der gezogenen Fläche z.B. mittels FEM (linear-elastisch)

Umlagerungsfähigkeit auf Systemebene

Gebettete Tübbingringe





Duktiles (redundantes) Systemverhalten

Nach: Kemmler, Bilfingerberger, STUVA, 2010

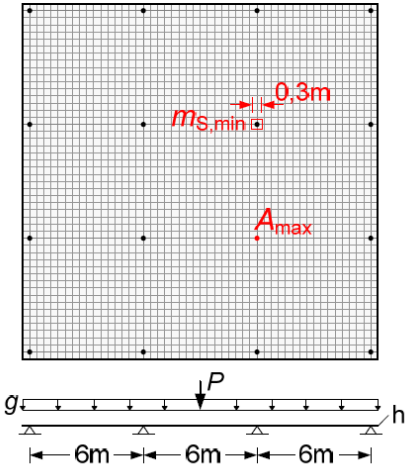
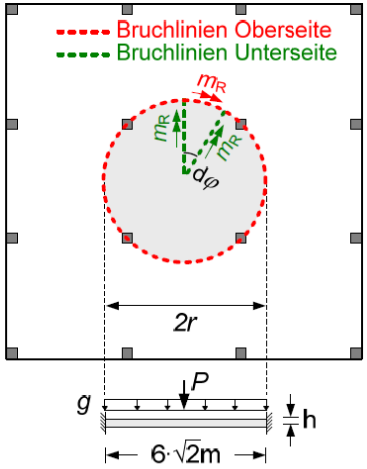
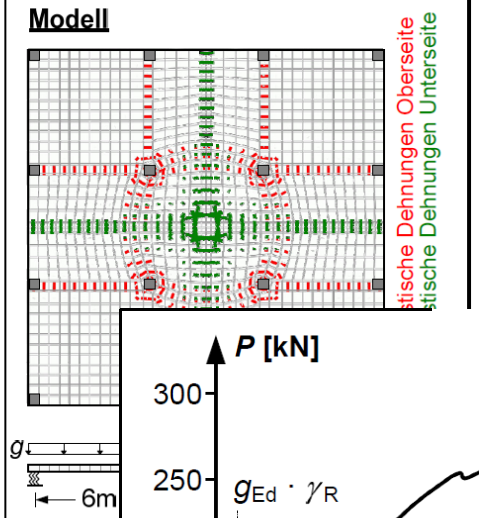
Methoden der Schnittgrößenermittlung

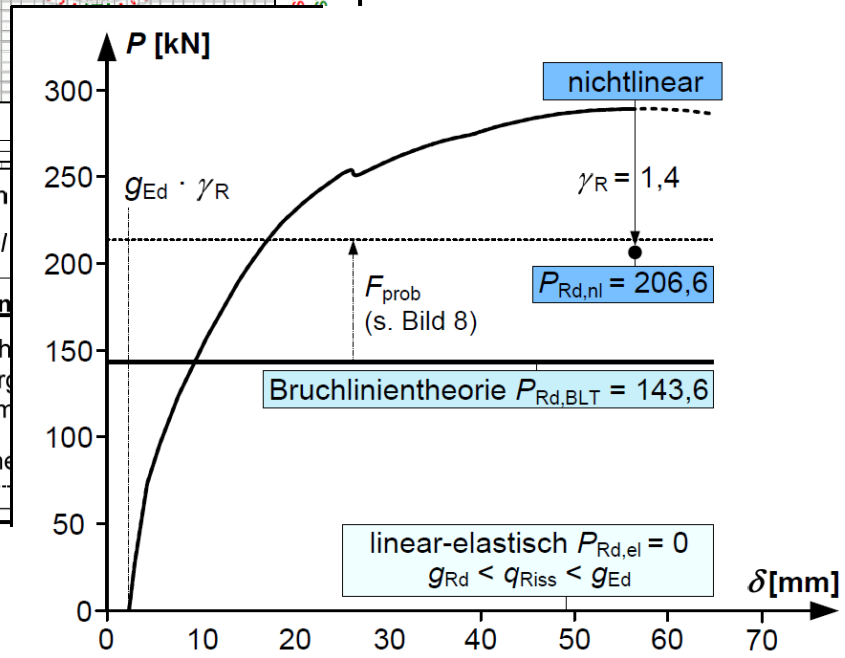
- Berechnung mit linear-elastischen Materialansätzen
- Verfahren der Plastizitätstheorie
- Nichtlineare Berechnungsverfahren

Wenn die **überwiegende Zugtragwirkung** durch **Betonstahl** erzielt wird, sonst

- Elastisch gebettete Bauteile
- Rückverankerte Unterwasserbetonsohlen
- Pfahlgestützte Bodenplatten
- Schalenförmige Bauteile
- Monolithisch hergestellte Fertigteilbehälter

Methoden der Schnittgrößenermittlung

a) linear-elastisch	b) Plastizitätstheorie	c) nichtlinear
linear-elastische FE-Berechnung (ohne BSt)	Berechnung über Bruchlinien-theorie mit Ansatz nach [4]	physikalisch nichtlineare FE-Berechnung nach [6, 7, 18]
Modell  *Material nach Bild 6*	**Modell**  *Material nach Bild 6*	**Modell**  *Material*
Ergebnis $m_{S,min}$ (g = 5 kN/m²) ~ -60 kNm/m $m_{S,min}$ (P = 100 kN) ~ -10 kNm/m $A_{E,max}$ (g = 5 kN/m²) = 218 kN $A_{E,max}$ (P = 100 kN) = 31 kN	**Ergebnis** $m_{R,s} \geq m_E = \frac{P}{4\pi} + \frac{g\,r^2}{12}$ $= 0{,}0796P + 1{,}5g$ Einfluss BSt: $m_{R,s} \approx 1{,}1 \cdot m_R$	**Ergebn** weitgeh Wiederg Verform → siehe
gerissene Fläche $A^f_{ct} = 0 \rightarrow \kappa^f_F = 1{,}0$	gerissene Fläche $A^f_{ct} \geq 1{,}4$ m² —	



[Gödde-11]

Bemessung im GZG – Begrenzung von Rissbreiten

$$A^{f}_{s,min} = f_{ct,eff} \cdot k_c \cdot k \cdot (1-\alpha_f) \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

$$\alpha_f = \frac{f^{f}_{ctR,s}}{f_{ctm}}$$

Mindestbewehrung, Erstrissbildung

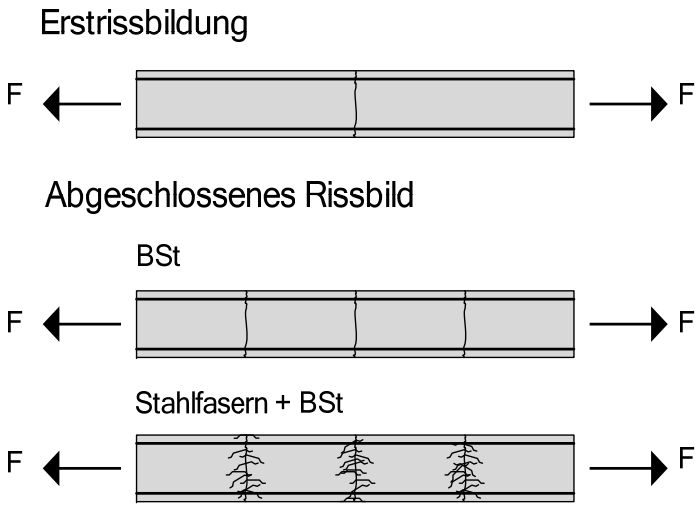
$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon^{f}_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\varepsilon^{f}_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{(1-\alpha_f) \cdot \left(\sigma_s - 0{,}4 \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{1}{\rho_{p,eff}}\right)}{E_s}$$

$$\geq 0{,}6 \cdot (1-\alpha_f) \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$s_{r,max} = (1-\alpha_f) \cdot \frac{\phi_s}{3{,}6 \cdot \rho_{p,eff}}$$

Abgeschlossene Rissbildung



→ Faserwirkung findet quadratisch Berücksichtigung

Teil 2: Ergänzungen + Änderungen zu DIN EN 206-1 + DIN 1045-2

- Stahlfasergehalt
- Anforderungen an (Frisch-) Betone
- Konformitätskontrolle, Produktionskontrolle

Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

- Anhang M: Bestimmung des Stahlfasergehalts
- Anhang N: Erstprüfung von SFB
- Anhang O: Prüfungen zur Ermittlung der Leistungsklasse
- Anhang P: Genauere Bestimmung von β_{L2}
- Anhang Q: Zusätzliche Vorschriften für SFB

Teil 3: Ergänzungen + Änderungen zu DIN EN 13670 + DIN 1045-3

- Betonieren, Verdichten

Hinweise für die Ausführung

- Anhang NA: Überwachung durch das Bauunternehmen
- Anhang NB: Prüfung Frisch- und Festbetoneigenschaften

Schlussfolgerungen

- Bauaufsichtlich eingeführte Richtlinie
- Ergänzung zu EC2-1-1 & NAD, DIN EN 206-1, DIN EN 13670 bzw. DIN 1045-1 bis 3
- Spannungs-Dehnungs-Konzept
- Schnittgrößenermittlung mit plastischen oder nichtlinearen Verfahren
- Bemessungen mit additivem Faseranteil
- Günstig Systeme mit großen gezogenen Flächen, hohem Umlagerungspotential, Dichtigkeitsanforderungen oder Verschleißbeanspruchungen
- Erläuterungen 2014