

Einführung in Entwurf, Bemessung und Konstruktion von glasfaserbewehrten Betonbauteilen

Prof. Dr. Jens Minnert

Fachgebiet Stahlbeton- und Spannbetonbau
Labor für Numerik und Baudiagnostik

Inhalt

1. Einführung
2. Der Werkstoff Schöck ComBAR®
3. Grundlagen der Bemessung
4. Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)
5. Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)
6. Bauliche Durchbildung
7. Hilfsmittel

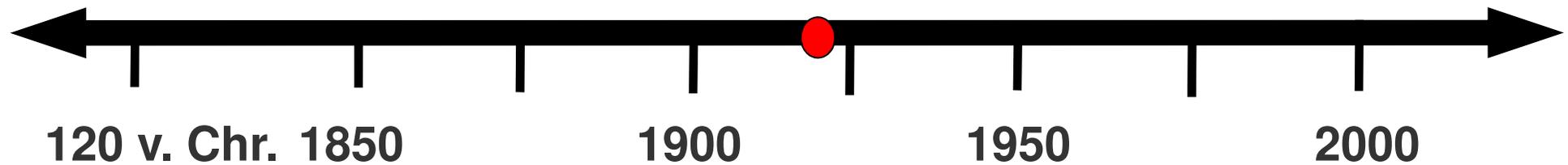
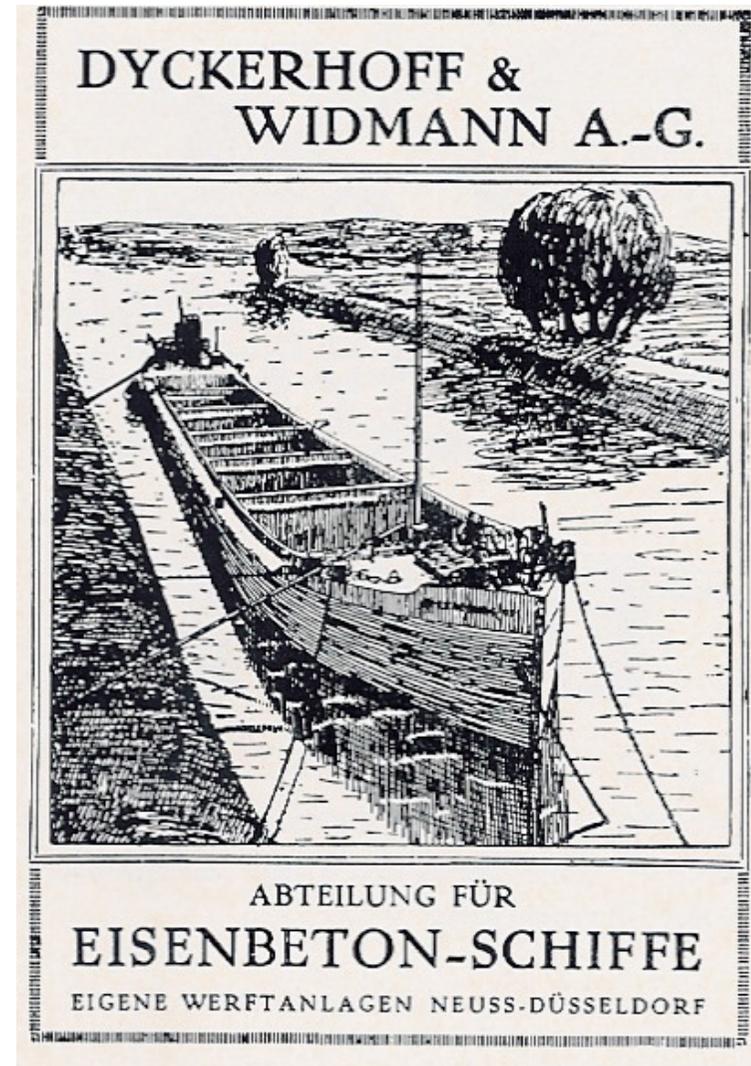
Josef Monier

(1823 – 1906)



Stahlbewehrter
Betonkübel
(um 1850)

Werbung für Eisenbeton- Schiffe! (1921)



Einführung

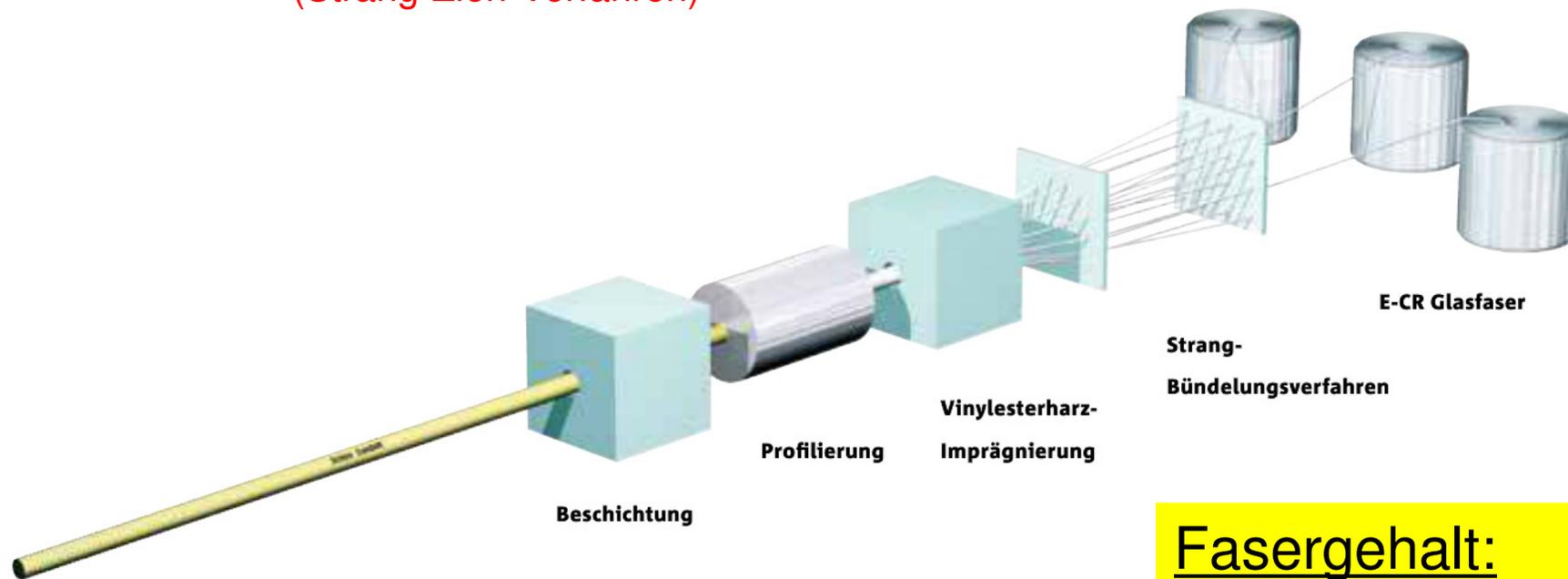
- Schöck ComBAR® (composite rebar) gehört zur Klasse der Faserverbundwerkstoffe.
- Faserverbundwerkstoff = Mischwerkstoff aus allgemein zwei Hauptkomponenten (bettende Matrix sowie verstärkenden Fasern).
- Durch gegenseitige Wechselwirkungen der beiden Komponenten erhält dieser Werkstoff höherwertige Eigenschaften als jede der beiden einzeln beteiligten Komponenten.
- Bekanntes Beispiel = glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) (z. B. Anwendung im Bootsbau).

Historische Entwicklung

- 1935 Erstmalige **industrielle Herstellung** von Endlos-Glasfasern als Verstärkungsfasern in den USA
- 1954 Entwicklung der **Pultrusion** (Strangziehverfahren) in USA und D
- 1957 **FS 24 Phönix** der Akaflieg, Stuttgart, erstes Flugzeug aus GFK
- 1973 **Grundlagenartikel** von Prof. Rehm, TU Braunschweig, über den Einsatz von GFK-Stäben als **Bewehrung** in Beton
- 1986 **Erstes Patent** für einen GFK-Bewehrungsstab in den USA
- 1995 **Beginn Eigenentwicklung** Glasfaserbewehrung bei Firma Schöck
- 1997 **Erste Pilotprojekte** mit einem stahlfreien Isokorb
- 2004 **Antrag auf eine Zulassung** für Glasfaserbewehrung in Deutschland
- 2008 Erteilung der **ersten Zulassung** für Glasfaserbewehrung in dauerhaften Anwendungen

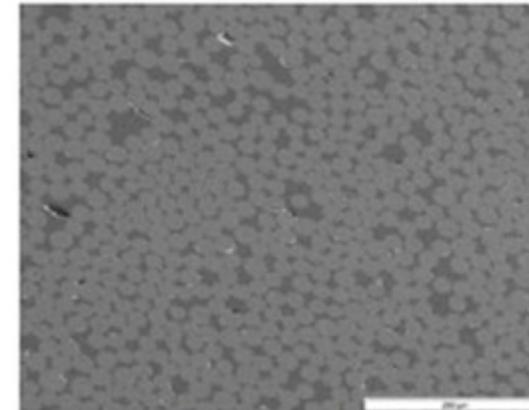
Herstellung der Glasfaserbewehrung

Pultrusionsverfahren (Strang-Zieh-Verfahren)

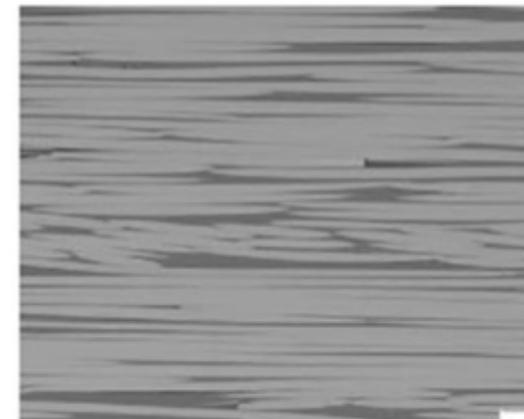


Fasergehalt:
75 % Volumen
88 % Gewicht

Schöck ComBAR®



Querschliff



Längsschliff

Ø Glasfaser: ca. 20 µm
(etwa halb so dick wie ein Haar)

MATERIALEIGENSCHAFTEN Schöck ComBAR®

- leicht zerspanbar



- Korrosionsresistent



- elektro magnetisch
nicht leitend



- dauerhaft hoch-fest



Material Eigenschaften und Anwendungsbereiche

Hohe Korrosionsbeständigkeit

→ offene Parkhäuser, Tiefgaragen, Brückendecks etc.

Hohe Chemikalienbeständigkeit

→ Industriebodenplatten, Industriebehälter, Kläranlagen, etc.



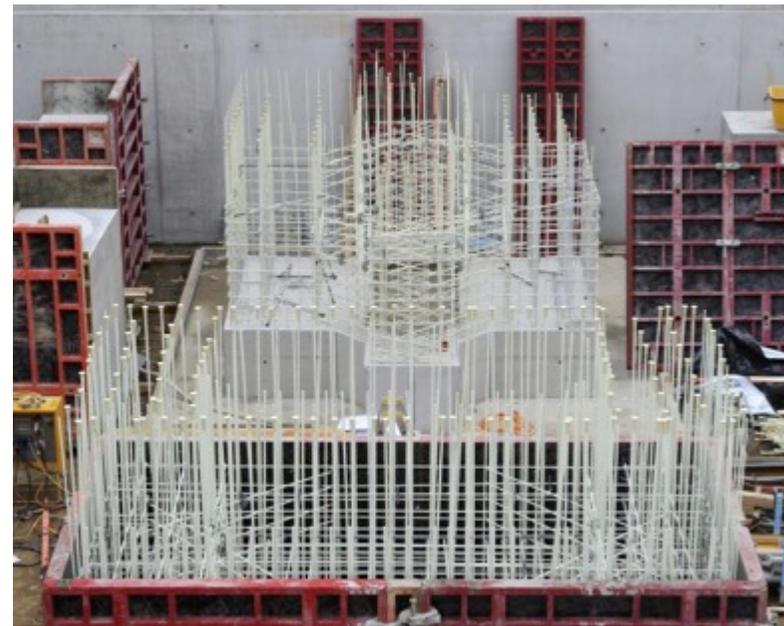
Material Eigenschaften und Anwendungsbereiche

Keine elektrische Leitfähigkeit

→ Fundamente von Drosselspulen, **Feste Fahrbahn** (Signalanlagen), etc.

Kein Magnetismus

→ **Fundamente** und Bodenplatten **unter empfindlichen Messgeräten**, etc.



Material Eigenschaften und Anwendungsbereiche

Leichte Zerspanbarkeit

→ Schachtwände im Tunnelbau, Schalungsanker, etc.

Geringe Wärmeleitfähigkeit

→ Schöck Thermoanker, Fassadenanker, etc.



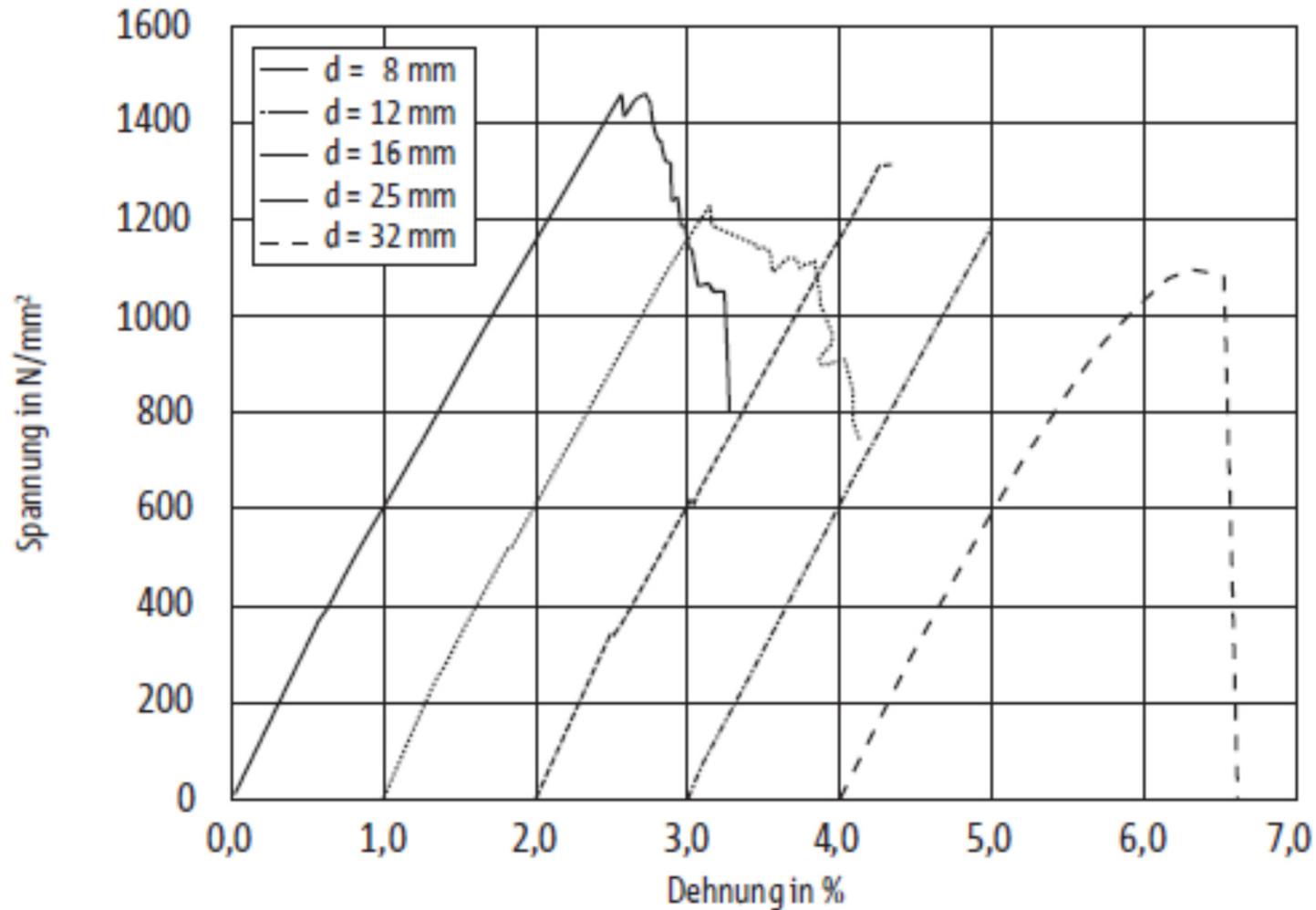
Wesentliche Unterschiede zur Bemessung von Betonstahl

- E-Modul gerader ComBAR[®]-Stäbe beträgt 60.000 N/mm².
- ComBAR[®] verhält sich bis zum Bruch bei weit über 1.000 N/mm² linear elastisch (Fließen wird nicht beobachtet).
- Gerissene Querschnitte weisen daher kein Lastplateau auf. Bei Rahmen und Bauwerken bilden sich keine plastischen Gelenke aus.
- Eine Momentenumlagerung findet nur in sehr begrenztem Maße statt und kann daher in der Bemessung nicht angesetzt werden.
- Besonderes Augenmerk ist auf die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Rissbreite, Durchbiegung) notwendig.
- Der **Teilsicherheitsbeiwert** für ComBAR[®] ist $\gamma_f = 1,3$
- Da ComBAR[®]-Stäbe nicht rosten gilt für alle Expositionsklassen die **Betondeckung** die erforderlich ist, um die Lasten aus dem Stab in den umliegenden Beton zu übertragen.

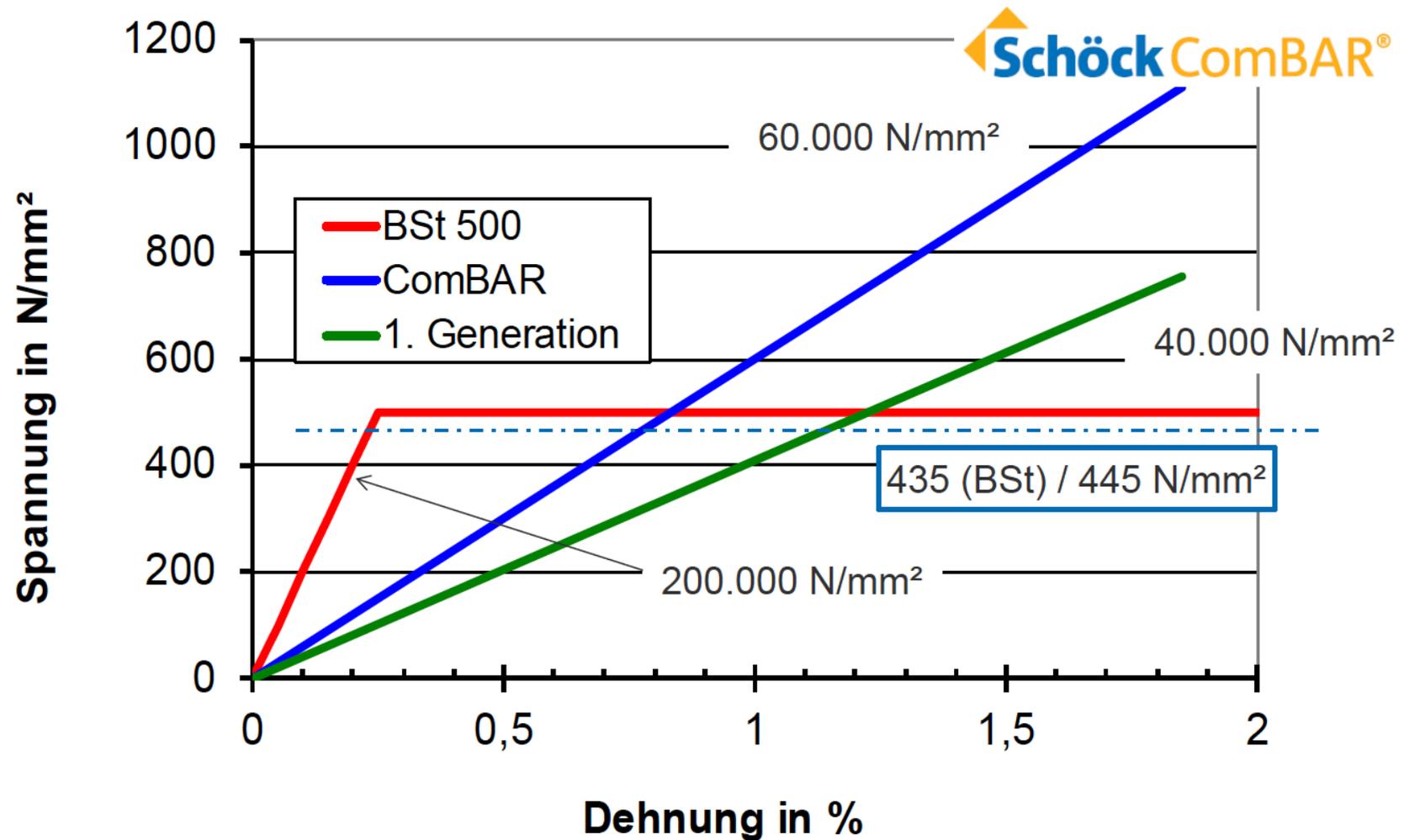
Wesentliche Unterschiede zur Bemessung von Betonstahl

- Da die Bewehrungsstäbe aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) einen relativ geringen E-Moduls aufweisen, dürfen sie **nicht als Druckbewehrung** in der Bemessung angesetzt werden.
- Die AbZ deckt **Bewehrungsstöße** derzeit nicht ab.
- Wegen des geringen E-Moduls von ComBAR[®] ist die **Tragfähigkeit** $V_{Rd,c}$ bei ComBAR[®] bewehrter Bauteile (Längsbewehrung aus ComBAR[®]) ohne Querkraftbewehrung geringer als bei Bauteilen mit Biegezugbewehrung aus Betonstahl.
- Die AbZ ComBAR[®] deckt den Einsatz von ComBAR[®]-Stäben als Querkraftbewehrung noch nicht ab.

Spannungs-Dehnungslinie je Durchmesser



Spannungs-Dehnungs-Linien



Zugfestigkeit

Kurzzeitfestigkeit

$$f_f > 1000 \text{ N/mm}^2$$



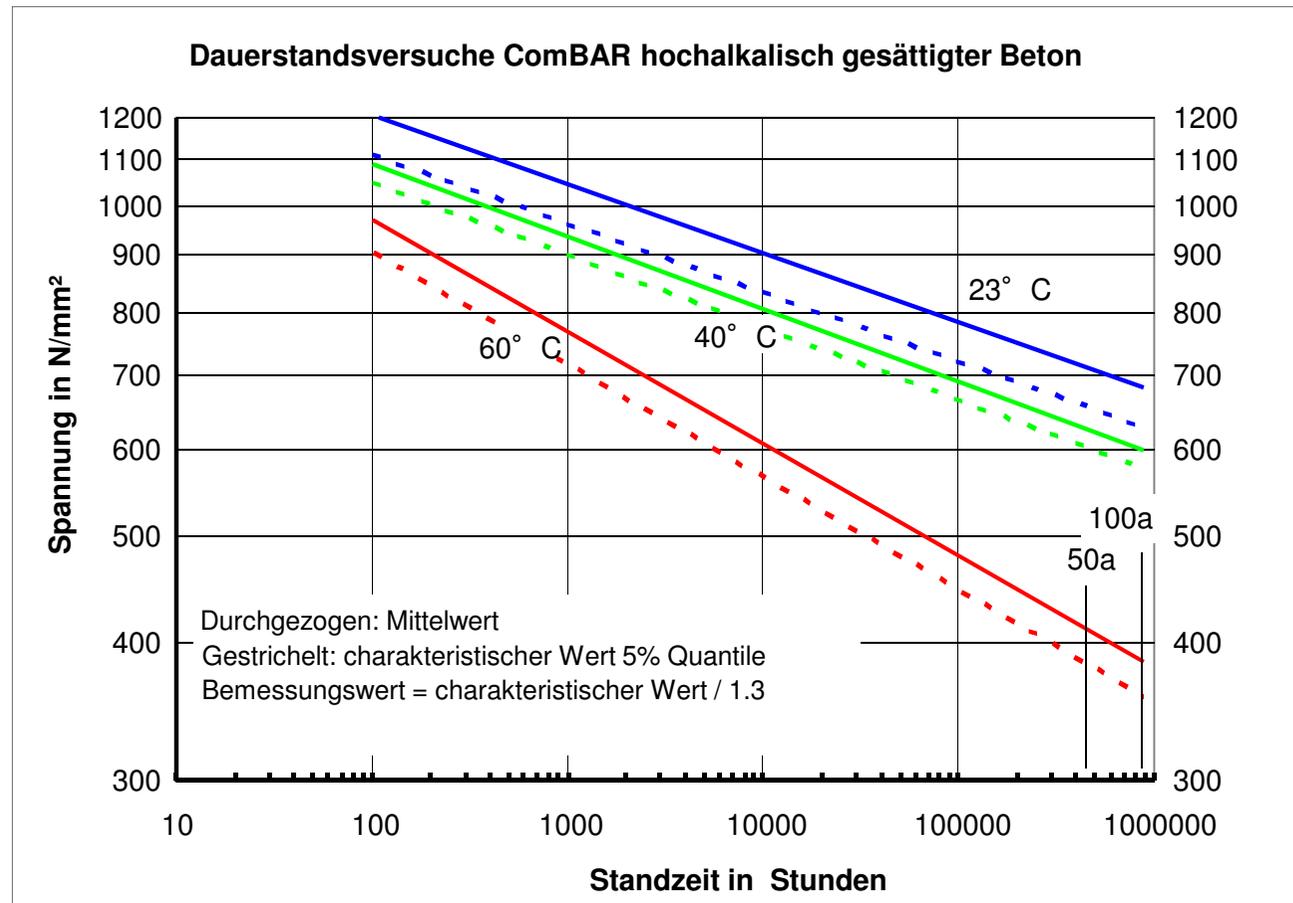
Langzeitfestigkeit

$$f_{fk} = 580 \text{ N/mm}^2$$



Der charakteristische Wert der Dauerzugfestigkeit wird für Außenbauteile in mitteleuropäischem Klima für eine Lebensdauer von 100 Jahren bestimmt.

Zugfestigkeit



Vergleich der Materialeigenschaften

Eigenschaft*	Betonstahl BSt 500 S	gerippter Edelstahl BSt 500 NR	Schöck ComBAR®
char. Wert der Zugfestigkeit f_{tk} (N/mm ²)	550	550	> 1000 (siehe Seite 11)
char. Wert der Streckgrenze f_{yk} (N/mm ²)	500	500	kein Fließen 
Bemessungswert der Streckgrenze f_{yd} (N/mm ²)	435	435	445 (siehe Seite 12)
Dehnung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	2,18 ‰	2,72 ‰	7,4 ‰ 
Biegezug-Modul (N/mm ²)	200.000	160.000	60.000 
Bemessungswert der Verbundspannung f_{bd}	C20/25 (N/mm ²)	2,3	2,03
	C30/37 (N/mm ²)	3,0	2,33
Betondeckung min c_v	nach EC 2	$d_s + 10$ mm 	$d_s + 10$ mm
Dichte γ (g/cm ³)	7,85	7,85	2,2 
Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	60	15	0,7 (axial)/ 0,5 (radial)
Therm. Längenausdehnungskoeff. α (1/K)	$0,8 - 1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 - 1,6 \cdot 10^{-5}$	$0,6 \cdot 10^{-5}$ (axial)/ $2,2 \cdot 10^{-5}$ (radial)
Magnetismus	ja	sehr gering	nein

*Alle Bezeichnungen gemäß EC 2

Beispiel: Verhalten einer Betonplatte

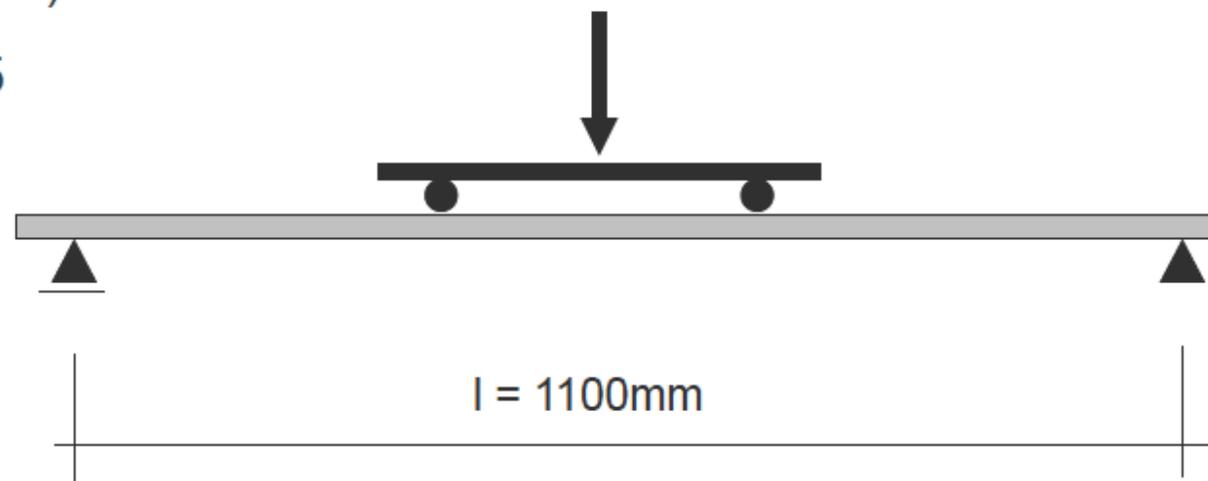
Betonplatte

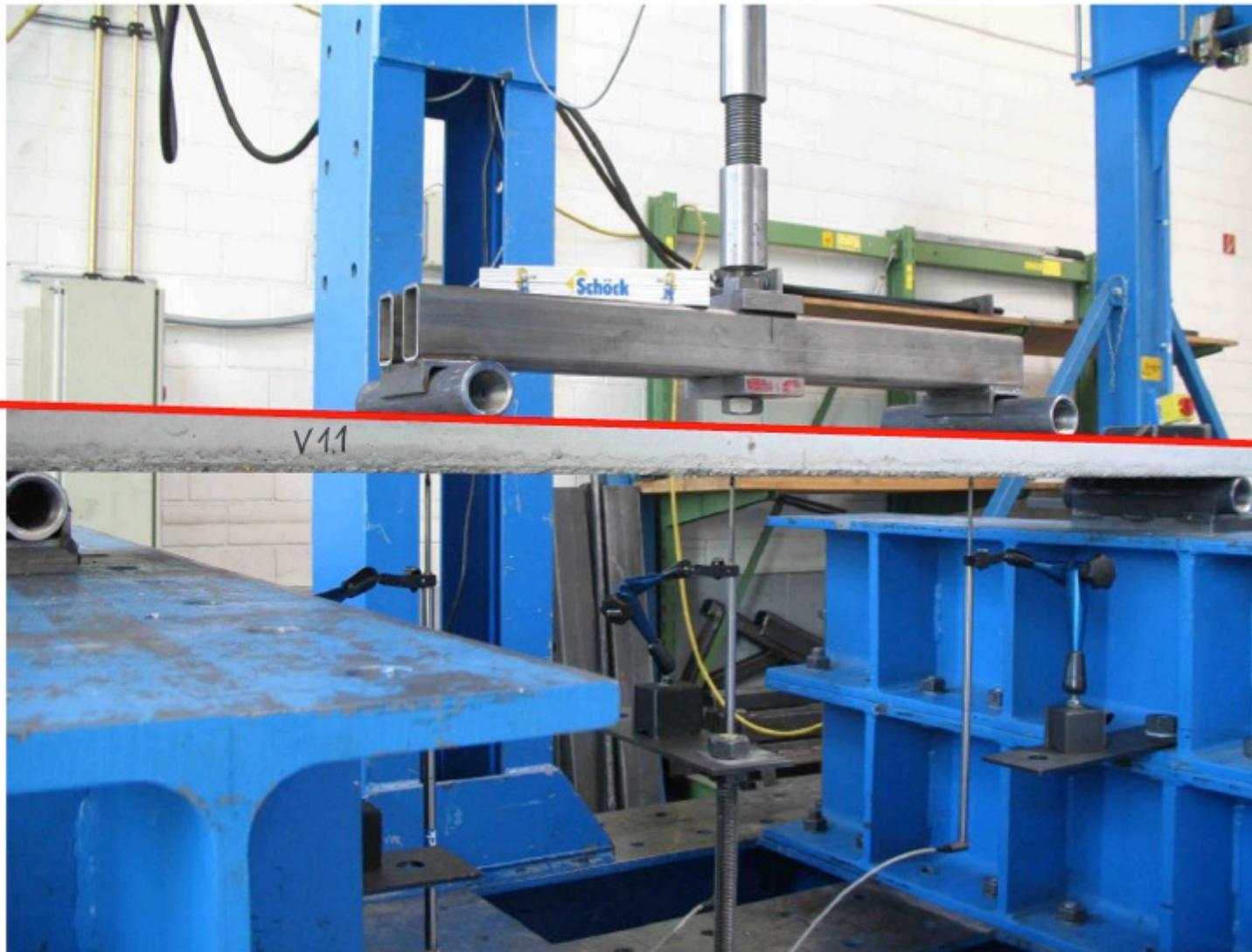
$h = 45\text{mm}$

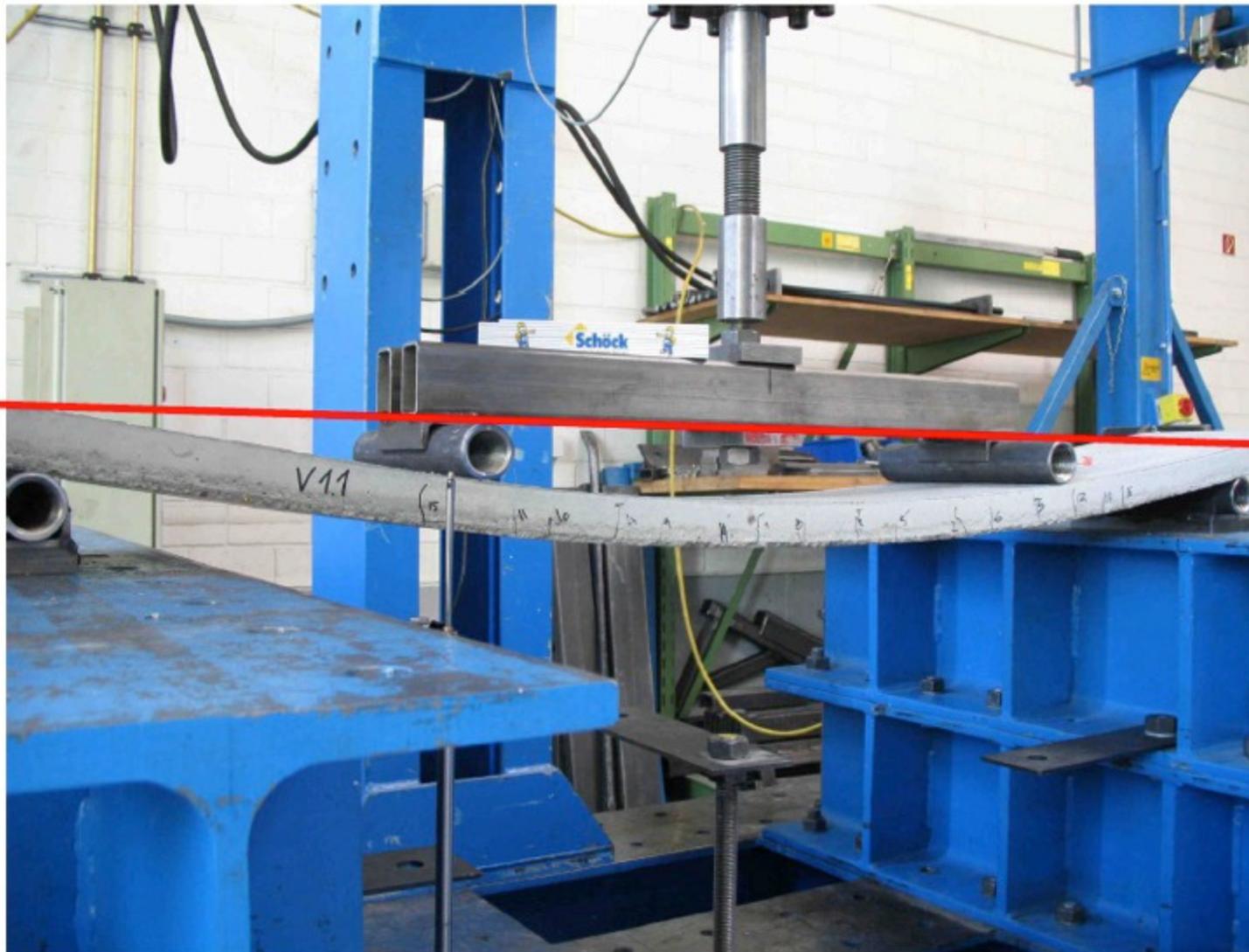
$b = 280\text{mm}$

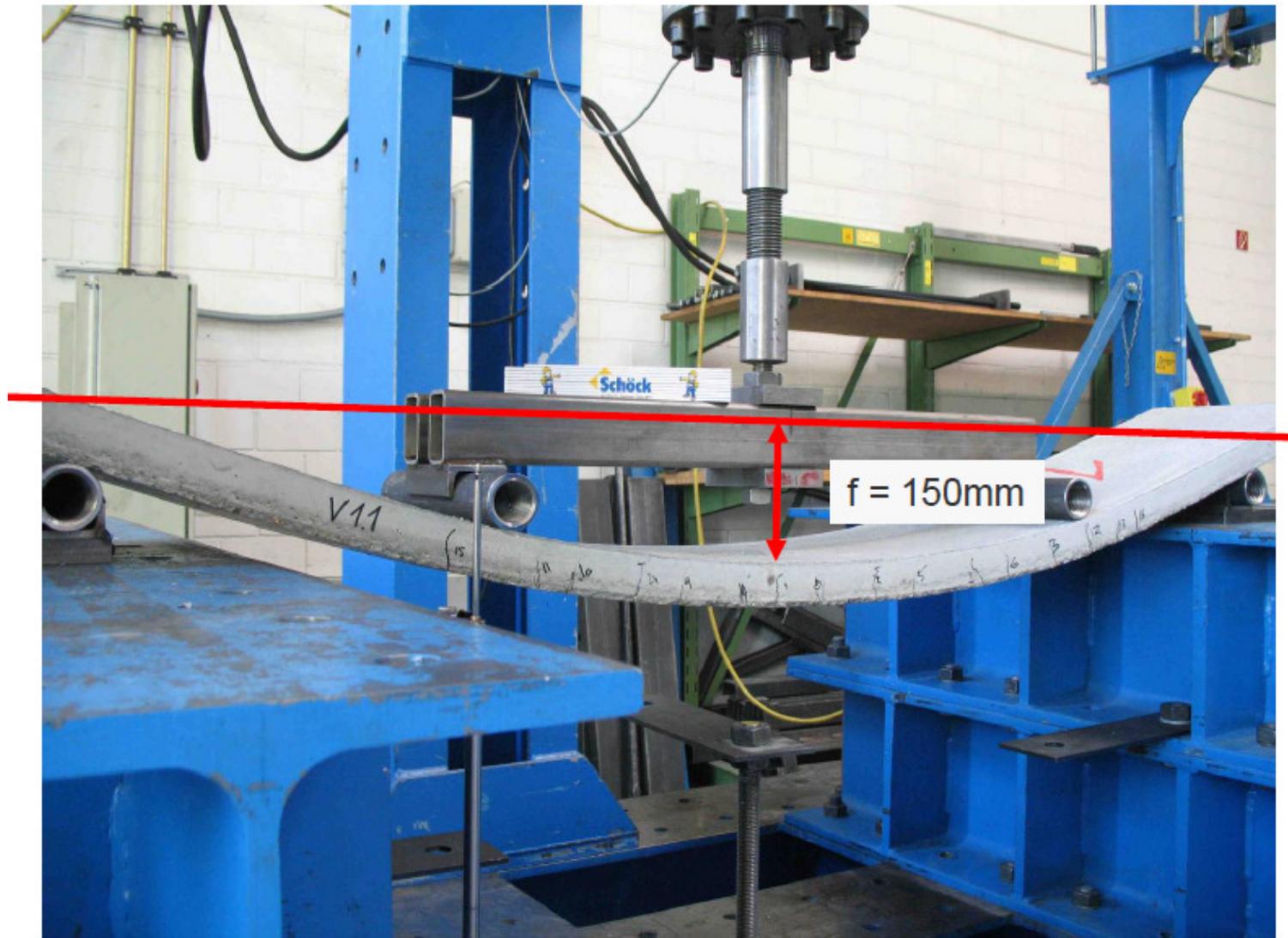
2 ComBAR $\varnothing 8$
($\rho = 0,8\%$)

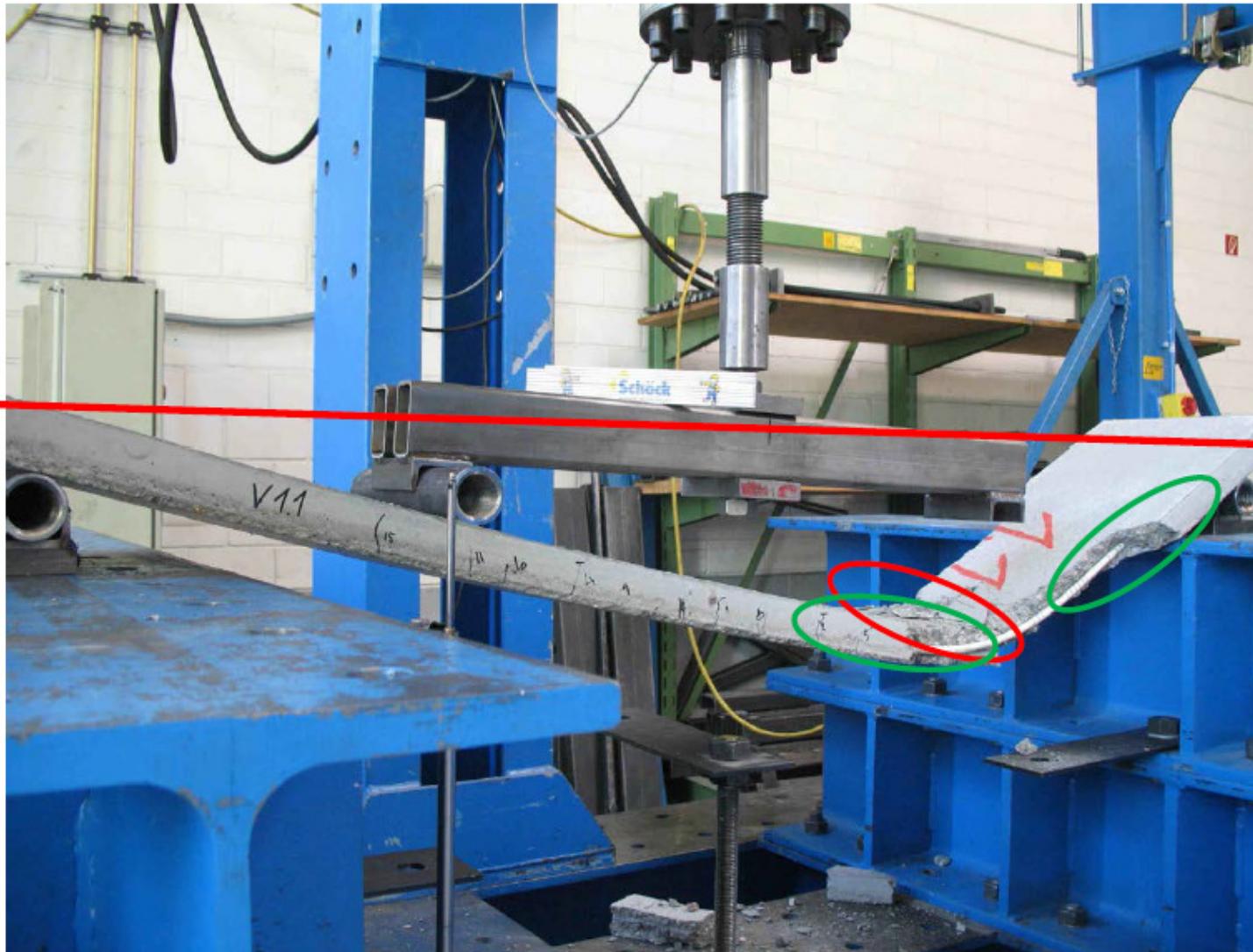
C 45/55



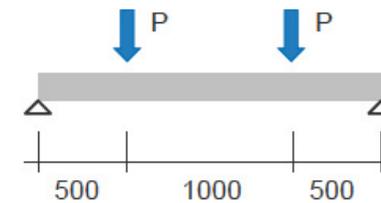




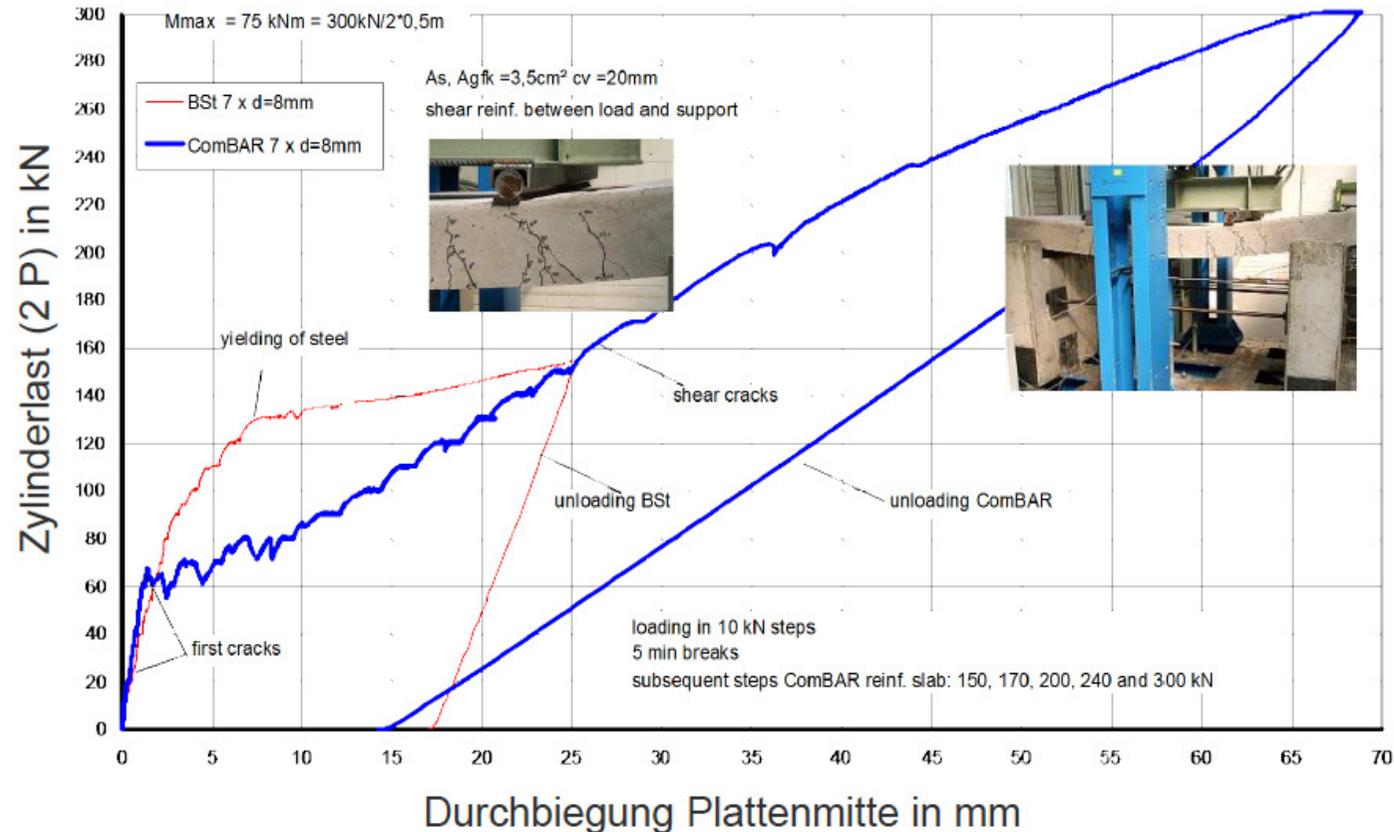




Beispiel: Verhalten einer Betonplatte

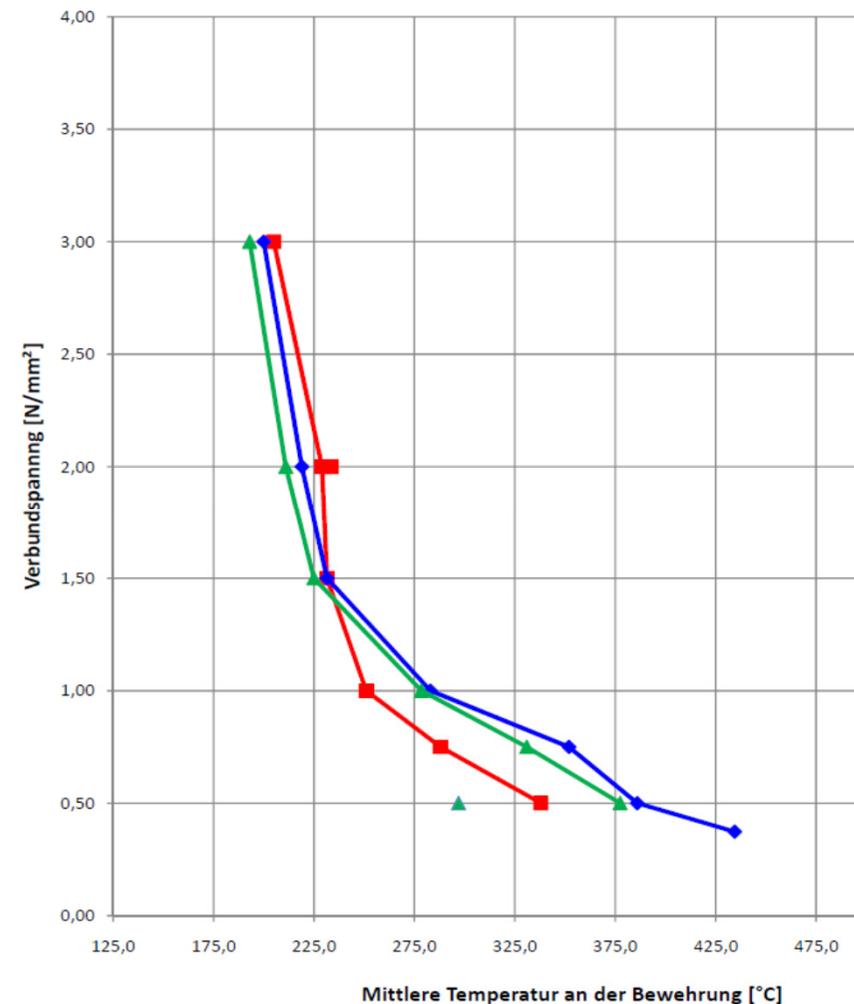


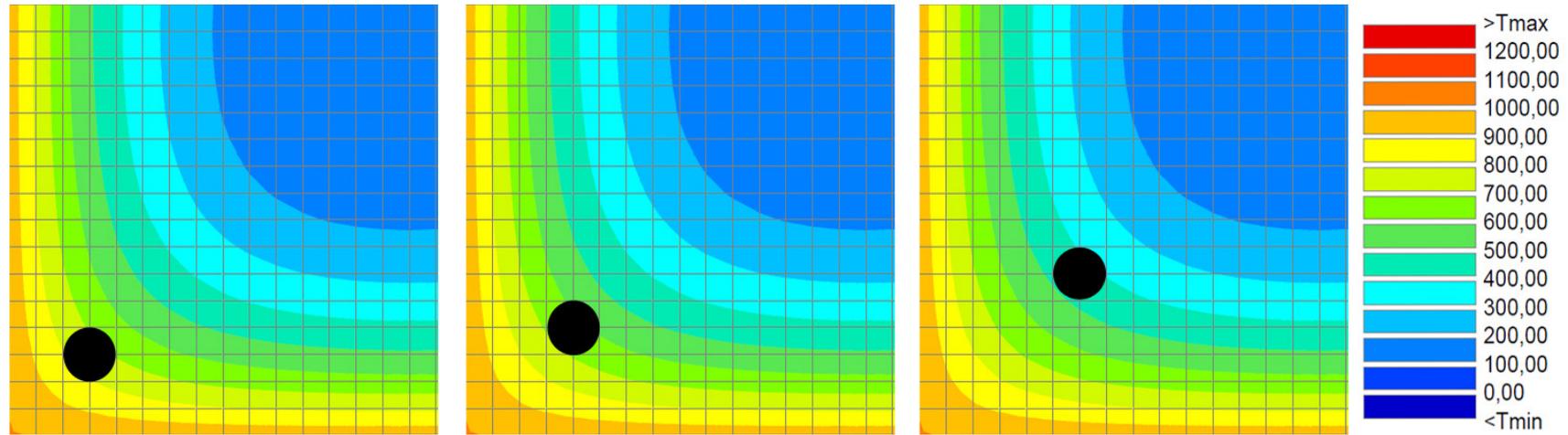
4-Punkt Biegeversuch: $h = 200\text{mm}$, C25/30



Brandverhalten

- Das Brandverhalten von Faser-verbundwerkstoffen wird durch das Verhalten der **Fasern** und durch das Verhalten des **Harzes** bestimmt.
- Der Verbund des Stabs mit dem Beton wird durch die Harzmatrix gewährleistet.
- Bei ansteigender Temperatur wird das Harz weicher und die Stäbe verlieren dabei ihre Verbundfestigkeit.





Verbundspannung f_{fb} [N/mm ²]	Grenztemperatur t [°C]
3,0	192
2,5	202
2,0	211
1,5	225
1,0	238
0,5	336

Grenztemperatur

Brandschutzklasse	Betondeckung c [mm]
R30	30
R60	50
R90	65
R120	85

Brandschutzklassen
nach Normbrandkurve

Grundlagen der Bemessung

Schnittgrößenermittlung

- Einwirkungen wie bei Stahlbeton (EC 0, EC 2)
- ComBAR verhält sich bis zum Bruch ($>> 1.000 \text{ N/mm}^2$)
linear elastisch, kein Fließen, d. h.
 - Plastizitätstheorie gilt nicht
 - Umlagerung der Momente nur in sehr begrenztem Maße,
bei Bemessung vernachlässigen
 - Nichtlineare Materialeigenschaften nicht bei Bemessung
ansetzen, nur bei Analyse und Nachweis der Durchbiegung

Grundlagen der Bemessung

Nachweisformat

- nach EC 2

$$E_d \leq R_d$$

Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

$$E_d \leq C_d$$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG)

2.5 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M zur Bestimmung des Tragwiderstands

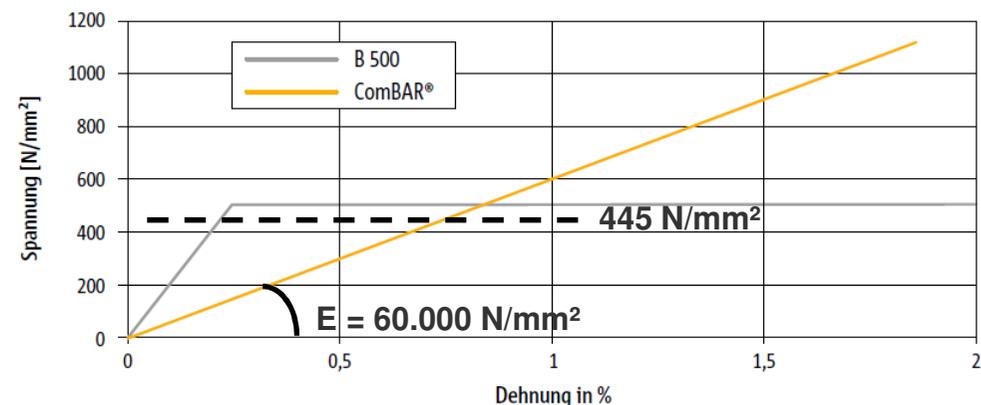
Bemessungssituation	γ_c Beton	γ_f ComBAR®
ständige und vorübergehende Bemessungssituation	1,5	1,3
außergewöhnliche Bemessungssituation	1,3	1,1

Grundlagen der Bemessung

Wichtige Werkstoffkennwerte

- Beton: gemäß EC 2
- ComBAR®

Vergleich Schöck ComBAR® und B 500 Spannungs-Dehnungslinie für die Bemessung



2.7 Wichtige Werkstoffkennwerte von ComBAR® [DIBt AbZ Z-1.6-238] für Betone $\geq \text{C20/25}$

		statisch bestimmte Systeme	statisch unbestimmte Systeme
Charakteristische Dauerzugfestigkeit	f_{fk}	580 N/mm ²	480 N/mm ²
Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit [mit $\gamma_f = 1,3$]	f_{fd}	445 N/mm ²	370 N/mm ²
Elastizitätsmodul	E_f	60.000 N/mm ²	60.000 N/mm ²
Bemessungsdehnung	ϵ_{fd}	7,4 ‰	6,1 ‰

Der Anpassungsfaktor zwischen statisch bestimmten und statisch unbestimmten Systemen ist mit $\eta_{rot} \approx 0,83$ definiert.

Grundlagen der Bemessung

Weitere wichtige Werkstoffkennwerte (abweichend von der AbZ)

Wichtige Werkstoffkennwerte von gebogenen ComBAR-Stäben (abweichend von der AbZ) für Betone \geq C20/25 bei Verwendung als Querkraftbewehrung (Bügel).

		Langzeit (100 Jahre Standzeit)	Kurzzeit (\leq 5 Jahre Standzeit)
Char. Wert der Dauerzugfestigkeit	f_{tk}	208 N/mm ²	260 N/mm ²
Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit [mit $\gamma_f = 1,3$]	f_{td}	160 N/mm ²	200 N/mm ²
E-Modul	E_f	50.000 N/mm ²	50.000 N/mm ²
Bemessungsdehnung	ϵ_{fd}	3,2 ‰	4,0 ‰

Grundlagen der Bemessung

Weitere wichtige Werkstoffkennwerte (abweichend von der AbZ)

Wichtige Werkstoffkennwerte von gebogenen ComBAR-Stäben (abweichend von der AbZ) für Betone \geq C20/25 bei Verwendung als Biegezugbewehrung und 100 Jahren Standzeit in statisch bestimmten Systemen.

Char. Wert der Dauerzugfestigkeit	f_{rk}	250 N/mm ²
Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit [mit $\gamma_f = 1,3$]	f_{rd}	192 N/mm ²
E-Modul	E_f	50.000 N/mm ²

Wichtige Werkstoffkennwerte von gebogenen ComBAR-Stäben (abweichend von der AbZ) für Betone \geq C20/25 bei Verwendung als Biegezugbewehrung und 100 Jahren Standzeit in statisch unbestimmten Systemen.

Char. Wert der Dauerzugfestigkeit	f_{rk}	208 N/mm ²
Bemessungswert der Dauerzugfestigkeit [mit $\gamma_f = 1,3$]	f_{rd}	160 N/mm ²
E-Modul	E_f	50.000 N/mm ²

Grundlagen der Bemessung

Dauerhaftigkeit und Betondeckung

Expositionsklasse

- Beton: gemäß EC 2
- ComBAR[®]: für alle Expositionsklassen gilt
mit $\Delta c = 10$ mm Ortbeton
(bei Fertigteilen $\Delta c = 5$ mm)

$$c_{\text{nom}} = d_f + \Delta c$$

Nennmaß der Betondeckung c_{nom} [mm] für ComBAR [®] Stäbe						
Ø	8	12	16	20	25	32
Ortbeton	18	22	26	30	35	42
Fertigteil	13	17	21	25	30	37
Mindestbetondeckung bei Brandschutzanforderung						
R30	30 mm für alle Durchmesser					
R60	50 mm für alle Durchmesser					
R90	65 mm für alle Durchmesser					
R120	85 mm für alle Durchmesser					

Grundlagen der Biegebemessung

Spannungs-Dehnungslinie für die Querschnittsbemessung

- C 12/15 bis C 50/60
Dehnungsbegrenzung und Teilsicherheitsbeiwerte gemäß EC 2

- ComBAR[®]:

$$E_f = 60.000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{fd} = f_{fk} / \gamma_f = 580 / 1,3 = 445 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{stat. best. Systeme})$$

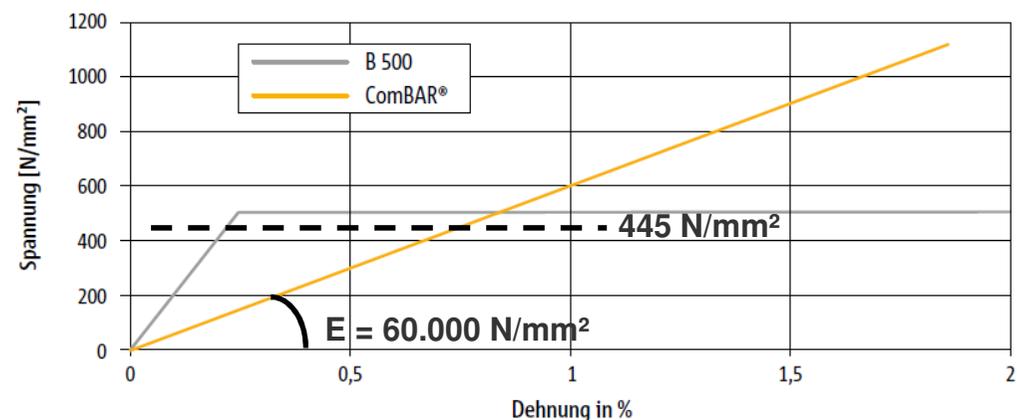
$$f_{fd,unbest} = \eta_{rot} \cdot f_{fk} / \gamma_f = 0,83 \cdot 580 / 1,3 = 370 \text{ N/mm}^2$$

(stat. unbest. Systeme)

$$\varepsilon_{fd(\text{bestimmt})} = 7,4 \text{ ‰} \quad (\text{stat. best. Systeme})$$

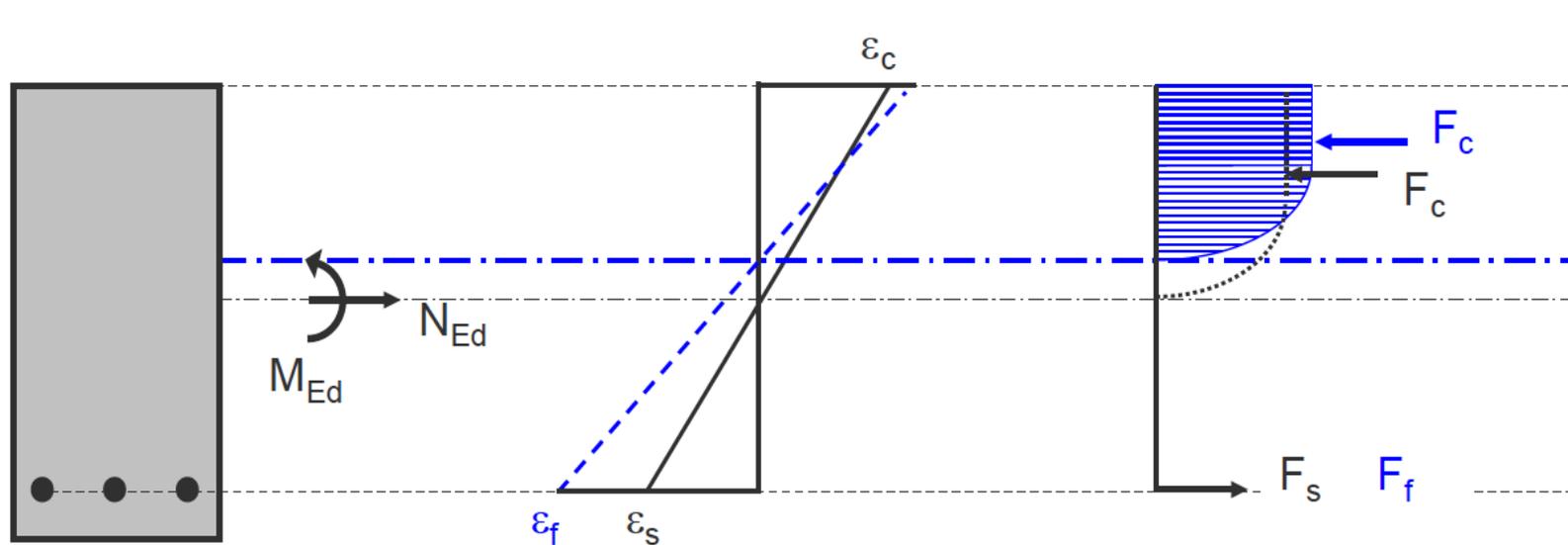
$$\varepsilon_{fd(\text{unbestimmt})} = 6,1 \text{ ‰} \quad (\text{stat. unbest. Systeme})$$

Vergleich Schöck ComBAR[®] und B 500 Spannungs-Dehnungslinie für die Bemessung



Bemessung für Biegung mit Normalkraft

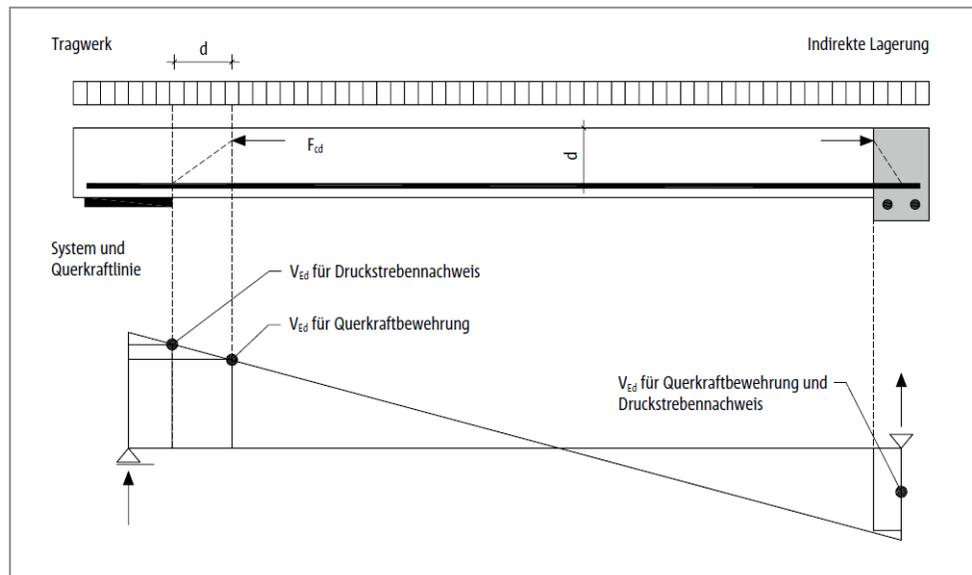
- Bemessung durch Iteration der Dehnungsebene
- Einschnürung der Betondruckzone



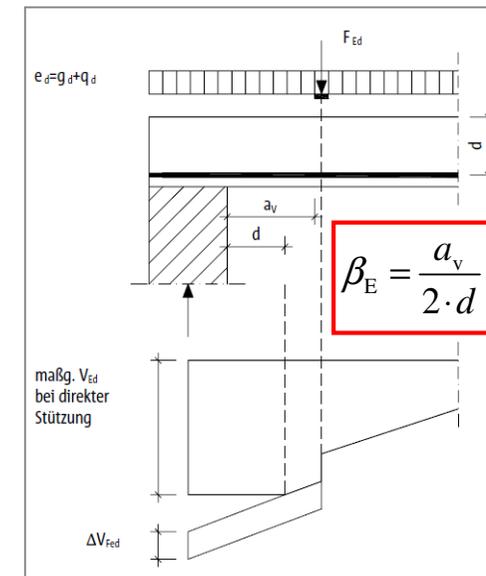
schwarz: Betonstahl
 blau: Glasfaser

Grundlagen der Querkraftbemessung

Maßgebende Querkraft



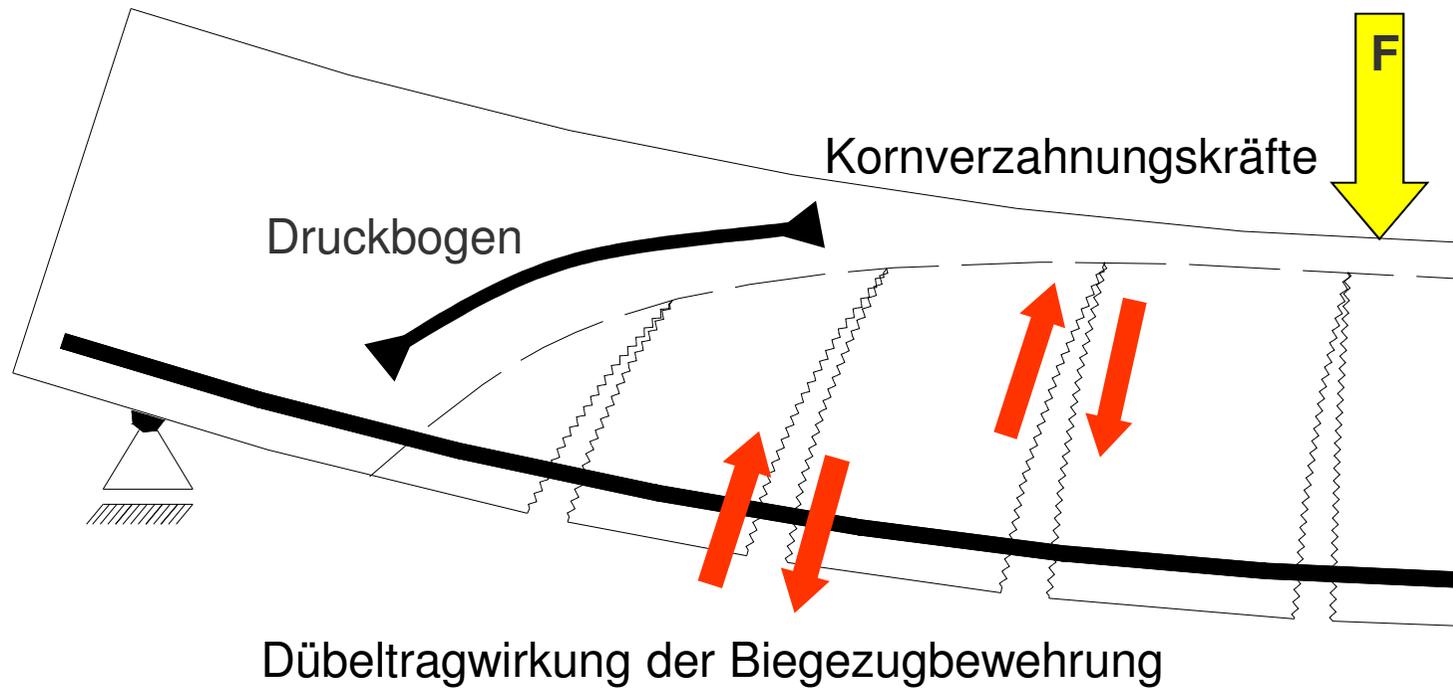
Bei gleichmäßig verteilter Last und direkter Auflagerung darf für die Bemessung der Querkraftbewehrung der Bemessungswert V_{Ed} im Abstand d vom Auflagerrand ermittelt werden. Bei indirekter Lagerung ist die Querkraft in der Auflagerachse maßgebend.

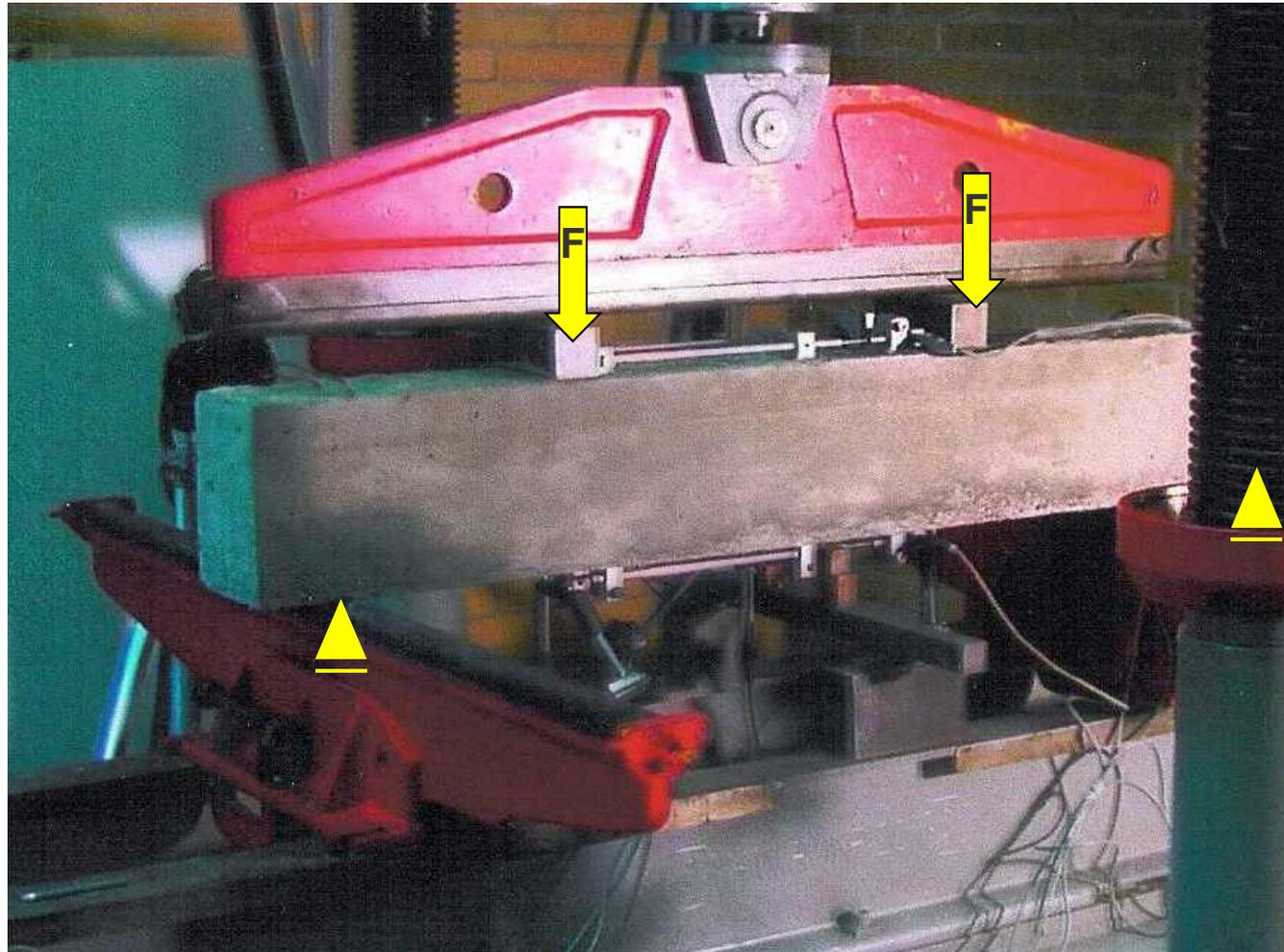


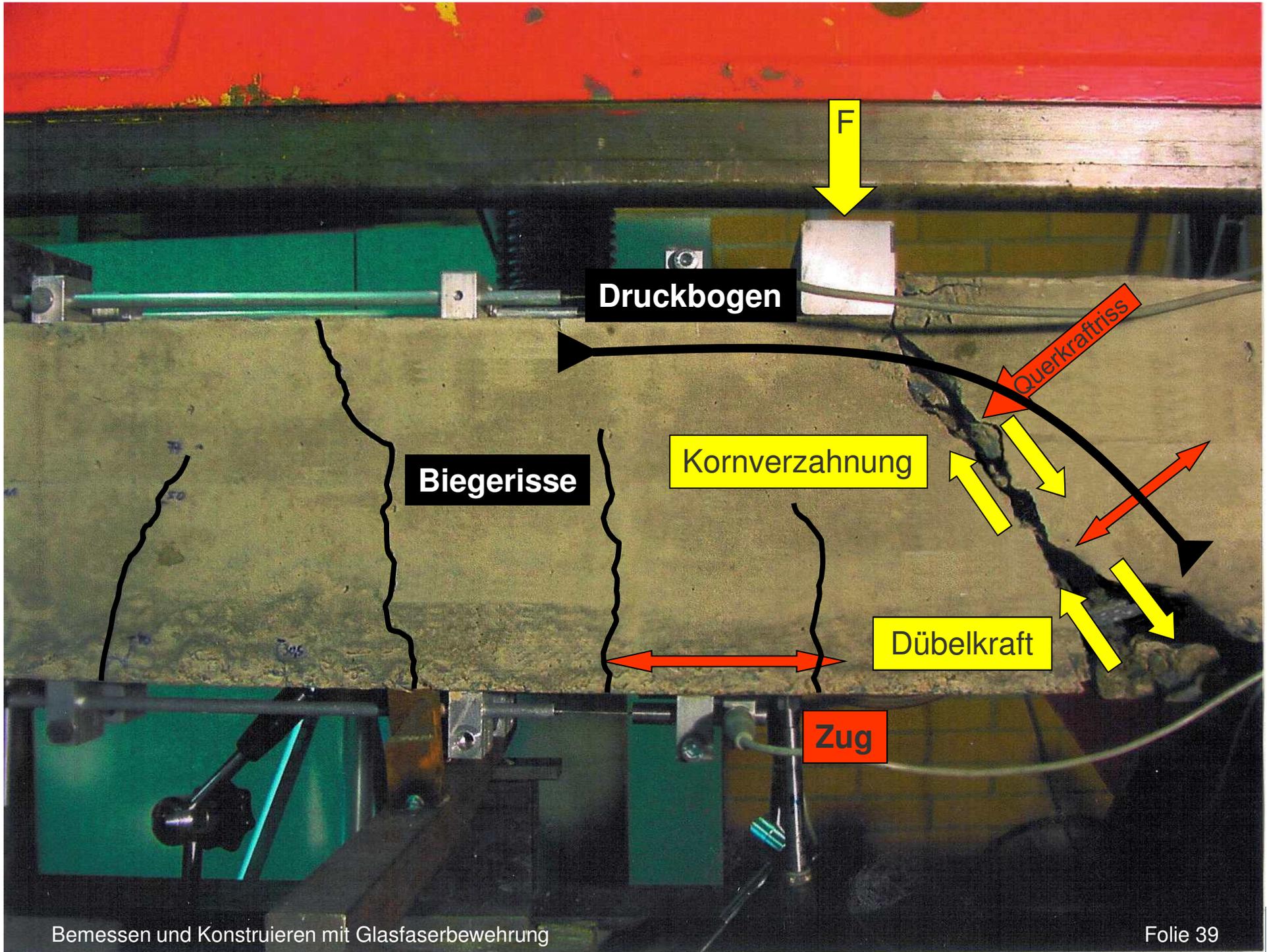
Bei auflagnahen Einzellasten im Bereich $0,5d \leq a_v < 2d$ vom Auflagerrand darf bei direkter Auflagerung der Querkraftanteil aus der Einzellast für die Bemessung der Querkraftbewehrung mit dem Beiwert β_E abgemindert werden.

Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

Traganteile







Querkraftbemessung

Nachweis für Bauteile ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung

- Nachweiskonzept nach AbZ

$$\beta_E \cdot V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{0,138}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{E_f}{E_s} \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d$$

mit: κ und ρ_1 gemäß EC2

- Nachweiskonzept nach Hegger/Kurth (keine AbZ)

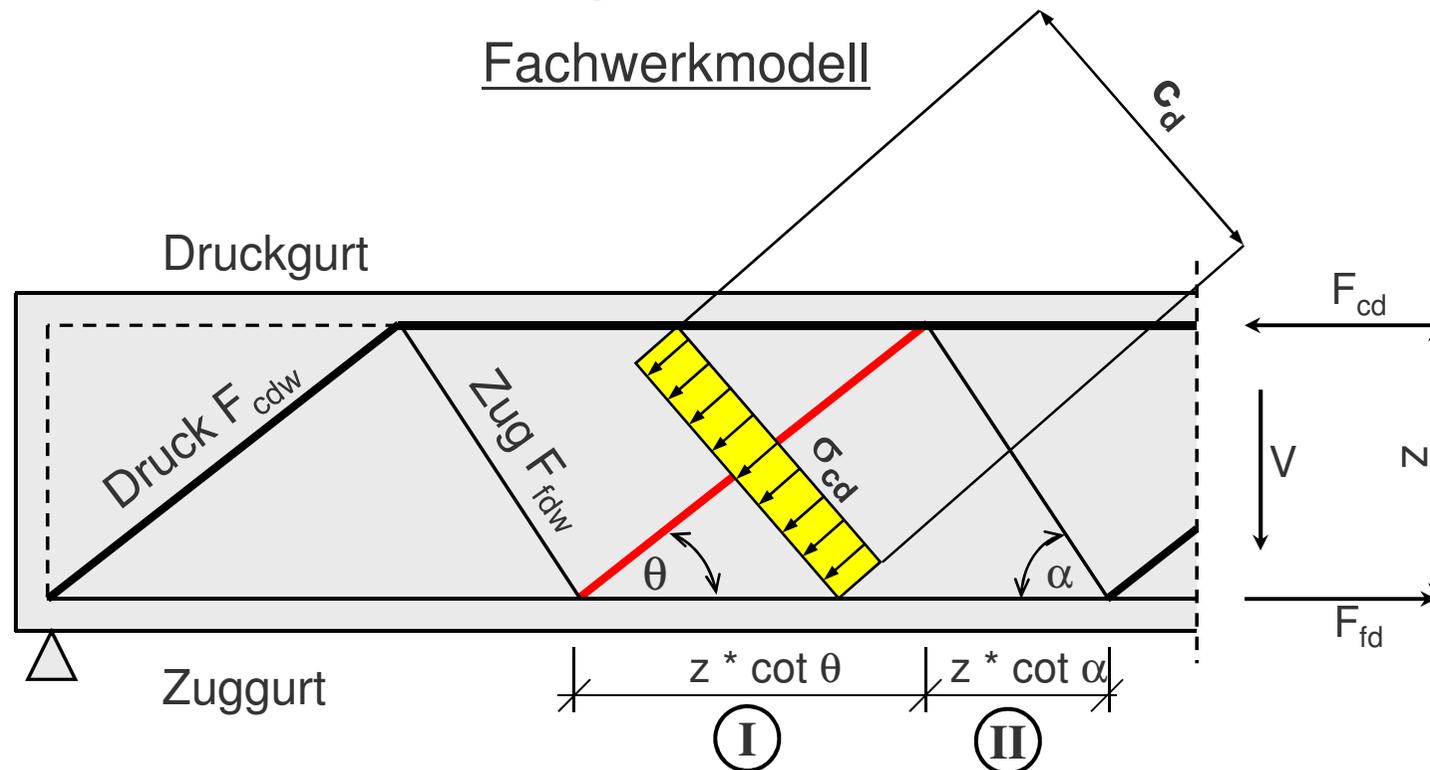
$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,c} = \beta_R \cdot \frac{1}{424 \cdot \gamma_c} \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot E_{fl} \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot b_w \cdot d$$

$$\text{mit: } \beta_R = \frac{3}{a_v / d}$$

Bei Verwendung des Erhöhungsfaktors β_R auf der Bauteilwiderstandsseite darf der Abminderungsfaktor β_E auf der Einwirkungsseite nicht berücksichtigt werden.

Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung



Kräftegleichgewicht in I + II



Tragfähigkeit der Druckstrebe $V_{Rd,max}$
Tragfähigkeit der Bewehrung $V_{Rd,f}$

Querkraftbemessung

Nachweis für Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

- Querkraftbewehrung erforderlich, wenn

$$V_{Ed} > V_{Rd,c}$$

- Nachweiskonzept nach Hegger/Kurth (keine AbZ)

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

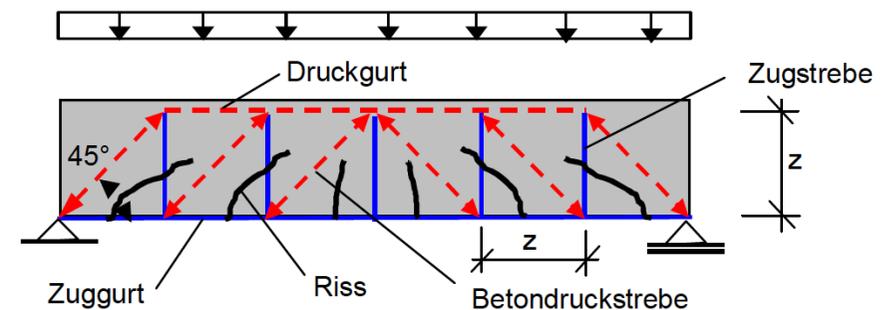
$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f}$$

Betontraganteil

Fachwerktraganteil

Maximalwert der Querkrafttragfähigkeit:

$$V_{Rd} < V_{Rd,max} = V_{Rd,c} + \frac{1,1 \cdot b_w \cdot z \cdot (f_{cm})^{2/3}}{\gamma_c \cdot (\cot(\theta) + \tan(\theta))}$$



Querkraftbemessung

Nachweis für Bauteile mit rechnerisch erforderlicher Querkraftbewehrung

- Nachweiskonzept nach Hegger/Kurth - Fachwerktraganteil

$$V_{Rd,f} = a_{fw} \cdot f_{fwd} \cdot z \cdot \cot \theta$$

$$f_{fwd} \leq E_{fw} \cdot \varepsilon_{fwd}$$

$$\varepsilon_{fwd} [\text{‰}] = 2,3 + \frac{2 \cdot EI^* [\text{MNm}^2]}{30} \leq 7,0$$

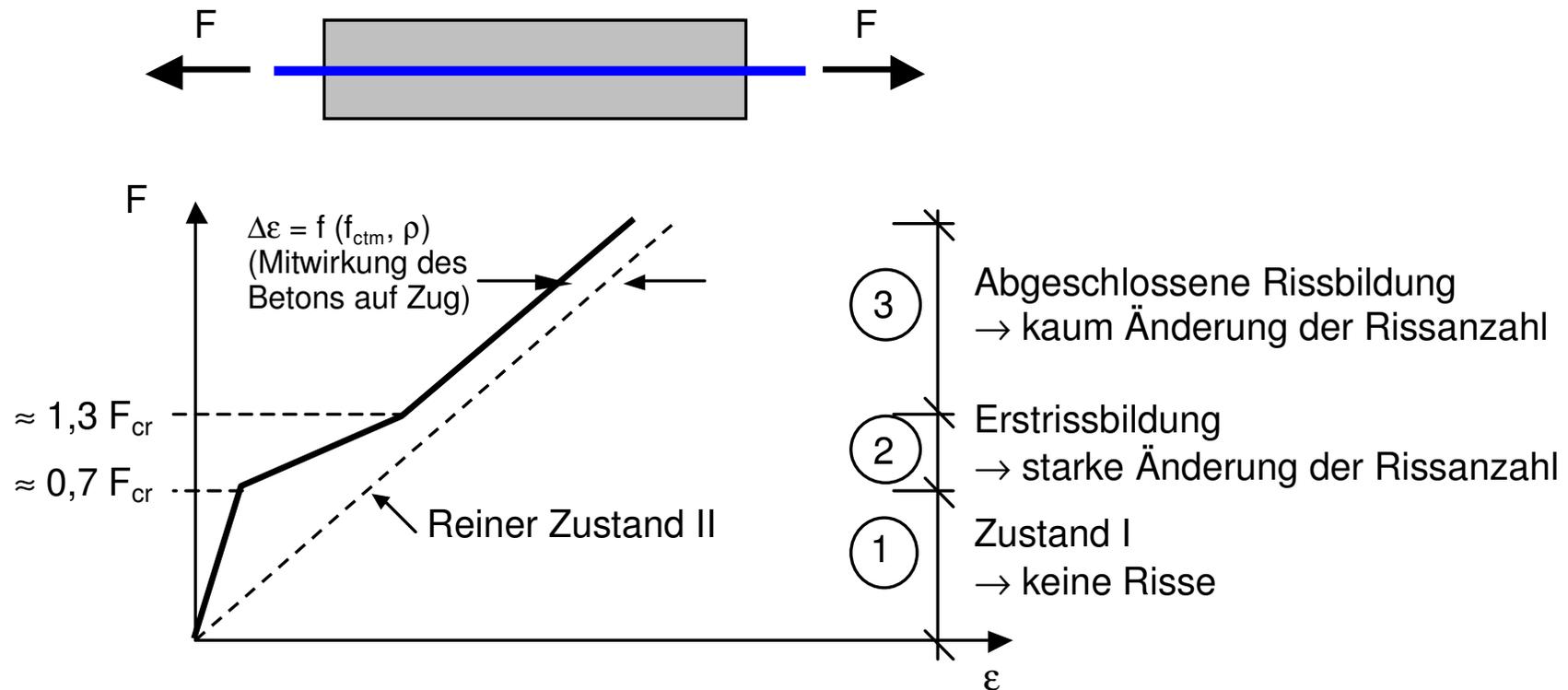
Bemessungswert der Dehnung der FVK-Querkraftbewehrung

$$EI^* = E_{fl} \cdot A_{fl} \cdot (0,8 \cdot d)^2$$

$$\theta = \arctan \left[\sqrt[3]{\frac{\frac{M}{V} \cdot a_{fw} \cdot E_{fw}}{A_{fl} \cdot E_{fl}}} \right] \begin{matrix} \geq 20^\circ \\ \leq 50^\circ \end{matrix}$$

Druckstrebenneigungswinkel

Grundlagen der Rissbreitenbeschränkung



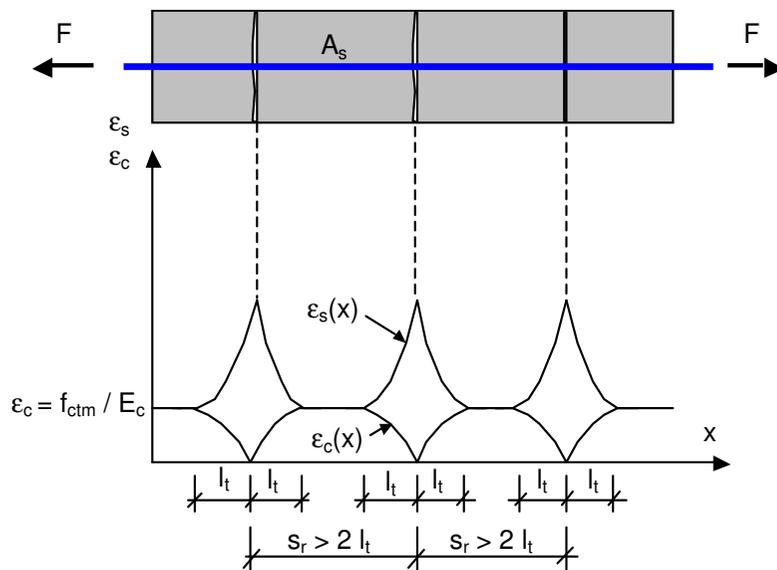
Allgemeines zur Rissbreitenberechnung

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

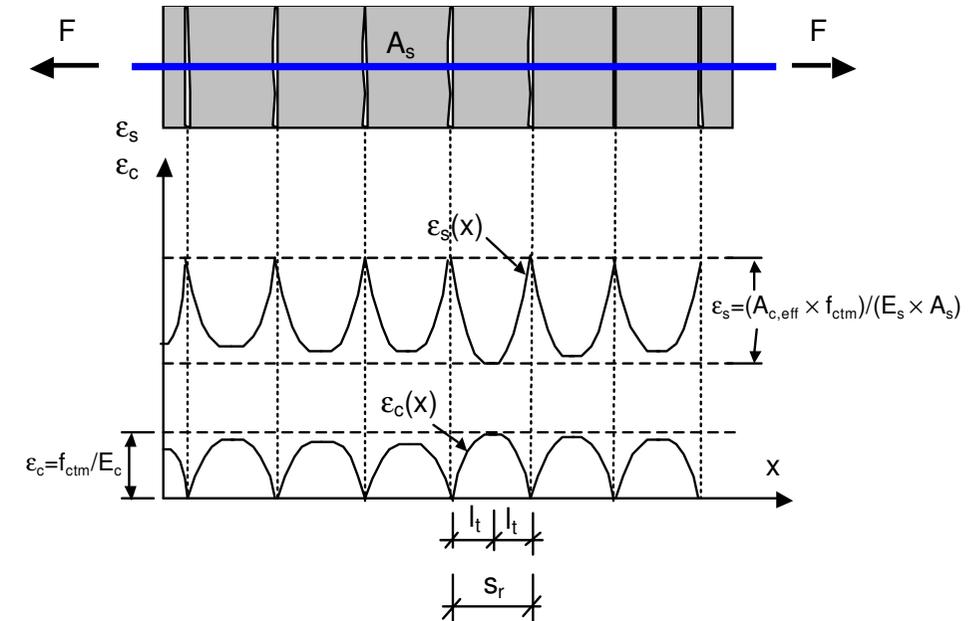
$$w_k \leq 0,4 \text{ quer zum Stab}$$

$$w_k \leq 0,2 \text{ längs zum Stab}$$

Bereich der Einzelrissbildung:



Bereich der abgeschlossenen Rissbildung:



$$s_{r,max} = \frac{d_f}{2,8 \cdot eff \rho_f} \leq \frac{\sigma_f \cdot d_f}{2,8 \cdot f_{ct,eff}}$$

mit: $eff \rho_f = \frac{A_f}{A_{c,f}}$

Rissbreitenberechnung ComBAR

Eine reine Rissbewehrung aus Betonstahl B500 kann auf eine ComBAR Bewehrung umgerechnet werden.

Ansatz:

$$\frac{w_{k,ComBAR}}{w_{k,B500}} = \frac{200.000 \frac{N}{mm^2}}{60.000 \frac{N}{mm^2}} \cdot \left(\frac{\varnothing_{ComBAR}}{\varnothing_{B500}} \right) \cdot \left(\frac{f_{ComBAR}}{f_{B500}} \right)^2 = 1,0$$

Bei Ansatz gleicher Stabdurchmesser gilt:

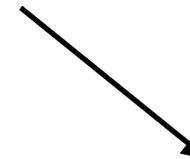
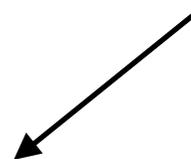
$$\text{erf. } A_{ComBAR} = \sqrt{\frac{200}{60}} \cdot A_{B500} = 1,83 \cdot A_{B500}$$

Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W_c$$



$$A_{f,min} = \frac{M_{cr}}{\sigma_f \cdot z}$$

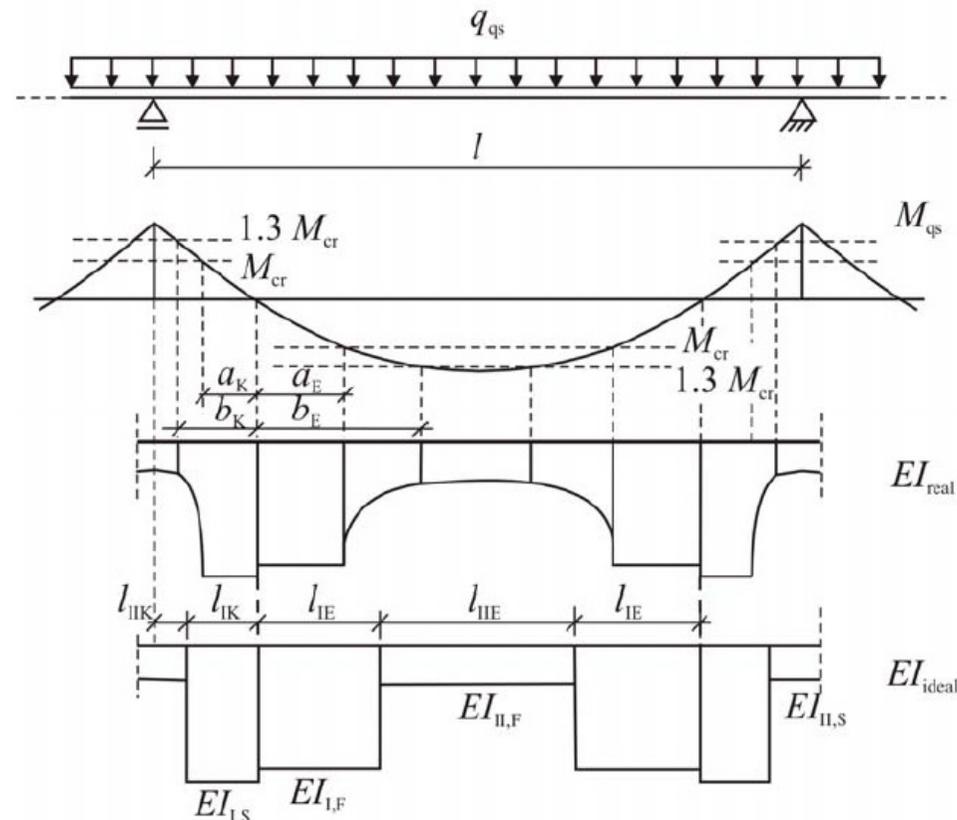


$$\sigma_f = 0,83 \cdot f_{fk} = 481 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$z \approx 0,9 \cdot d$$

Beschränkung der Durchbiegung

Allgemeines Verfahren nach Heft 533 - DAfStb

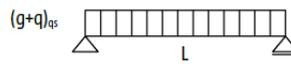


Gegenüberstellung des realen und idealisierten Verlaufes der Biegesteifigkeit für ein Innenfeld nach DAfStb Heft 533.

Beschränkung der Durchbiegung

Vereinfachter Nachweis der Biegeschlankheit

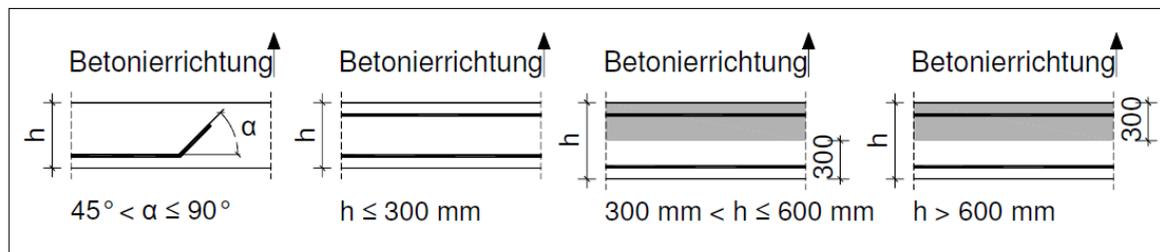
7.1 Erforderlicher Bewehrungsquerschnitt und Ausnutzungsgrad im Grenzzustand der Tragfähigkeit für max. Durchbiegung $\leq L/250$

Einachsig gespannter Deckenstreifen unter Gleichlast Beispiel: bei $L = 4,5$ m und $h = 200$ mm sind $13,0$ cm ² erforderlich um die max. Durchbiegung einzuhalten. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind nur $4,3$ cm ² erforderlich. Der Ausnutzungsgrad im Grenzzustand der Tragfähigkeit beträgt also nur 33%. $b = 1,0$ m C25/30 $q = 3,5$ kN/m ² und $g + q_{\text{quasi-ständig}} = g + 0,3q$					
Deckenstärke h	160 mm	180 mm	200 mm	250 mm	300 mm
L = 3,5m L/250 = 14 mm	6,3 cm ² 46%	2,1 cm ²	2,3 cm ²	2,8 cm ²	3,3 cm ²
L = 4,0m L/250 = 16 mm	16,3 cm ² 24%	11,5 cm ² 31%	6,6 cm ² 51%	2,8 cm ²	3,3 cm ²
L = 4,5m L/250 = 18 mm	23,2 cm ² 20%	17,0 cm ² 27%	13,0 cm ² 33%	6,2 cm ² 61%	3,3 cm ²
L = 5,0m L/250 = 20 mm		28,1 cm ² 20%	21,4 cm ² 25%	12,3 cm ² 38%	6,7 cm ² 64%
L = 5,5m L/250 = 22 mm			32,6 cm ² 20%	21,5 cm ² 27%	14,0 cm ² 38%
L = 6,0m L/250 = 24 mm				35,2 cm ² 19%	23,2 cm ² 27%

= Mindestbewehrung gem. AbZ ComBAR® für $c_v = 15$ mm, $d_t = 12$ mm;
 = $\rho \geq 2\%$ (unwirtschaftlich)

Verankerung der ComBAR-Stäbe

- Verbundbedingungen



-  gute Verbundbedingungen
-  mäßige Verbundbedingungen

- Verbundfestigkeit

9.2.1 Bemessungswerte der Verbundfestigkeit f_{bd} [N/mm²]

	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
gute Verbundbedingungen	1,45	1,77	2,03	2,26	2,33	2,39	2,45	2,51	2,58
mäßige Verbundbedingungen	1,09	1,32	1,53	1,78	2,01	2,23	2,34	2,46	2,58

Verankerung der ComBAR[®]-Stäbe

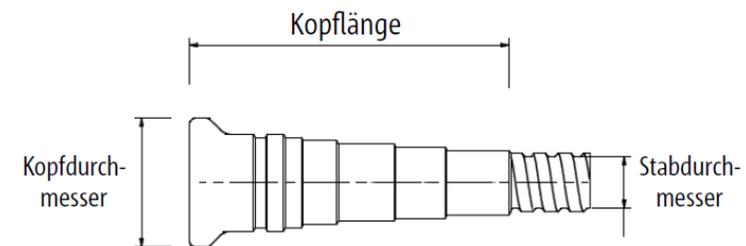
- Verankerungslänge

9.2.2 Grundwert der Verankerungslänge $l_{b,rqd}$ in cm für gerade ComBAR[®] Stäbe (nach AbZ)

Betonfestigkeitsklasse	Verbundbedingungen	Stabdurchmesser d_f in mm					
		8	12	16	20	25	32
C 20/25	gut	44	66	88	110	137	175
	mäßig	58	87	116	145	182	233
C 25/30	gut	40	59	79	99	123	158
	mäßig	50	75	100	125	156	200
C 30/37	gut	38	57	76	96	119	153
	mäßig	44	66	89	111	138	177
C 35/45	gut	37	56	75	93	117	149
	mäßig	40	60	80	100	125	160
C 40/50	gut	36	55	73	91	114	145
	mäßig	38	57	76	95	119	152
C 45/55	gut	36	53	71	89	111	142
	mäßig	36	54	72	91	113	145
C 50/60	gut	35	52	69	86	108	138
	mäßig	35	52	69	86	108	138

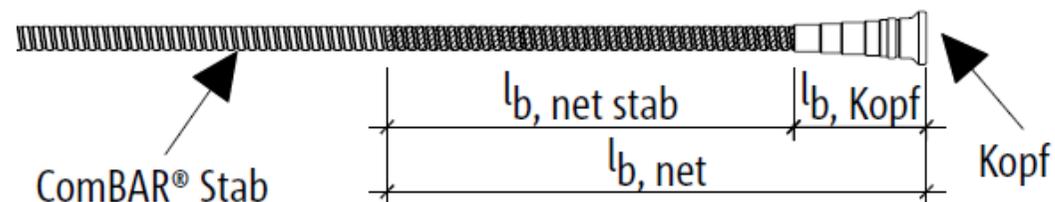
Stäbe mit Köpfen

- Reduktion der Endverankerungslänge
- Einsatz als Querkraft- / Durchstanzbewehrung



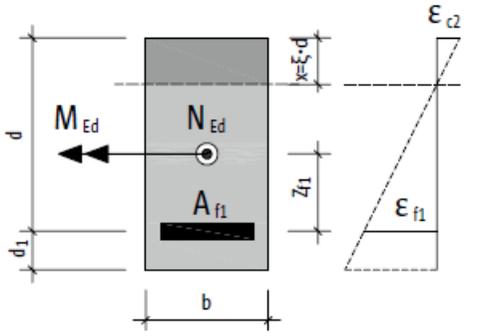
$$F_d = F_{\text{Kopf,d}} + F_{\text{Stab,d}}$$

$$l_{b,\text{net}} = l_{b,\text{Kopf}} + l_{b,d,\text{Stab (Rest)}}$$



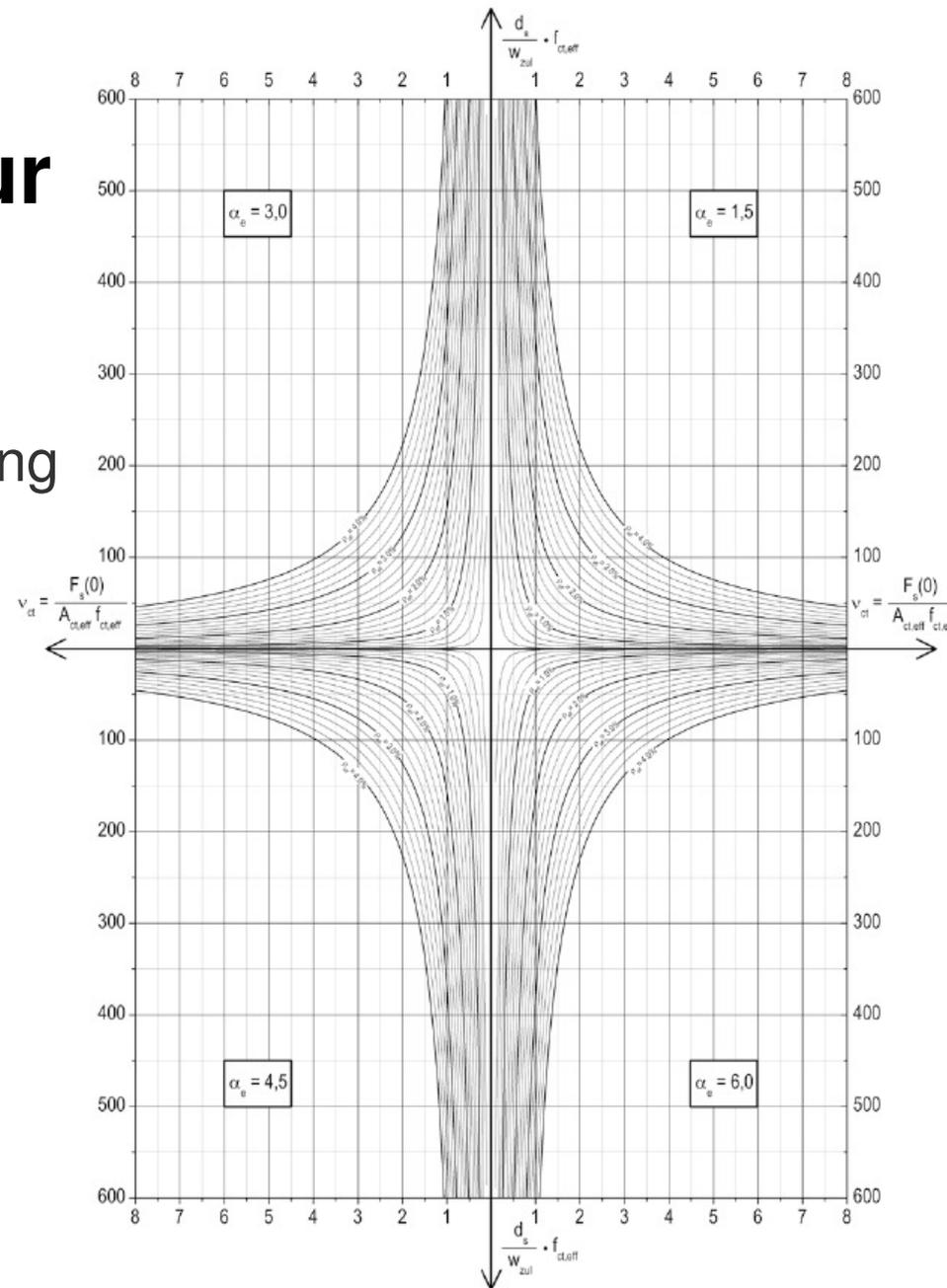
Hilfsmittel zur Bemessung – ω -Tafel

4.2 ω -Tafel ComBAR® ($f_{fd} = 435 \text{ N/mm}^2$ für statisch bestimmte Systeme)

Betone $\geq \text{C20/25}$ $M_{Ed1} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$ (N_{Ed} ist als Zugkraft positiv) $\mu_{Edf} = M_{Ed1} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd})$ erf. $A_f = (\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}) / f_f$								
					Statisch bestimmte Systeme		Statisch unbestimmte Systeme	
μ_{Edf}	ω_f	ξ	ς	ϵ_c [‰]	ϵ_f [‰]	f_{fd} [N/mm ²]	$\eta_{rot} \cdot \epsilon_f$ [‰]	$\eta_{rot} \cdot f_{fd}$ [N/mm ²]
0,001	0,0010	0,017	0,994	-0,123	7,250	435	6,000	360
0,006	0,0061	0,041	0,986	-0,311	7,250	435	6,000	360
0,011	0,0112	0,056	0,981	-0,431	7,250	435	6,000	360
0,016	0,0164	0,068	0,977	-0,529	7,250	435	6,000	360
0,025	0,0258	0,086	0,971	-0,679	7,250	435	6,000	360
0,050	0,0523	0,123	0,957	-1,021	7,250	435	6,000	360
0,075	0,0794	0,154	0,945	-1,321	7,250	435	6,000	360
0,100	0,1070	0,182	0,934	-1,610	7,250	435	6,000	360

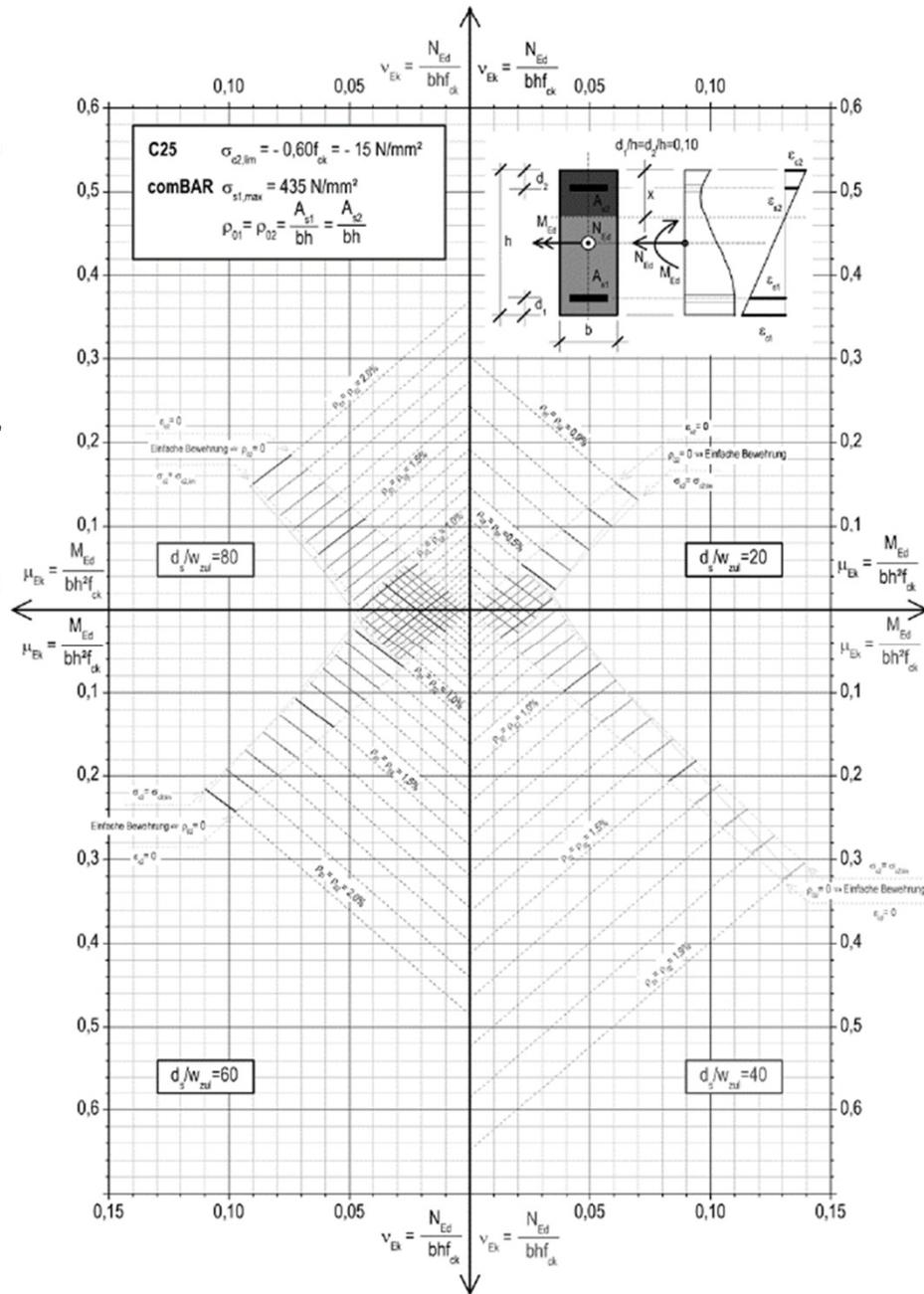
Hilfsmittel zur Bemessung

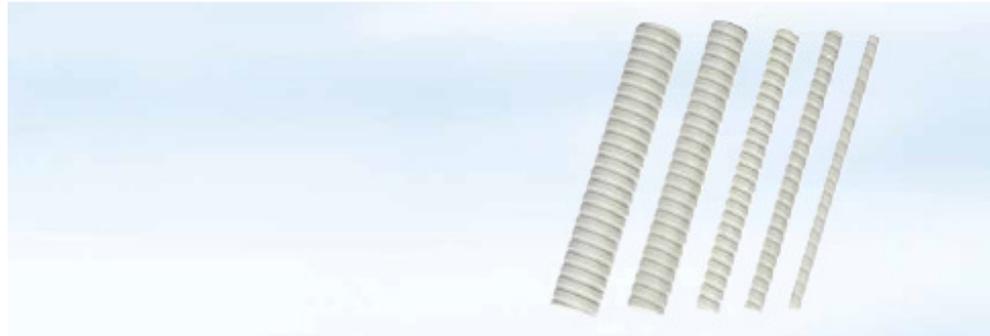
- Nomogramm Mindestbewehrung unter Ansatz von w_{zul}



Hilfsmittel zur Bemessung

- Nomogramm Rissbewehrung für $M_{Ed} + N_{Ed}$ (C25/30; $d/h=0,10$)





Bemessungstabeln

Bemessungs- und Konstruktionshilfen für die Glasfaserbewehrung ComBAR® nach EC2 (DIN EN 1992-1-1:2011-01 und DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01)

Februar 2015

7. Beschränkung der Verformungen durch den Nachweis der Biegeschlankheit

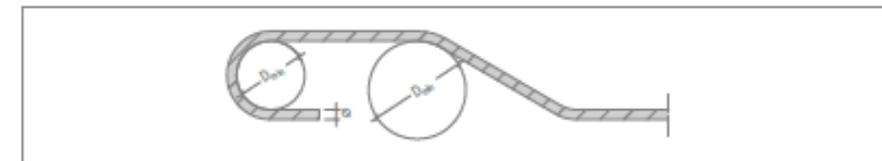
Wegen des relativ geringen E-Moduls von ComBAR® ist der Beschränkung der Durchbiegung bei der Bemessung besondere Beachtung zu schenken. Die AbZ ComBAR® enthält detaillierte Angaben zur Ermittlung der Durchbiegung ComBAR® bewehrter Bauteile. Diese wurden in Anlehnung an Heft 533 des DAFStb erstellt. (Siehe: www.schoeck.de)

7.1 Erforderlicher Bewehrungsquerschnitt und Ausnutzungsgrad im Grenzzustand der Tragfähigkeit für max. Durchbiegung $\leq L/250$

Einachsig gespannter Deckenstreifen unter Gleichlast					
<p>Beispiel: bei $L = 4,5$ m und $h = 200$ mm sind $13,0$ cm² erforderlich um die max. Durchbiegung einzuhalten. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind nur $4,3$ cm² erforderlich. Der Ausnutzungsgrad im Grenzzustand der Tragfähigkeit beträgt also nur 33%.</p> <p>$b = 1,0$ m C25/30 $q = 3,5$ kN/m² und $g + q_{\text{quasi-ständig}} = g + 0,3q$</p>					
Deckenstärke h	160 mm	180 mm	200 mm	250 mm	300 mm
L = 3,5m L/250 = 14 mm	6,3 cm ² 46%	2,1 cm ²	2,3 cm ²	2,8 cm ²	3,3 cm ²
L = 4,0m L/250 = 16 mm	16,3 cm ² 24%	11,5 cm ² 31%	6,6 cm ² 51%	2,8 cm ²	3,3 cm ²
L = 4,5m L/250 = 18 mm	23,2 cm ² 20%	17,0 cm ² 27%	13,0 cm ² 33%	6,2 cm ² 61%	3,3 cm ²
L = 5,0m L/250 = 20 mm		28,1 cm ² 20%	21,4 cm ² 25%	12,3 cm ² 38%	6,7 cm ² 64%
L = 5,5m L/250 = 22 mm			32,6 cm ² 20%	21,5 cm ² 27%	14,0 cm ² 38%
L = 6,0m L/250 = 24 mm				35,2 cm ² 19%	23,2 cm ² 27%

- Mindestbewehrung gem. AbZ ComBAR® für $c_s = 15$ mm, $d_s = 12$ mm; - $\rho \geq 2\%$ (unwirtschaftlich)

8. Mindestbiegerollendurchmesser



Haken, Winkelhaken, Schlaufen		
Für alle α gilt $D_{\text{min}} = 7 \cdot \varnothing$	$\varnothing 12$ mm	84 mm
	$\varnothing 16$ mm	112 mm
	$\varnothing 20$ mm	140 mm

Geprüft durch:
Prof. Dr.-Ing. Jens Minnert
THM, Fachbereich Bauwesen

