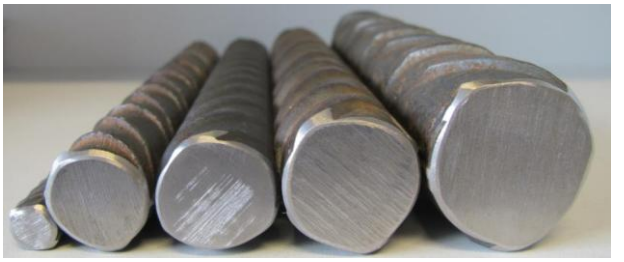
55. Forschungskolloquium des DAfStb
26. und 27. November 2014, Düsseldorf

Weiterentwicklung von Bemessungs- und Konstruktionsregeln bei großen Stabdurchmessern (> Ø 32 mm, BSt500)

Josef Hegger — RWTH AACHEN UNIVERSITY
Jürgen Schnell — TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN
Martin Empelmann — iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG

Maximale Stabdurchmesser Normung

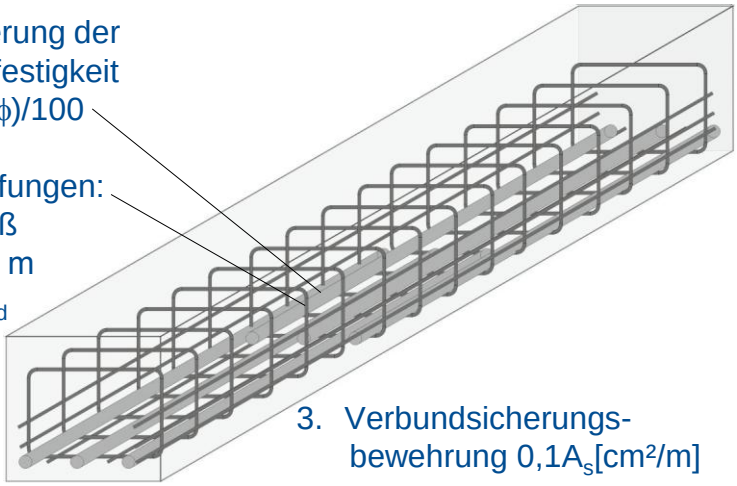


ϕ bis 28 mm	ϕ bis 40 mm
DIN 488 (1984)	DIN 488 (2009)
DIN 1045 (1988)	DIN 1045-1 (2001)

Zusatzregelungen für große Stabdurchmesser nach EC2

1. Abminderung der Verbundfestigkeit $\eta_2=(132-\phi)/100$

2. Übergreifungen:
   50%-Stoß
   h,b ≥ 1,0 m
   $\sigma_s \leq 0{,}8 f_{yd}$

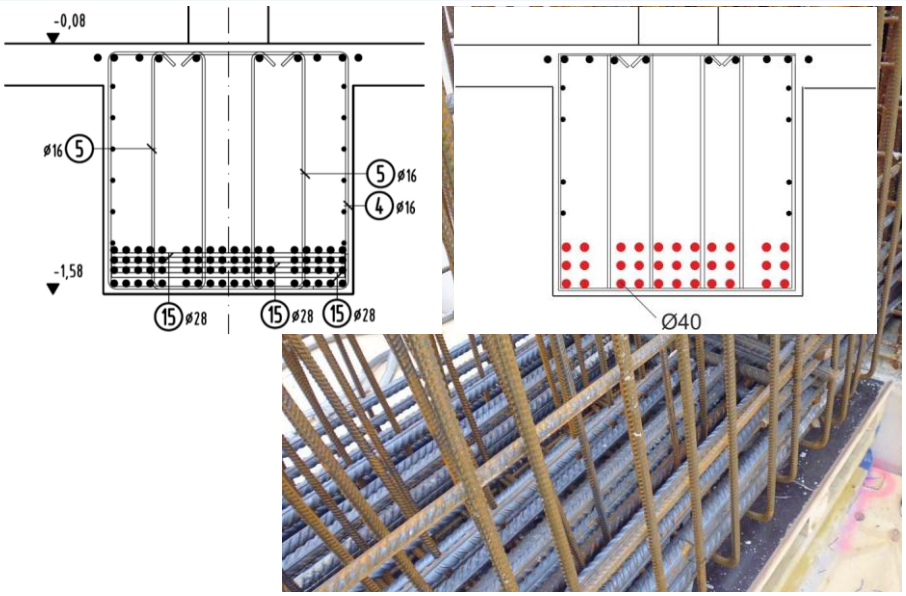


3. Verbundsicherungs-bewehrung $0{,}1 A_s$[cm²/m]

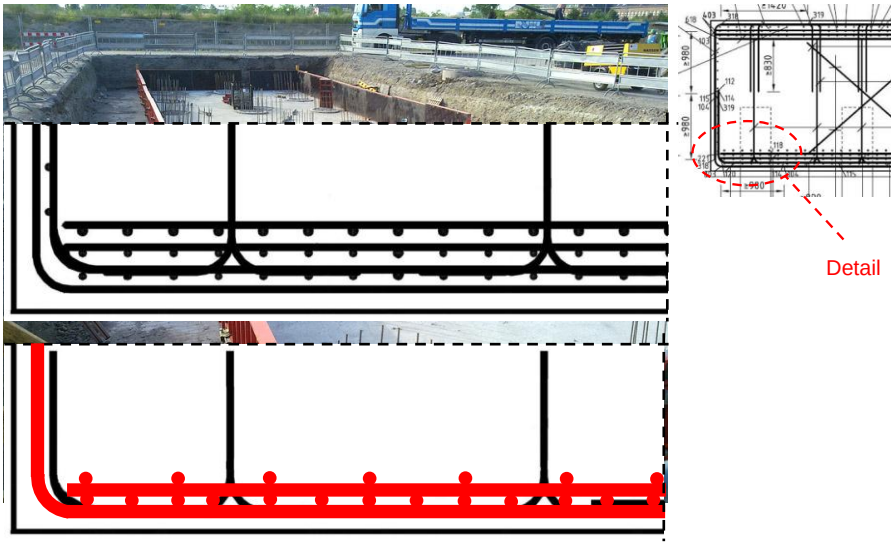
4. Oberflächenbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung

Anwendung großer Stabdurchmesser

Anwendung großer Stabdurchmesser

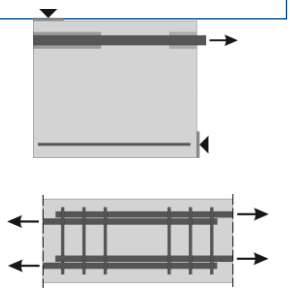


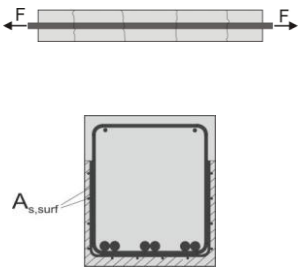
Anwendung großer Stabdurchmesser

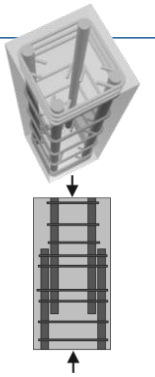


Forschungsprojekt „große Stabdurchmesser“

RWTH Aachen	TU Kaiserslautern	TU Braunschweig
Verbundfestigkeit und Übergreifungsstöße	Rissverhalten und Oberflächenbewehrung	Druckglieder und Druckstöße



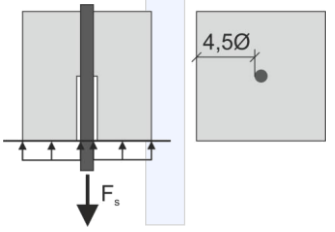




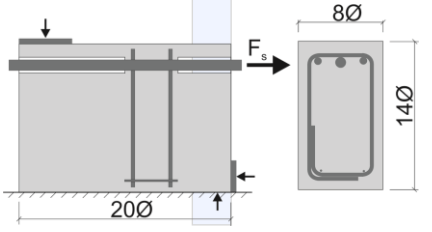
Verbundverhalten

Stäbe werden über f_R und Oberfläche definiert

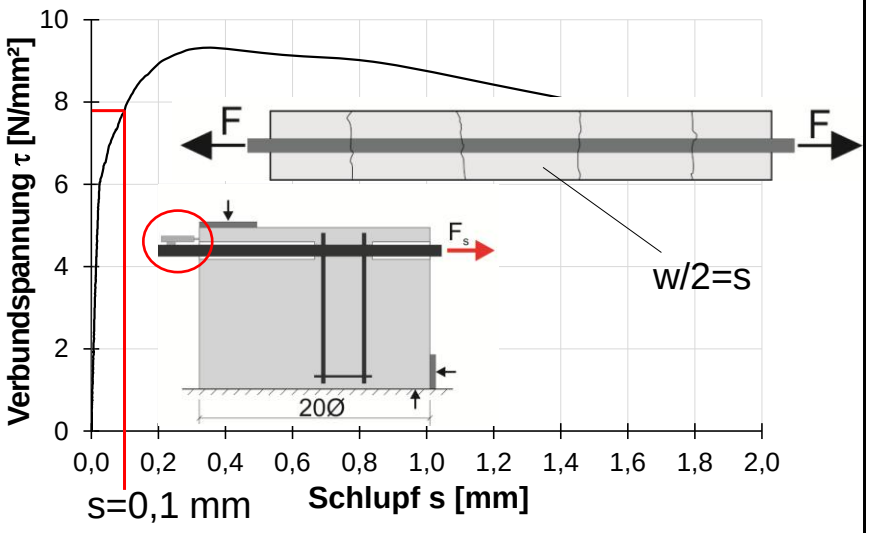
RILEM Pull-Out Test



Modifizierter Beam End Test

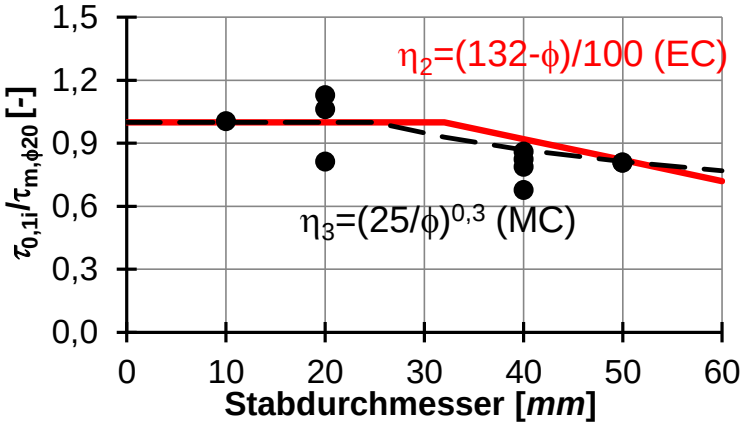


Verbundverhalten



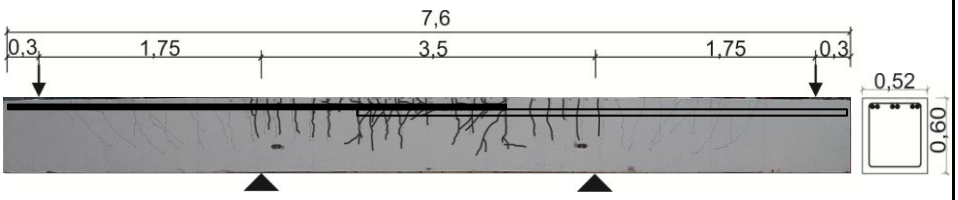
Verbundverhalten

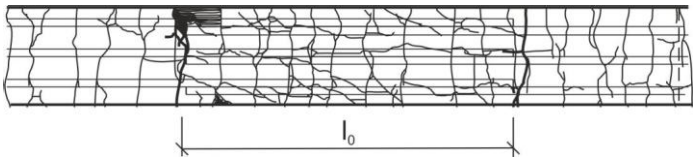
Abminderung der Verbundfestigkeit



(l_b = 5·ϕ, c=1,5·ϕ, τ_m(ϕ 20 mm) = 1,0)

Übergreifungen





[illegible] N/mm²

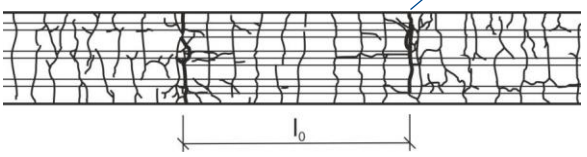
(α_6 = 2,0, c=1,5·ϕ)

Übergreifungen - Rissbilder

Versuch mit Mindestwerten nach EN 1992

α_6=1,5 und c=1,0·ϕ

w_m = 0,40 mm

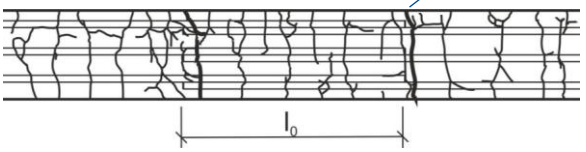


M_{test}/M_u = 83%

Vergrößerung der Betondeckung

α_6=1,5 und c=1,5·ϕ

w_m = 0,43 mm

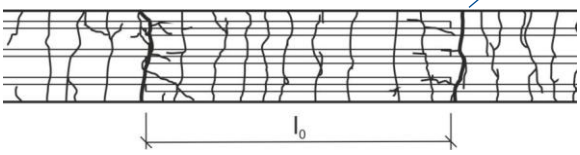


M_{test}/M_u = 89%

Übergreifungen - Rissbilder

Vergrößerung des Stoßfaktors
α_6=2,0 und c=1,5·ϕ

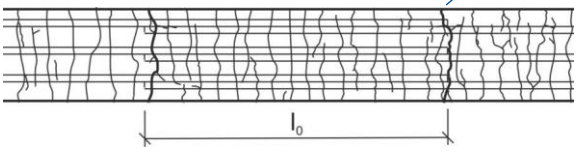
w_m = 0,62 mm



M_{test}/M_u = 100%

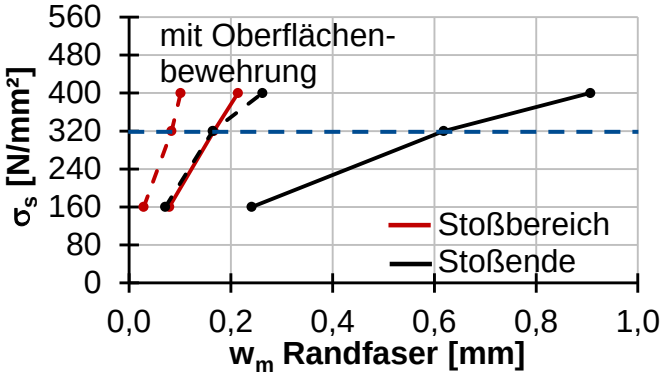
Oberflächenbewehrung
α_6=2,0 und c=1,5·ϕ

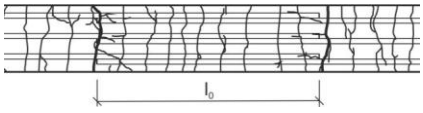
w_m = 0,16 mm

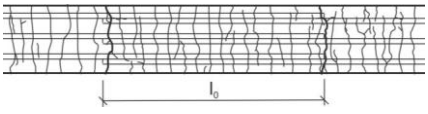


M_{test}/M_u = 113%

Übergreifungen - Oberflächenbewehrung







Zusammenfassung

- Abminderung der Verbundfestigkeit für große Stabdurchmesser ≥ 28 mm angemessen
- Stoßfaktor α_6 = 2,0 und Betondeckung c=1,5·ϕ erforderlich für 100 %-Stöße
- Oberflächenbewehrung notwendig zur Rissbreitenbegrenzung

55. Forschungskolloquium des DAfStb

26. und 27. November 2014, Düsseldorf

Weiterentwicklung von Bemessungs- und Konstruktionsregeln bei großen Stabdurchmessern (> Ø 32 mm, BSt500)

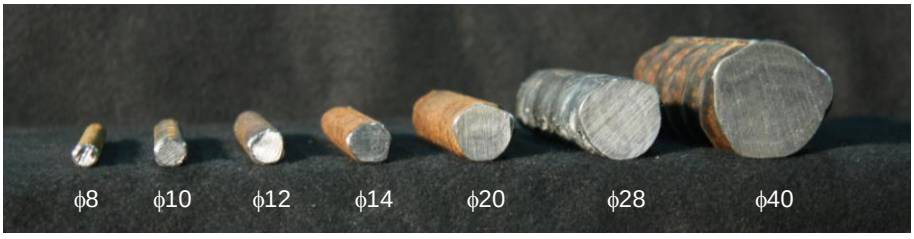
Josef Hegger — RWTH AACHEN UNIVERSITY

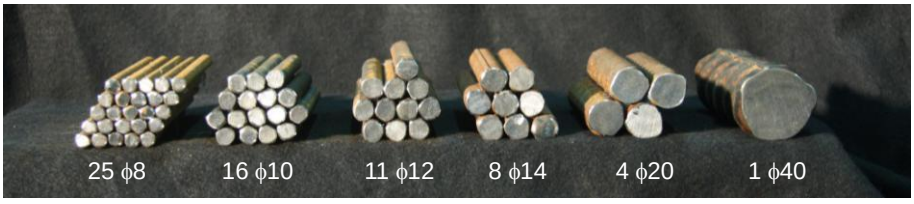
Jürgen Schnell — TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

Martin Empelmann — iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG

Weiterentwicklung von Bemessungs- und Konstruktionsregeln bei großen Stabdurchmessern (> Ø32 mm, B500)

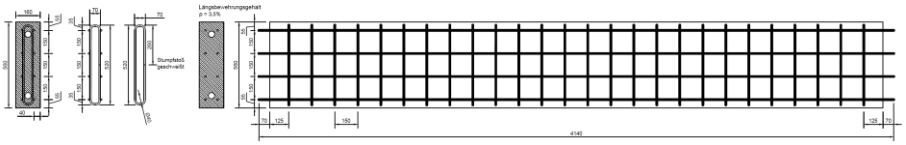
Rissbreiten und Oberflächenbewehrung



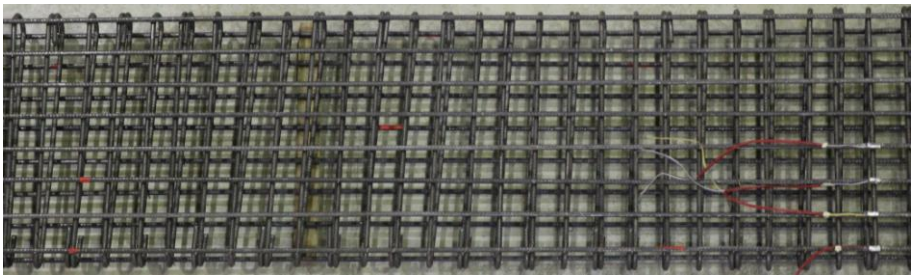


Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

Empfohlene Oberflächenbew. nach EC2 (kreuzweise 1% von $A_{ct,ext}$)



Geforderte Oberflächenbew. gem. NA für Deutschland (kreuzweise 2% von $A_{ct,ext}$)



Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

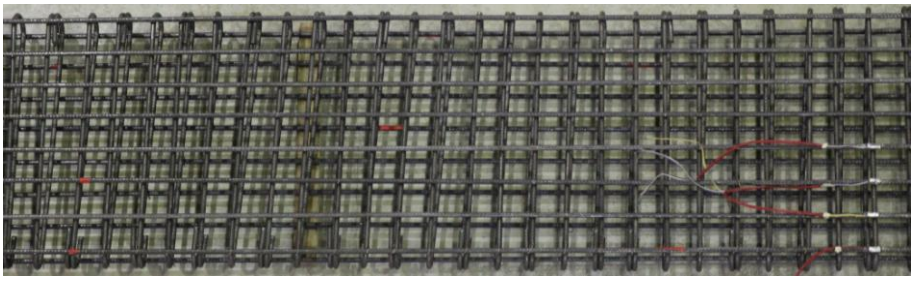
Oberflächenbew. gem. Zulassungen GEWI

1998: Hautbewehrung nach DIN 1045:88

Längs: $a_{sh} \geq 2 \cdot c_{sb}$ ($\triangleq$2% von $A_{ct,ext}$) Quer: 2,0 cm²/m

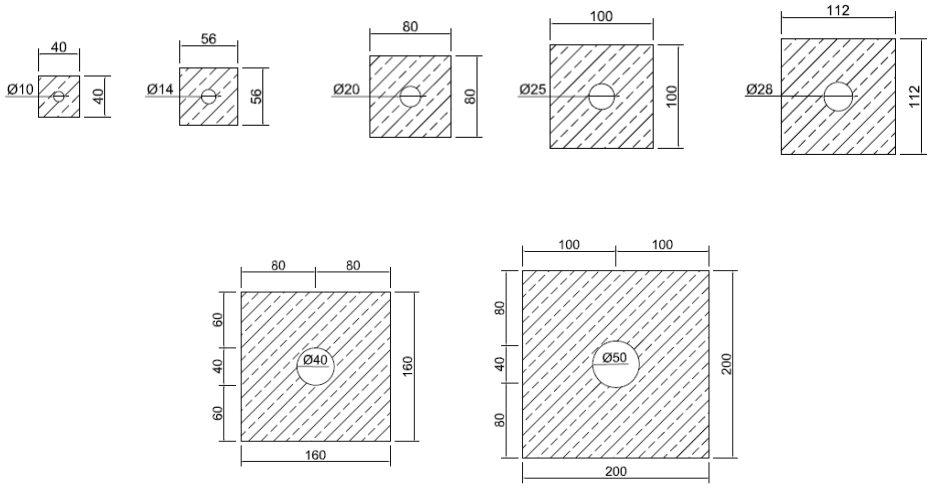
2009: Oberflächenbewehrung nach DIN 1045-1:08

Längs: $A_{s,surf} \geq 0{,}02 \cdot A_{ct,ext}$ Quer: $A_{s,surf} \geq 0{,}02 \cdot A_{ct,ext}$

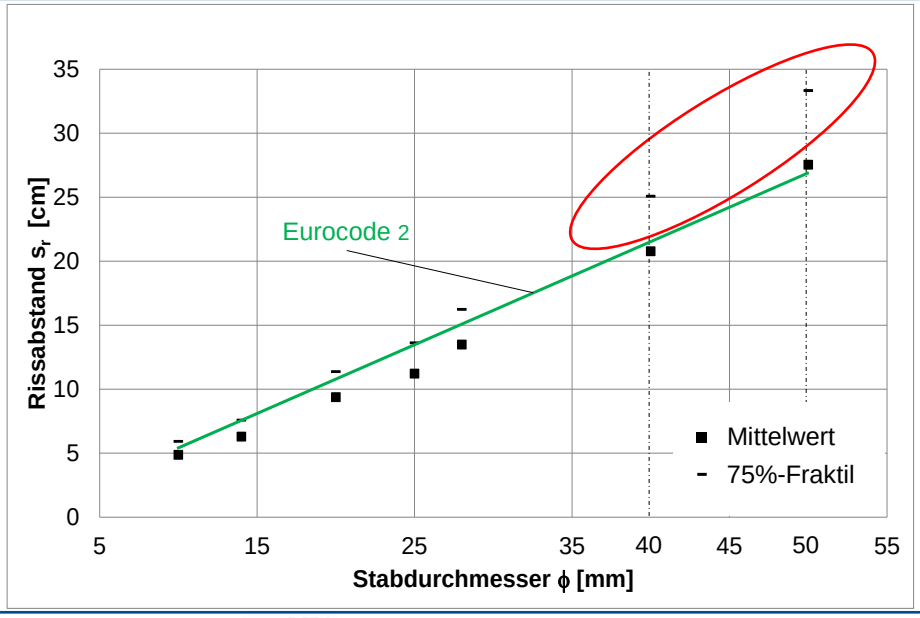


Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

Serie 1



Rissbreiten und Oberflächenbewehrung - Rissabstand Serie 1

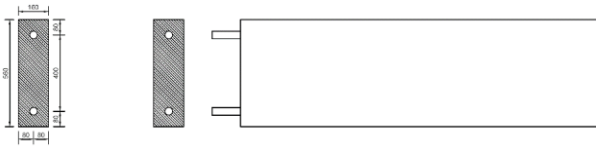


Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

Serie 2

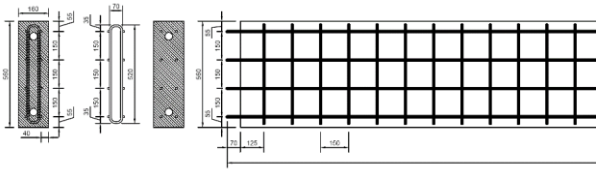
ohne Oberflächenbewe.



Serie 3

Längs: 1% von $A_{ct,ext}$

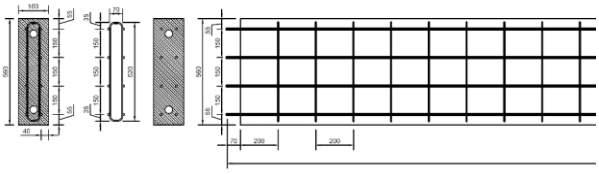
Bügel: ϕ10-150



Serie 4

Längs: 1% von $A_{ct,ext}$

Bügel: ϕ6-200

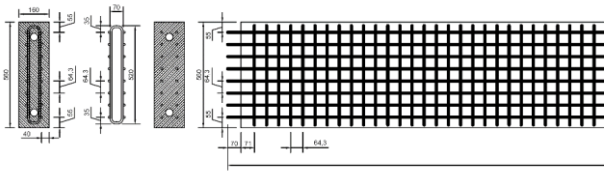


Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

Serie 5

Längs: 2% von $A_{ct,ext}$

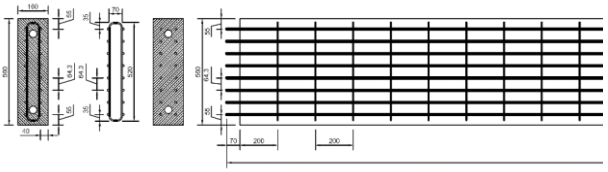
Bügel: ϕ10-64,3



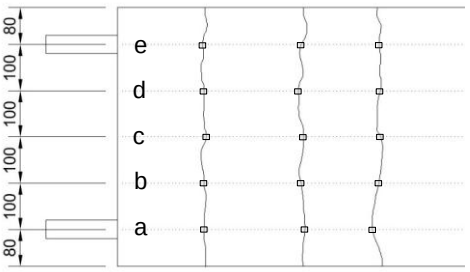
Serie 6

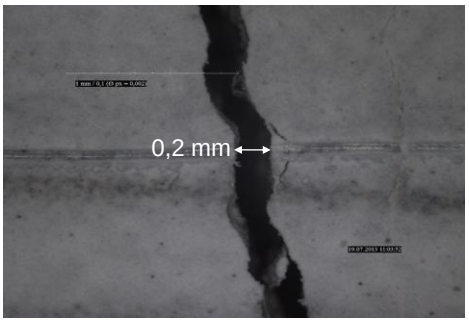
Längs: 2% von $A_{ct,ext}$

Bügel: ϕ6-200



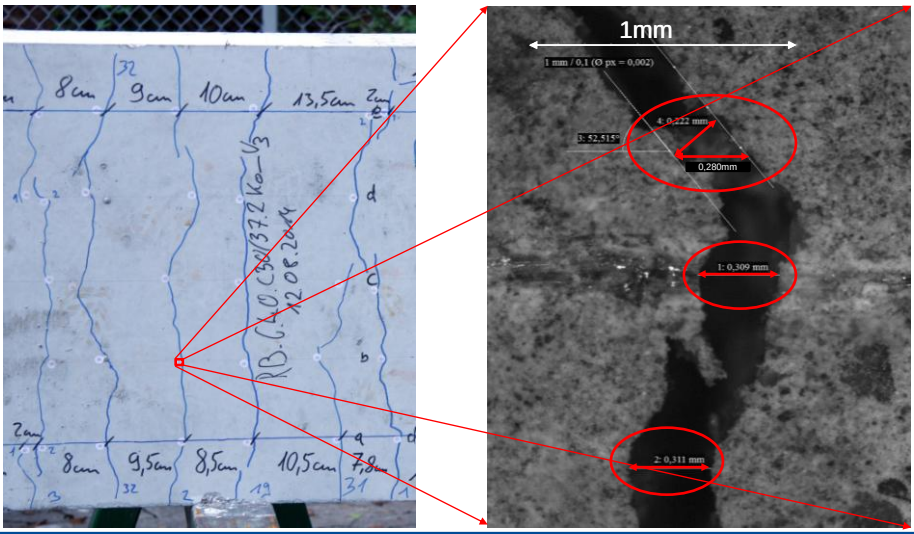
Rissbreiten und Oberflächenbewehrung





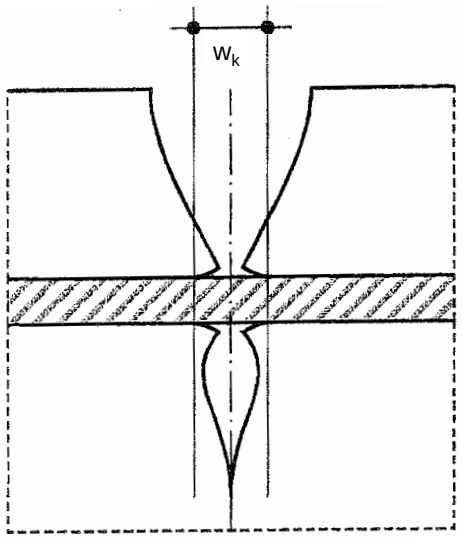
Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

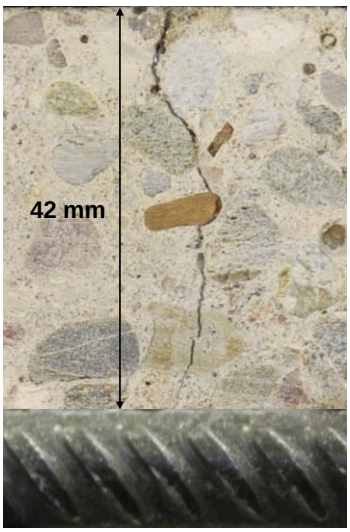
Rissbreitenmessung



Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

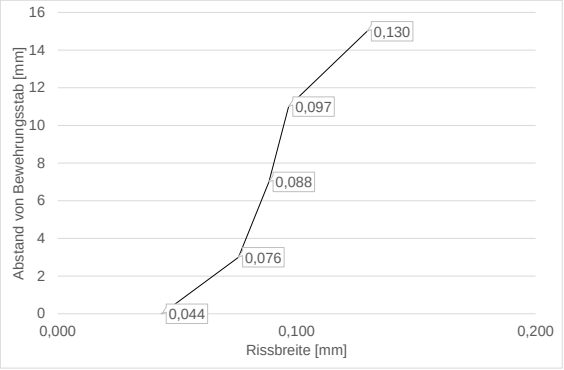
- Rissgeometrie

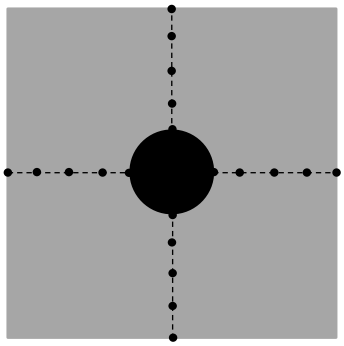




Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

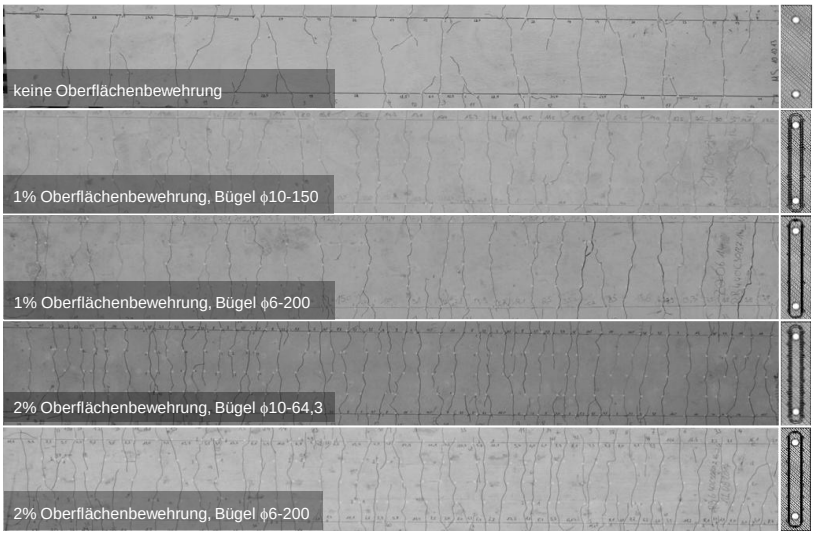
- Rissgeometrie





Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

Vergleich der Rissbilder Serie 2 - 6



Serie 2

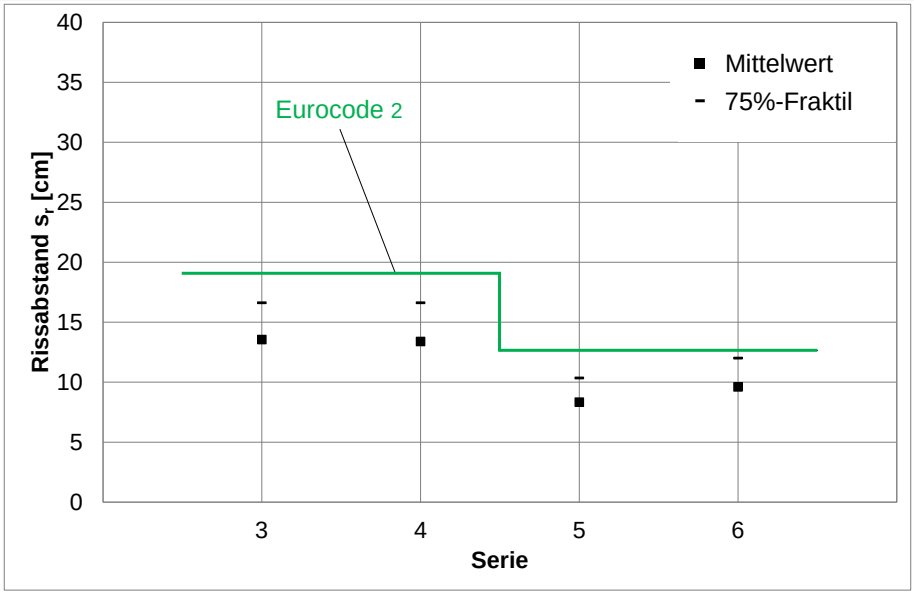
Serie 3

Serie 4

Serie 5

Serie 6

Rissbreiten und Oberflächenbewehrung – Rissabstand Serie 2-7



Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

Auswertung der Rissbreiten

- CEB-FIP Model Code 90 → w_k = 75%-Fraktil
- Eurocode 0 → 75% Konfidenzniveau

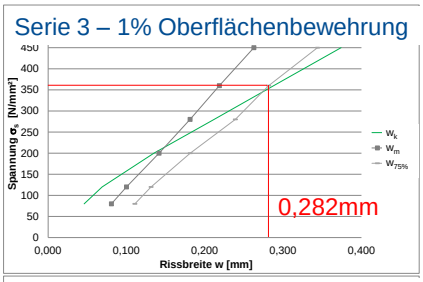
$$w_k = w_m + k_t \cdot s_w$$

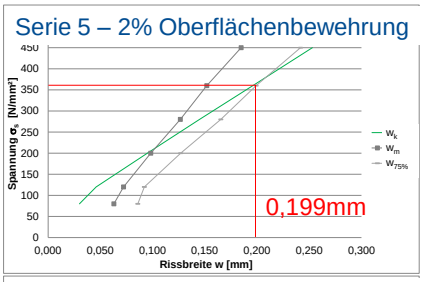
- Beispiel: Mittelwert: w_m = 0,263mm
  Standard.: s_w = 0,114mm,
  Anzahl: n = 20

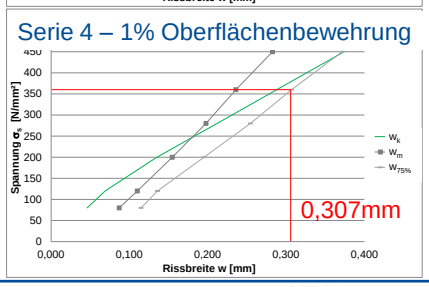
w_k [mm]		Konfidenzniveau	
		75%	90%
Fraktilwert	75%	***0,362***	***0,382***
	95%	***0,483***	***0,515***

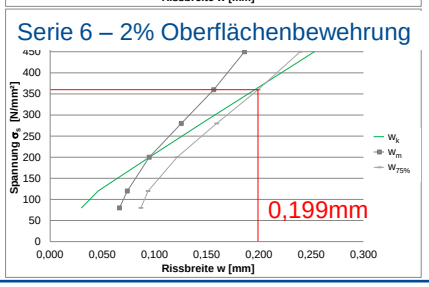
Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

Versuchsergebnisse









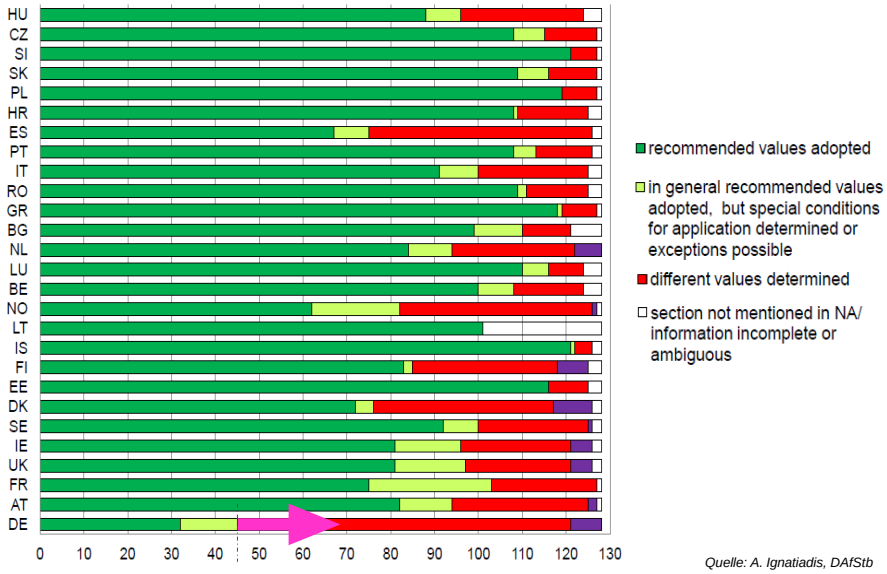
Rissbreiten und Oberflächenbewehrung

Fazit:

- $A_{s,surf} \geq 0{,}02 \cdot A_{ct,ext}$ $w_{75\%} \leq 0{,}2mm$ *kein Nachweis erforderlich!*
- $A_{s,surf} \geq 0{,}01 \cdot A_{ct,ext}$ $w_{75\%} \leq 0{,}3mm$ *Rissbreitennachweis*

Eurocode 2 ist ausreichend – NA kann aufgehoben werden

Rissbreiten und Oberflächenbewehrung



Quelle: A. Ignatiadis, DAfStb

55. Forschungskolloquium des DAfStb

26. und 27. November 2014, Düsseldorf

Weiterentwicklung von Bemessungs- und Konstruktionsregeln bei großen Stabdurchmessern (> Ø 32 mm, BSt500)

Josef Hegger — RWTH AACHEN UNIVERSITY

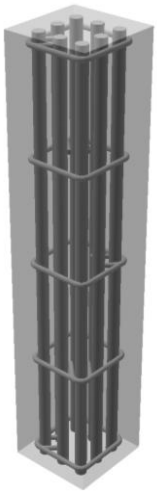
Jürgen Schnell — TECHNISCHE UNIVERSITÄT KAISERSLAUTERN

Martin Empelmann — iBMB MPA

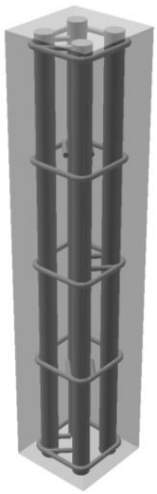
Weiterentwicklung von Bemessungs- und Konstruktionsregeln bei großen Stabdurchmessern (> Ø32 mm, B500)

Tragverhalten von Druckgliedern

- Vereinfachung in der Bewehrungsführung bei hochbewehrten Konstruktionen
- Verringerung der Anzahl der Bewehrungslagen und damit des Verlegeaufwands
- Vermeidung von Stabbündeln und komplexen Stoß- und Übergreifungskonstruktionen
- Vereinfachung beim Betonieren und Verdichten aufgrund der größeren Stababstände



8 Ø28 mm



4 Ø40 mm

Stand der Normung und der Technik

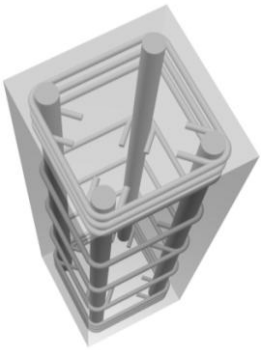
Erläuterung		EC2+NA		AbZ
		Ø12 – Ø32 mm	Zusatz für Ø40 mm	Ø40 mm
Form	mind. Bauteildicke	$min(h,b) \geq \begin{cases} 200\ mm \\ 120\ mm\ (FT) \end{cases}$	$min(h,b) \geq 15 \cdot \phi_l$	$min(h,b) \geq 15 \cdot \phi_l$
Beton	mind. Beton-festigkeitsklasse	C16/20	?	C20/25
	max. Beton-festigkeitsklasse	C100/115	?	C60/75
Bügelbew.	mind. Durch-messer	$\phi_w \geq \begin{cases} 6\ mm \\ 0{,}25 \cdot \phi_l \end{cases}$	$\phi_w \geq 12\ mm$	$\phi_w \geq 12\ mm$
	max. Abstände – allgemein	$s_{cl,tmax} \leq \begin{cases} 12 \cdot \phi_l \\ min(h,b) \\ 300\ mm \end{cases}$	$s_{cl,tmax} \leq \begin{cases} min(h/2, b/2) \\ 300\ mm \end{cases}$	$s_{cl,tmax} \leq \begin{cases} min(h/2, b/2) \\ 300\ mm \end{cases}$
Längsbew.	max. Querschnitts-fläche	$A_{s,max} = 0{,}09 \cdot A_c$	?	
	max. Anzahl je Ecke	5	?	1
	max. Abstand zur Ecke	$s_{ct,lmax} \leq 15 \cdot \phi_w$	?	nicht zulässig
	Übergreifungsstoß	zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig

Forschungsziel

- Übertragung der Regelungen nach EC2+NA auf Druckglieder mit Längsbewehrung > Ø32 mm ist experimentell nicht abgesichert.

→ Experimentelle und theoretische Untersuchungen an NSC- und HPC-Druckgliedern mit Rechteck-querschnitt und Längsbewehrungsstäben Ø40 mm zur Klärung folgender Punkte:

  – Mindestbauteildicke
  – Mindest- und maximale Betonfestigkeit
  – Bügeldurchmesser und Bügelabstände
  – Maximale Anzahl von Längsstäben je Bügelecke
  – Druckstöße und Bewehrungsgrad

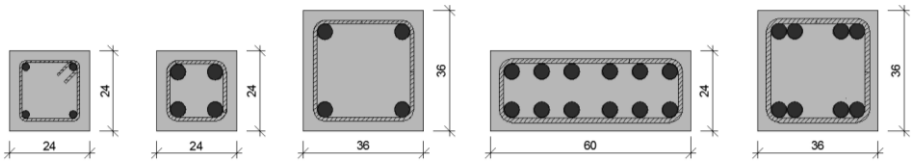


Ziel: Erweiterung bestehender Bemessungsansätze und Konstruktionsregeln zur Anwendung von Bewehrungsstäben Ø40 mm als Längsbewehrung in Druckgliedern.

Versuchsprogramm

- S 0 Referenzversuche mit Längsbewehrung Ø20 mm → 3 Versuche
- S 1 Versuche zur Mindestbauteilabmessung → 3 Versuche
- S 2 Versuche zum Einfluss der Bügelbewehrung → 6 Versuche
- S 3 Versuche zur zulässigen Stabanzahl je Bügelecke → 6 Versuche
- S 4 Versuche zur Druckstoßausbildung → 5 Versuche

S 0 S 1 S 2 S 3 S 4



L = 1,50 m L = 1,50 m L = 1,50 m L = 1,50 m L = 2,06 m

Herstellung der Versuchskörper

S 0.3 S 1.3 S 2.3 S 3.3 S 4.2

Versuchsaufbau

10-MN-Druckprüfer

30-MN-Druckprüfer

Experimentelle Ergebnisse S 0, S 1, S 2 und S 3

S 1.3
4 Ø40 ▪ Bü Ø8/24
HPC

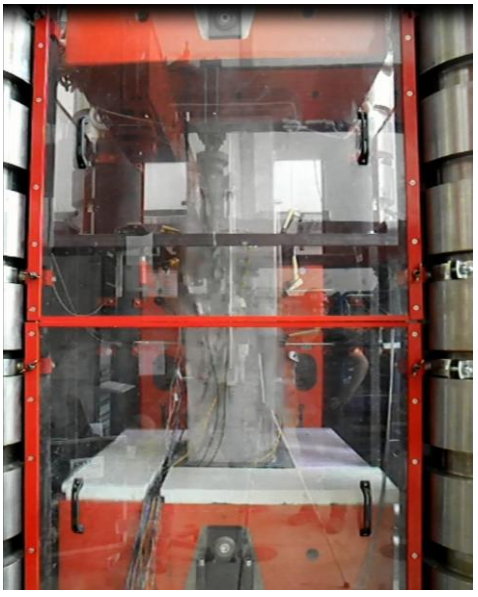
S 2.3
4 Ø40 ▪ Bü Ø8/48
NSC

S 2.5
4 Ø40 ▪ Bü Ø8/48
HPC

S 3.3
12 Ø40 ▪ Bü Ø12/30
NSC

Versagen S 2.5

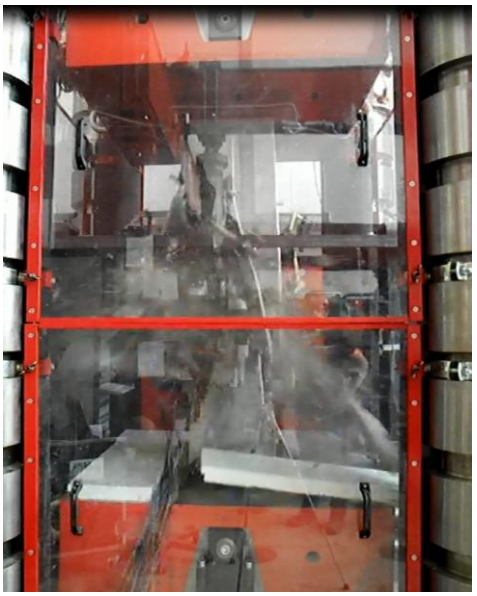
Versagen S 2.5



Versagen S 2.5

Versagen S 2.5

Versagen S 2.5



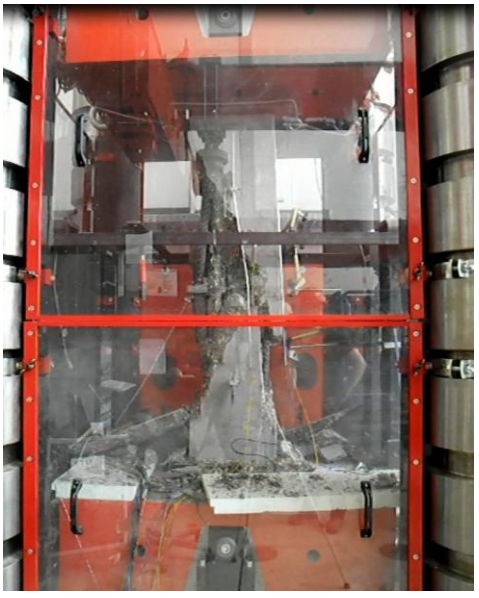
Versagen S 2.5

Versagen S 2.5

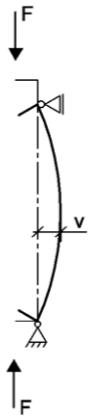
Versagen S 2.5

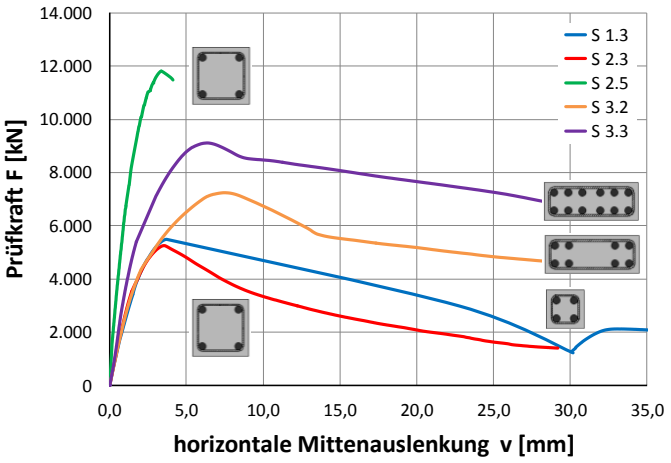
Versagen S 2.5

Versagen S 2.5



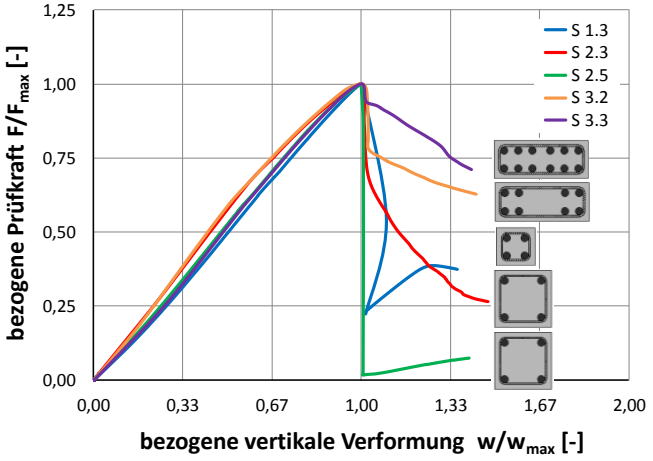
Experimentelle Ergebnisse S 0, S 1, S 2 und S 3





- Längsbewehrungsgrad → Höhe der Traglast
- Bügelbewehrungsgrad → Nachbruchverhalten

Experimentelle Ergebnisse S 0, S 1, S 2 und S 3



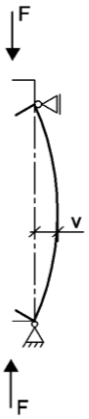
- Längsbewehrungsgrad → Höhe der Traglast
- Bügelbewehrungsgrad → Nachbruchverhalten

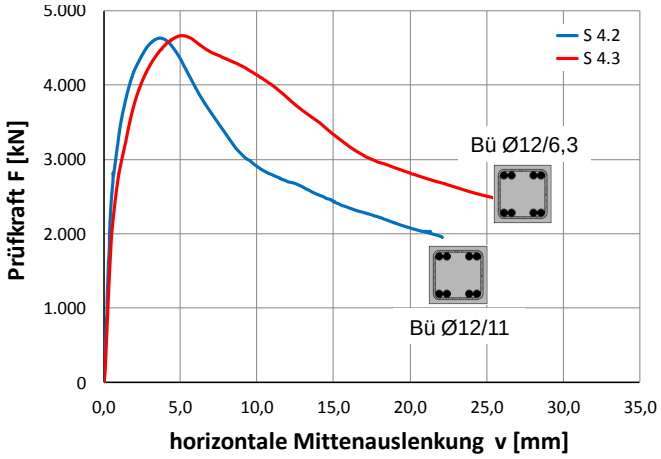
Experimentelle Ergebnisse S 4

S 4.2
2x4 Ø40 ▪ Bü Ø12/11
NSC

S 4.3
2x4 Ø40 ▪ Bü Ø12/6,3
NSC

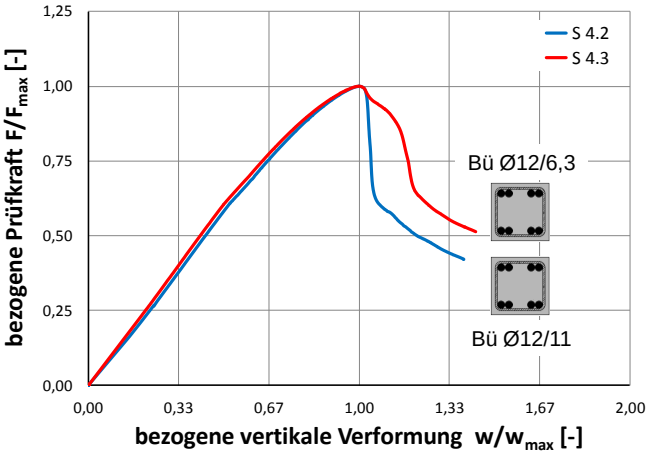
Experimentelle Ergebnisse S 4





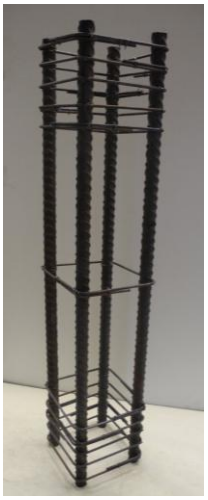
- Durchstanz- bzw. Verbundversagen

Experimentelle Ergebnisse S 4



- Durchstanz- bzw. Verbundversagen

Weitere Auswertung Versuch S 2.3



Bewehrungskorb

Stütze nach Versuch

3D-Laserscan
Bruchvolumen 13,8 %

Versuchs- und Versagensmatrix

Versuch	b/h [cm]	Längsbewehrung			Bügelbewehrung		Beton	Versagen robust	Bügelbew. intakt	Längsbew. intakt
		Anzahl [Stk.]	Ø [mm]	ρ_L [%]	Ø [mm]	Abstand [cm]				
S 0.1	24/24	4	20	2,2	6	24	NSC	X	X	
S 0.2	24/24	4	20	4,4	6	24	NSC	X		
S 0.3	24/24	4	20	2,2	6	24	HPC			
S 1.1	24/24	4	40	8,7	8	24	NSC	X	X	X
S 1.2	24/24	4	40	8,7	8	24	NSC	X	X	X
S 1.3	24/24	4	40	8,7	8	24	HPC		X	
S 2.1	36/36	4	40	3,9	8	30	NSC	X	X	
S 2.2	36/36	4	40	3,9	12	30	NSC	X	X	
S 2.3	36/36	4	40	3,9	8	48	NSC	X		
S 2.4	36/36	4	40	3,9	12	48	NSC	X	X	
S 2.5	36/36	4	40	3,9	8	48	HPC			
S 2.6	36/36	4	40	3,9	12	48	HPC			
S 3.1	60/24	4	40	3,5	12	30	NSC	X	X	X
S 3.2	60/24	8	40	7,0	12	30	NSC	X	X	X
S 3.3	60/24	12	40	10,5	12	30	NSC	X	X	X
S 3.4	60/24	12	40	10,5	8	30	NSC	X	X	
S 3.5	60/24	8	40	7,0	12	30	HPC			
S 3.6	60/24	12	40	10,5	12	30	HPC			

Vorschlag auf Grundlage der Versuche

Erläuterung		EC2+NA		Vorschlag
		Ø12 – Ø32 mm	Zusatz für Ø40 mm	Ø40 mm
Form	mind. Bauteil-dicke	$min(h,b) \geq \begin{cases} 200\ mm \\ 120\ mm\ (FT) \end{cases}$	$min(h,b) \geq 15 \cdot \phi_l$	$min(h,b) \geq \begin{cases} 200\ mm \\ 120\ mm\ (FT) \end{cases}$
Beton	mind. Beton-festigkeitsklasse	C16/20		C16/20
Beton	max. Beton-festigkeitsklasse	C100/115		C100/115
Bügelbew.	mind. Durch-messer	$\phi_w \geq \begin{cases} 6\ mm \\ 0{,}25 \cdot \phi_l \end{cases}$	$\phi_w \geq 12\ mm$	$\phi_w \geq \begin{cases} 6\ mm \\ 0{,}25 \cdot \phi_l \end{cases}$
Bügelbew.	max. Abstände – allgemein	$s_{cl,tmax} \leq \begin{cases} 12 \cdot \phi_l \\ min(h,b) \\ 300\ mm \end{cases}$	$s_{cl,tmax} \leq \begin{cases} min(h/2, b/2) \\ 300\ mm \end{cases}$	$s_{cl,tmax} \leq \begin{cases} 12 \cdot \phi_l \\ min(h,b) \\ 300\ mm \end{cases}$
Längsbew.	max. Quer-schnittsfläche	$A_{s,max} = 0{,}09 \cdot A_c$		$A_{s,max} = 0{,}09 \cdot A_c$
Längsbew.	max. Anzahl je Ecke	5		3
Längsbew.	max. Abstand zur Ecke	$s_{ct,lmax} \leq 15 \cdot \phi_w$		$s_{ct,lmax} \leq 15 \cdot \phi_w$
Längsbew.	Übergreifungs-stoß	zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig

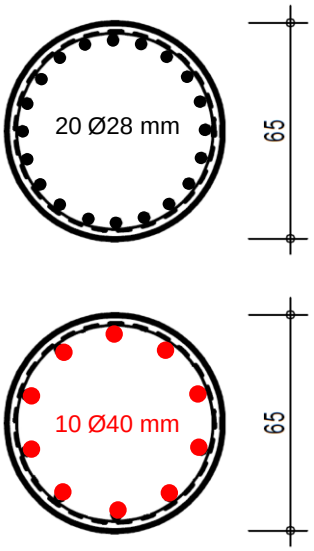
Zusammenfassung

1. Die Versuchskörper aus normalfestem Beton versagten robust (Betonbruch).
2. Die Versuchskörper aus hochfestem Beton versagten schlagartig (Betonbruch).
3. Die max. Traglast wurde bei der Versuchserie S 0, S 1, S 2 und S 3 durch den Längsbewehrungsgrad beeinflusst.
4. Die max. Traglast wurde bei der Versuchserie S 0, S 1, S 2 und S 3 nicht durch den Bügelbewehrungsgrad beeinflusst.
5. Das Nachbruchverhalten wurde bei der Versuchserie S 0, S 1, S 2 und S 3 durch den Bügelbewehrungsgrad beeinflusst.
6. Bei den Versuchen der Serie S 4 zur Druckstoßausbildung (Übergreifungsstoß) trat vorzeitig ein Durchstanz- bzw. Verbundversagen auf.
7. Auf Basis der experimentellen und theoretischen Untersuchungen wurden Vorschläge formuliert, die als Grundlage für eine Anpassung der Konstruktionsregeln nach EC2+NA dienen könnten.

Hochbau – Business Center BraWoPark – Stützen

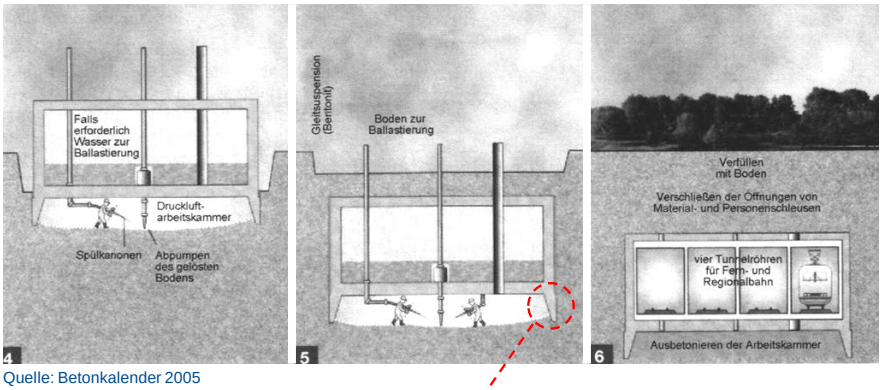
Quelle: Reichel + Stauth Architekten

Hochbau – Business Center BraWoPark – Stützen



Tiefbau – Fernbahntunnel Berlin – Senkkasten

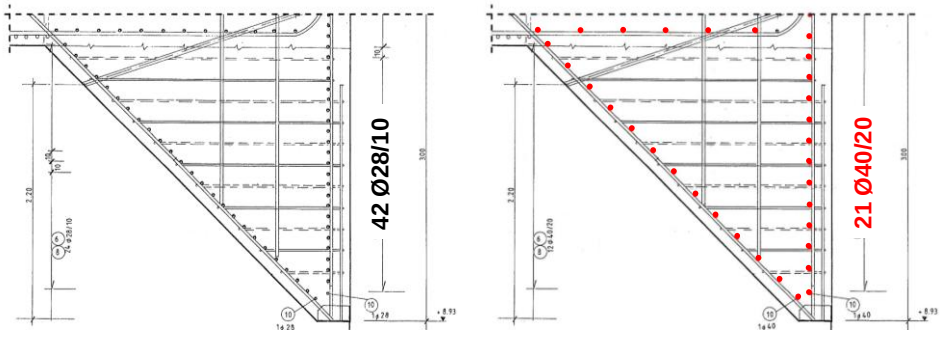
Tiefbau – Fernbahntunnel Berlin – Senkkasten



Quelle: Betonkalender 2005

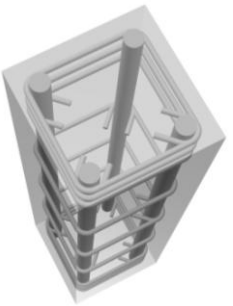
Detail

Tiefbau – Fernbahntunnel Berlin – Senkkasten



Ende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



ALLIANZ INDUSTRIE FORSCHUNG

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages