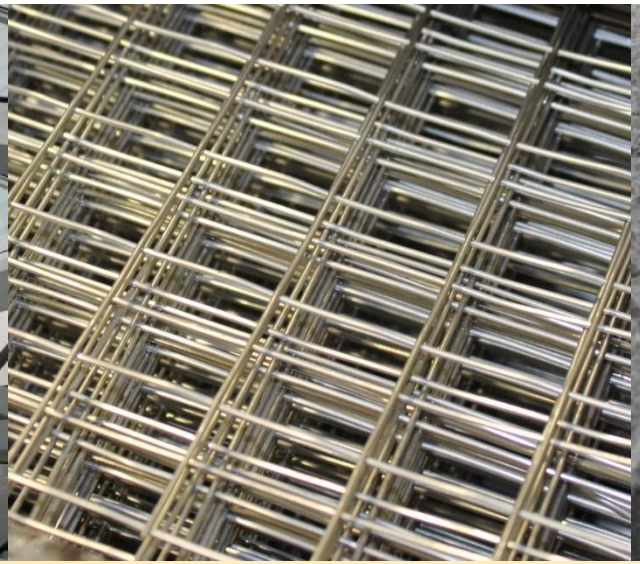
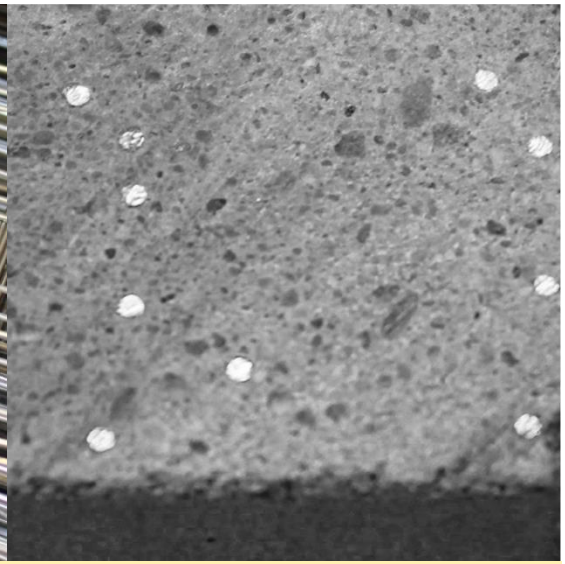
Technische Universität Braunschweig

iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG

4. Jahrestagung des DAfStb – Braunschweig – 16. und 17. November 2016

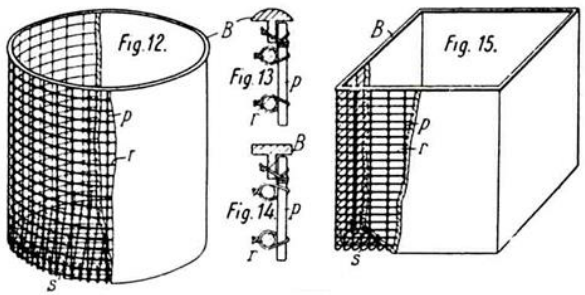
Mikrobewehrung in dünnen Betonbauteilen

Daniel Busse
Technische Universität Braunschweig, iBMB, Fachgebiet Massivbau

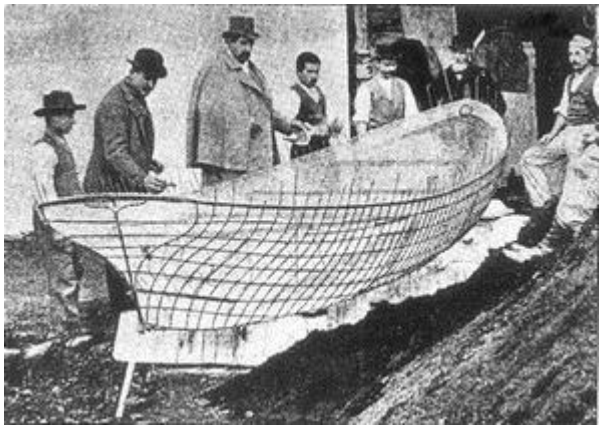
Mikrobewehrung

Von MONIER's Blumenkübeln und LAMBOT's Betonbooten…

alchetron.com



selbst.de



ACI 549R-16 (Draft)

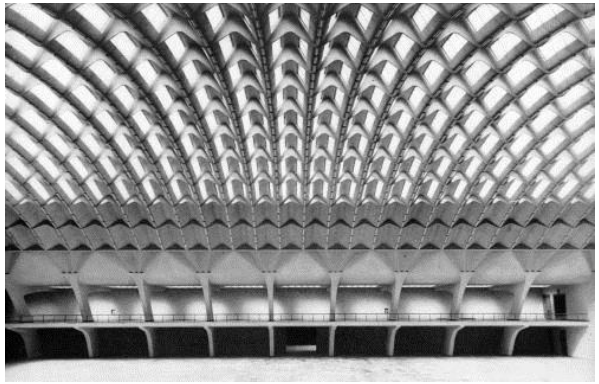
Mikrobewehrung

…über P. L. NERVI's „ferro-cemento"…

thearchiblog.wordpress.com

architetto.info

db-bauzeitung.de



... the most brilliant artist in reinforced concrete of our time

Nikolaus Pevsner

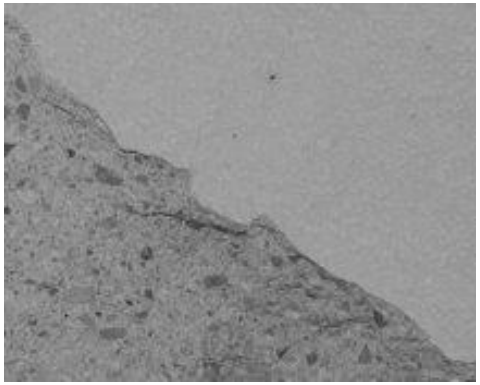
Mikrobewehrung

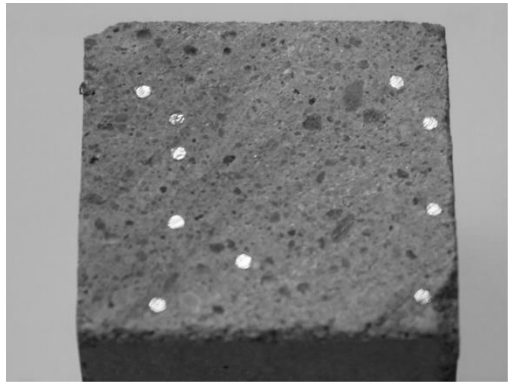
…zum High-Performance-Werkstoff.

beton-campus.de

textilbeton-aachen.de

ingenieur.de





Ultraleichte, dünnwandige Betonbauteile

DFG SPP 1542 „Leicht Bauen mit Beton“

- Optimierung leichter, stabförmiger Bauteile
- Kraftfluss- und Materialoptimierung

2D- und 3D-Fachwerkstrukturen

- Überwiegende Normalkraftbeanspruchung
- Sekundäre Biege- und Querkraftbeanspruchung

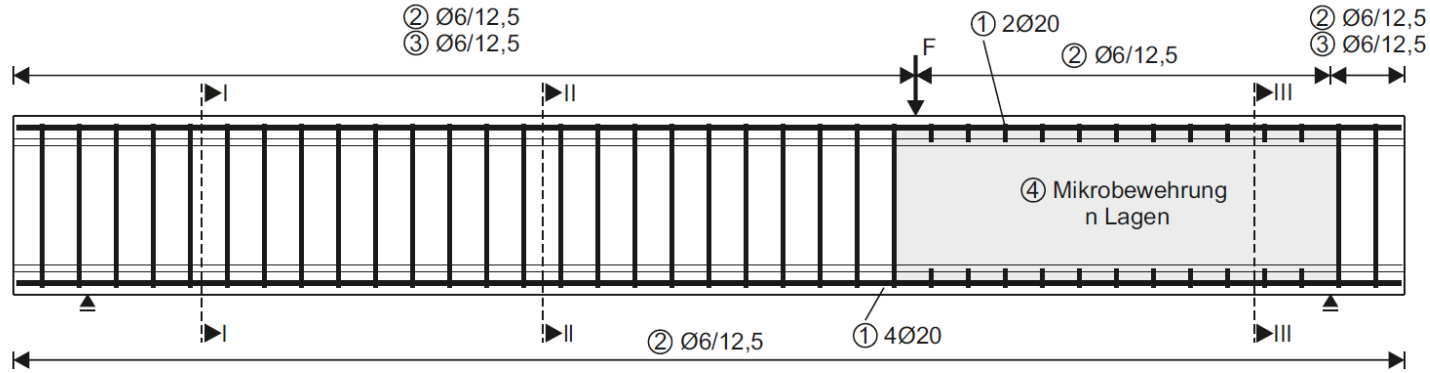
Ultraleichte, dünnwandige Betonbauteile

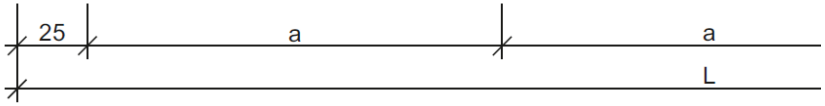
- Wandstärke d = 2,0 - 3,0 cm
- Hochfester, selbstverdichtender Feinkornbeton
- Mehrlagige Mikrobewehrung Ø = 0,5 - 2,0 mm

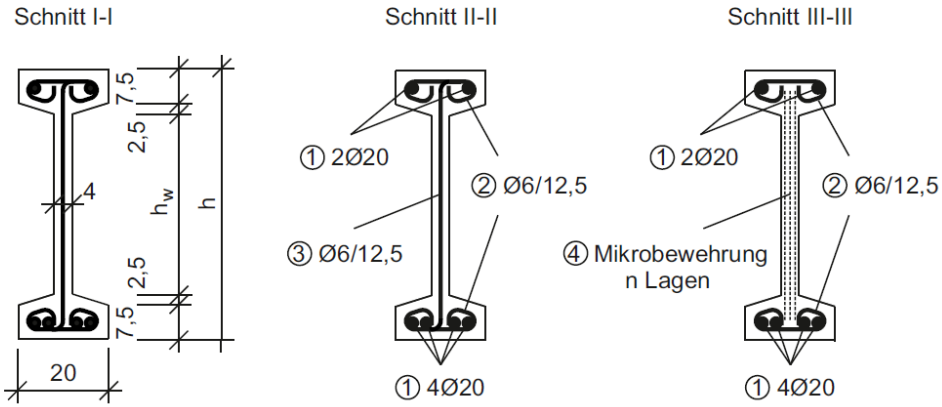
flickr.com

Querkraftversuche

Grundlagen







Querkraftversuche

Versuchsprogramm

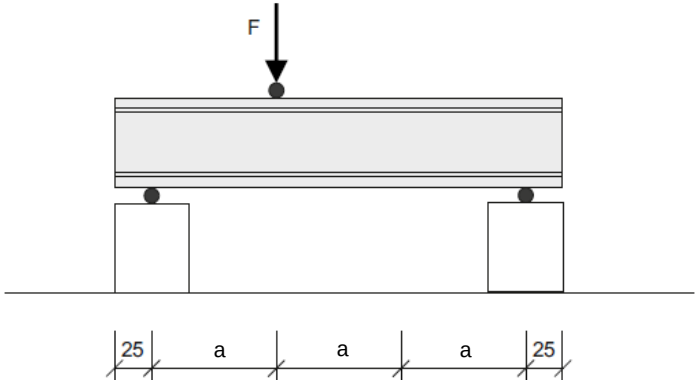
VK	*L*	*h*	b_w	*a/d*	Bewehrung	
Q0	4,00 m	60 cm	4 cm	2,5	B500 Ø6	ρ_w = 0,6 %
Q1	4,00 m				MB Ø1/20	ρ_w = 0,5 %
Q2	4,70 m					ρ_w = 1,0 %
Q3	4,60 m					ρ_w = 1,5 %
Q4	3,20 m	40 cm				ρ_w = 0,5 %
Q5	3,20 m					ρ_w = 1,5 %
Q6	5,20 m	80 cm				ρ_w = 0,5 %
Q7	3,85 m	60 cm		2,0		
Q8	3,02 m			1,5		

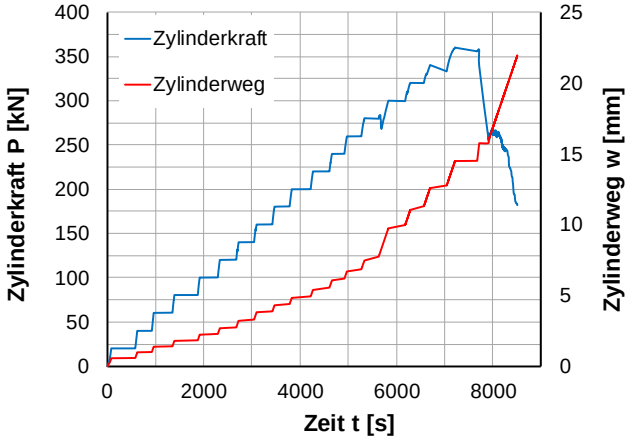
Querkraftversuche

Herstellung der Versuchskörper

Querkraftversuche

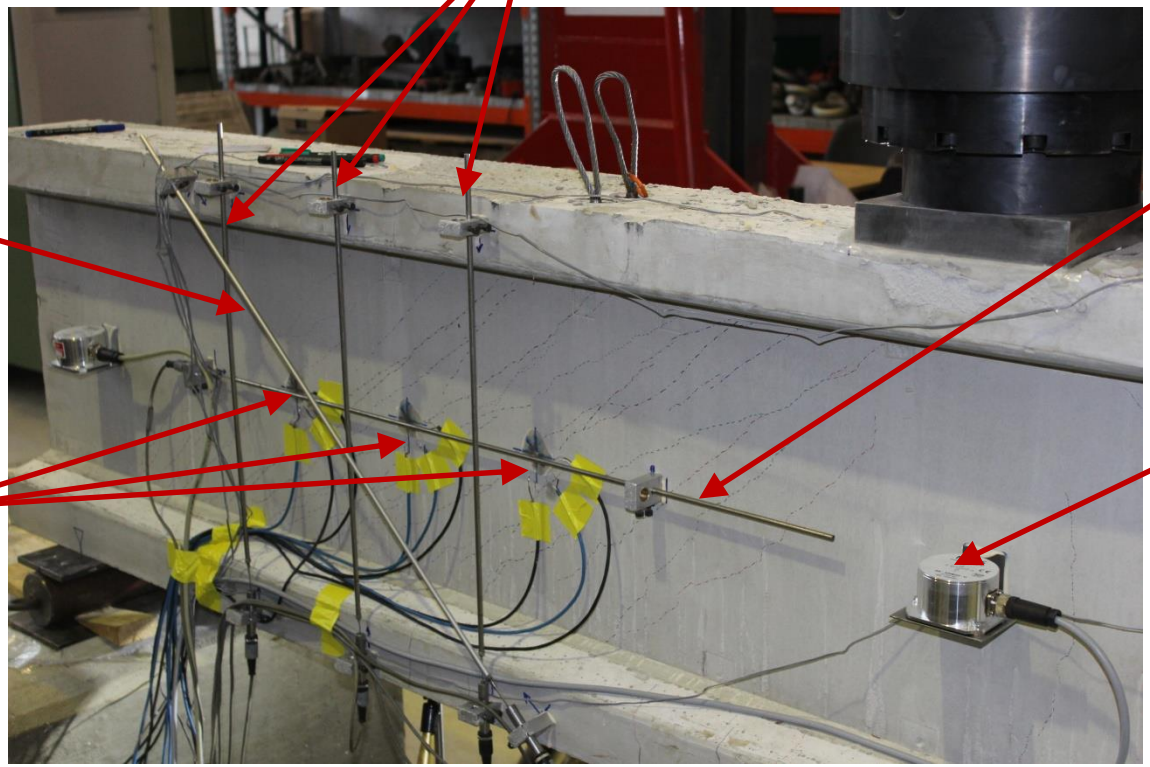
Versuchsaufbau & -durchführung





Querkraftversuche

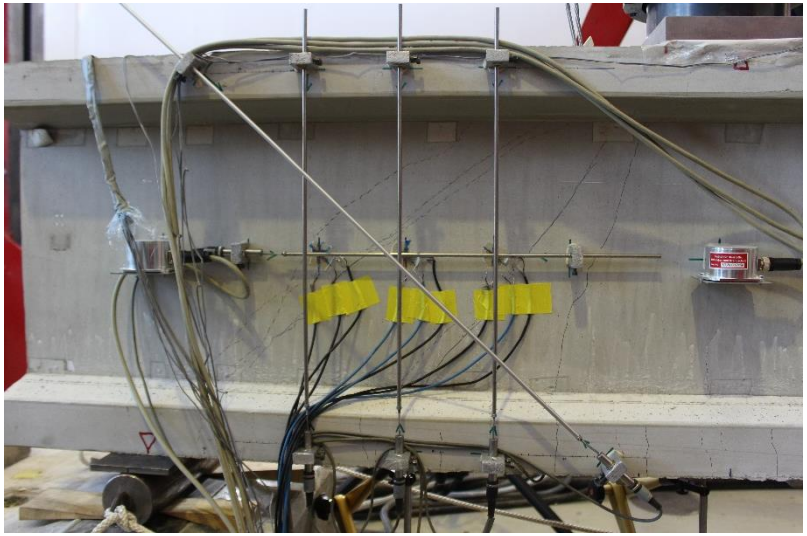
Messtechnik



Querkraftversuche

Messtechnik

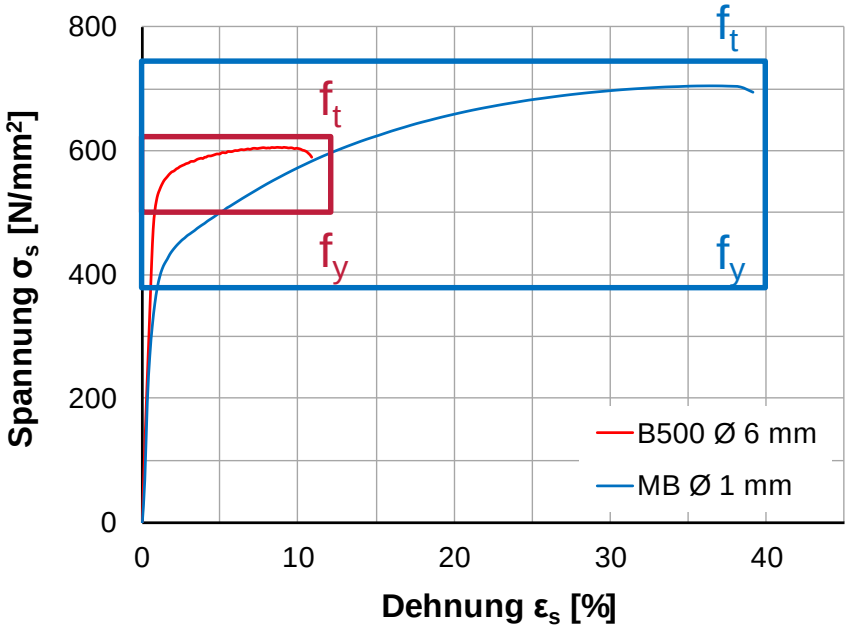
- Flächige Verformungsmessung mit GOM Aramis-System
- Markierung des Rissbilds

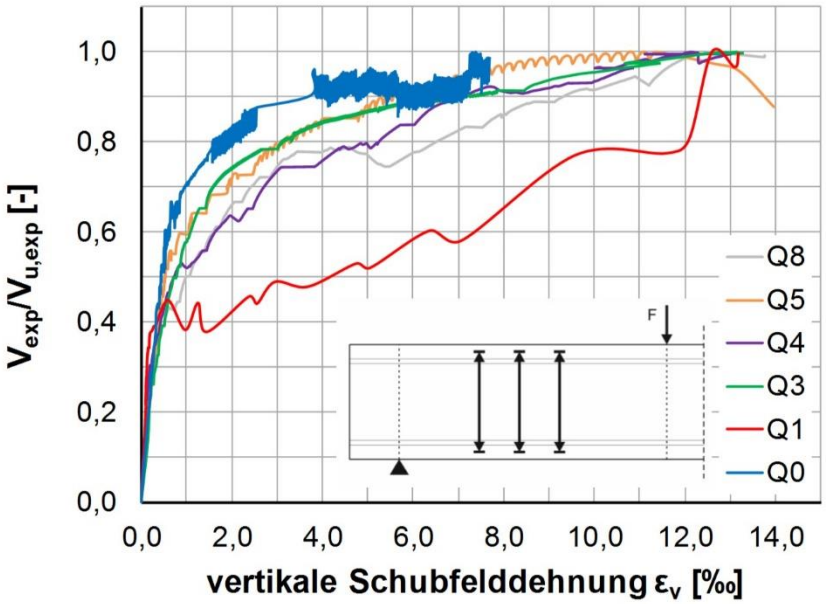


Querkraftversuche

Tragverhalten

- Last-Verformungs-Kurven
- Aktivierung der Querkraftbewehrung

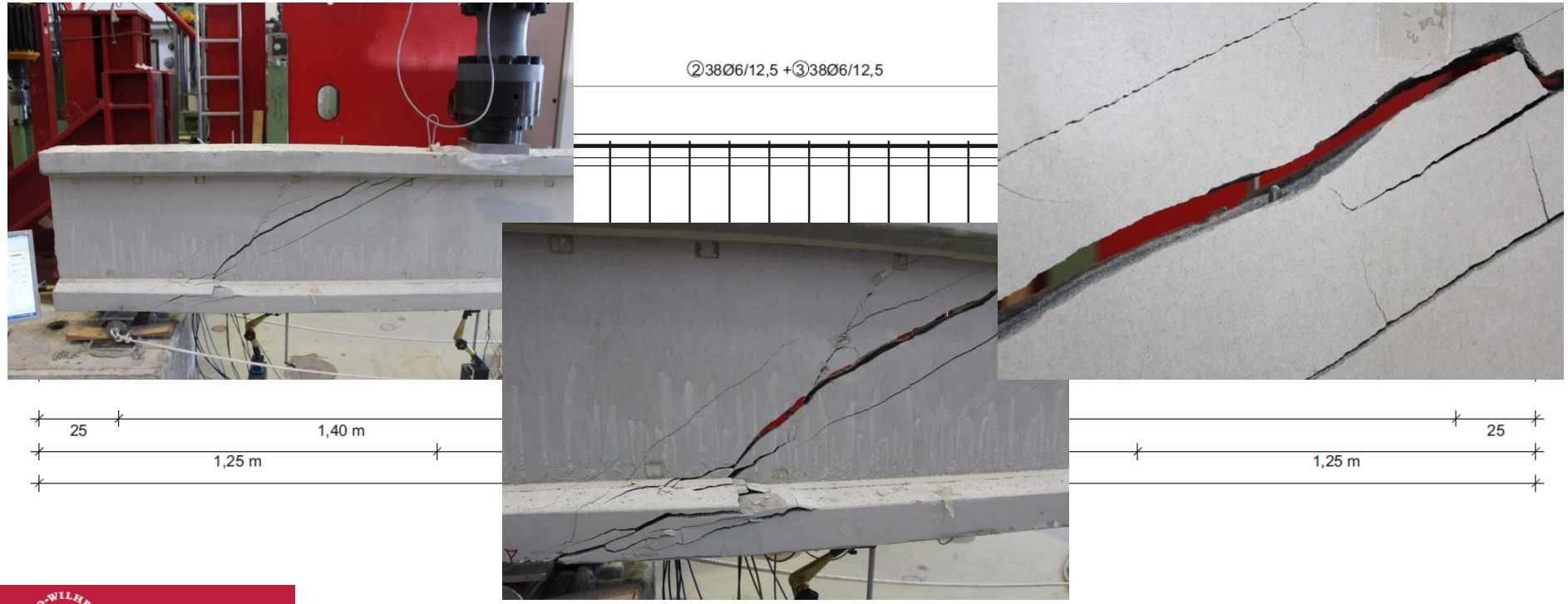




Tragverhalten

Q0 – Referenzversuch

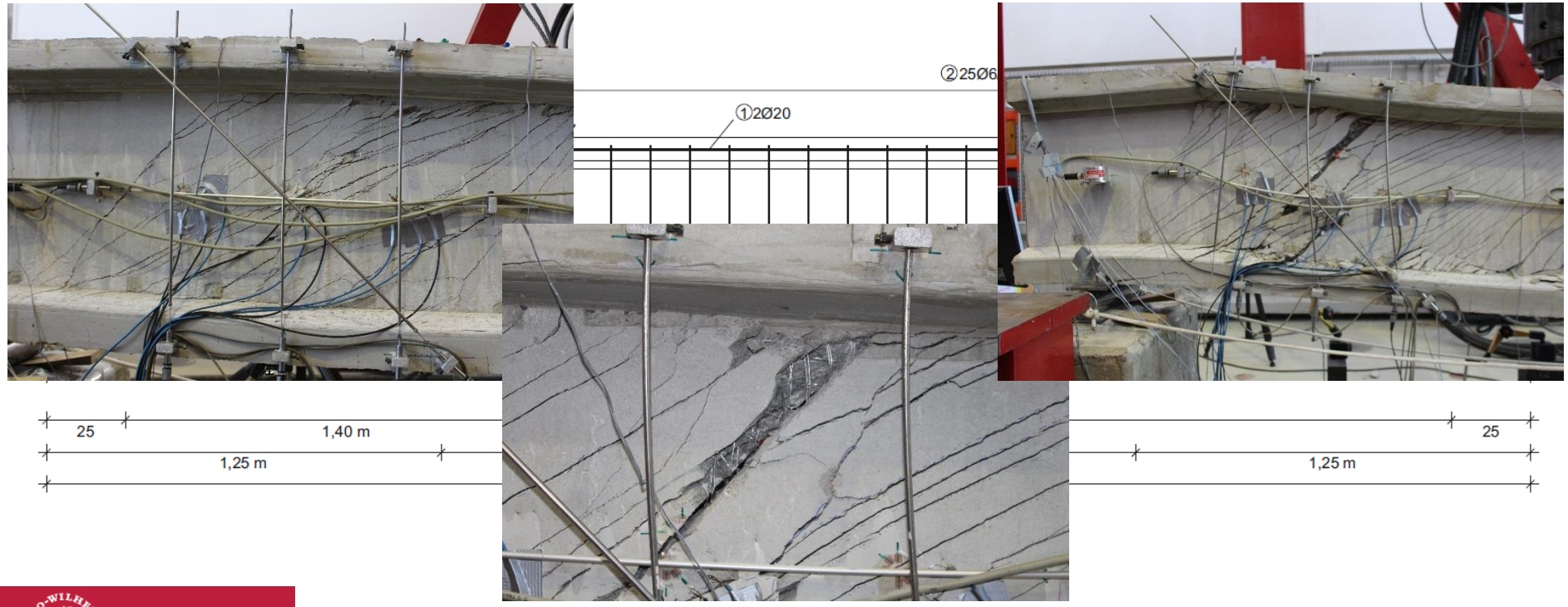
- Bewehrung B500
- grobes Rissbild
- Versagen der Zugstrebe



Tragverhalten

Q1 – Mikrobewehrter Beton

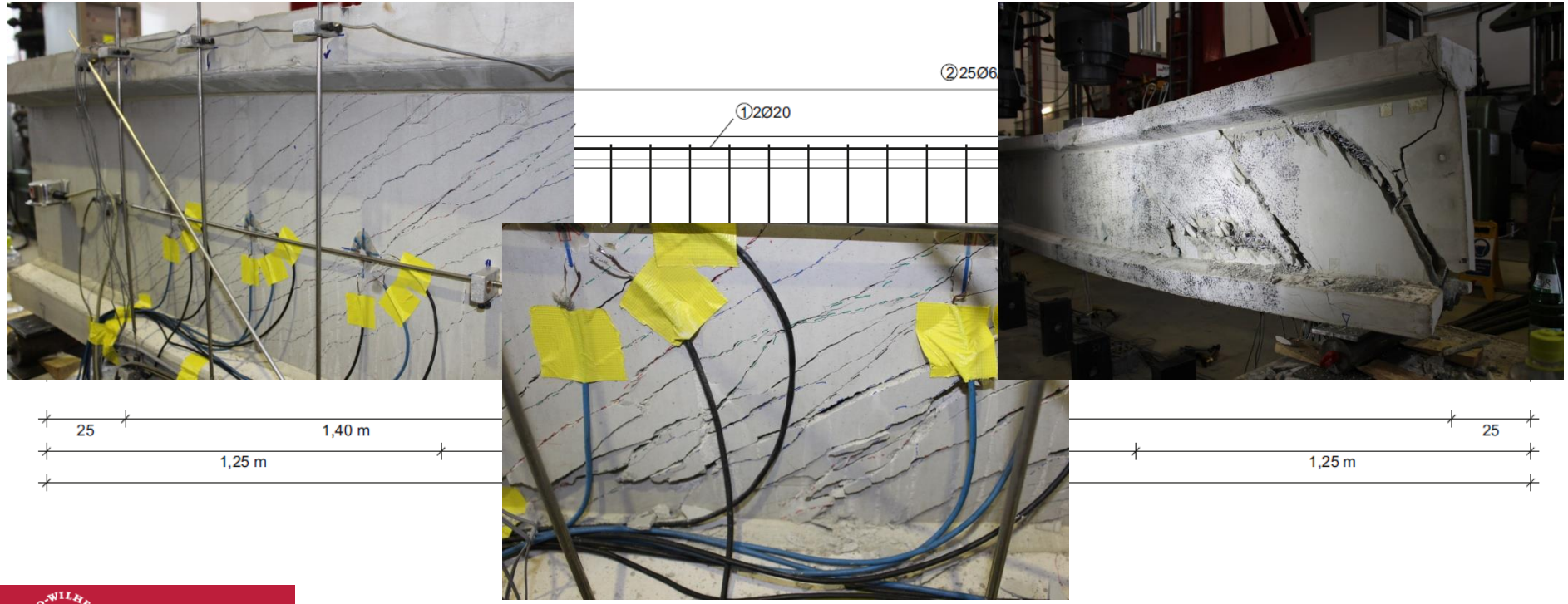
- Mikrobewehrung Ø1/20 – ρ_w = 0,5 %
- feines Rissbild
- Versagen der Zugstrebe



Tragverhalten

Q3 – Mikrobewehrter Beton

- Mikrobewehrung Ø1/20 – ρ_w = 1,5 %
- feines Rissbild
- Sekundäres Betonversagen

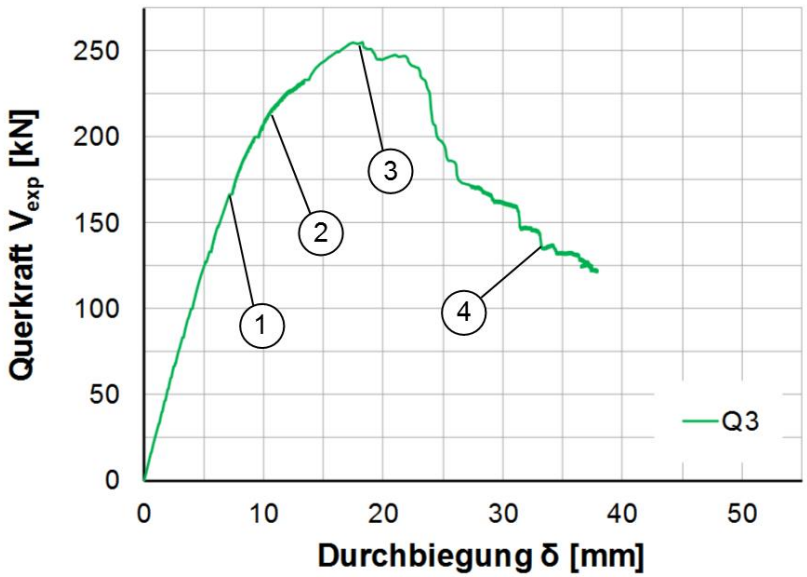


Querkraftversuche

Vergleich der Bewehrungskonzepte

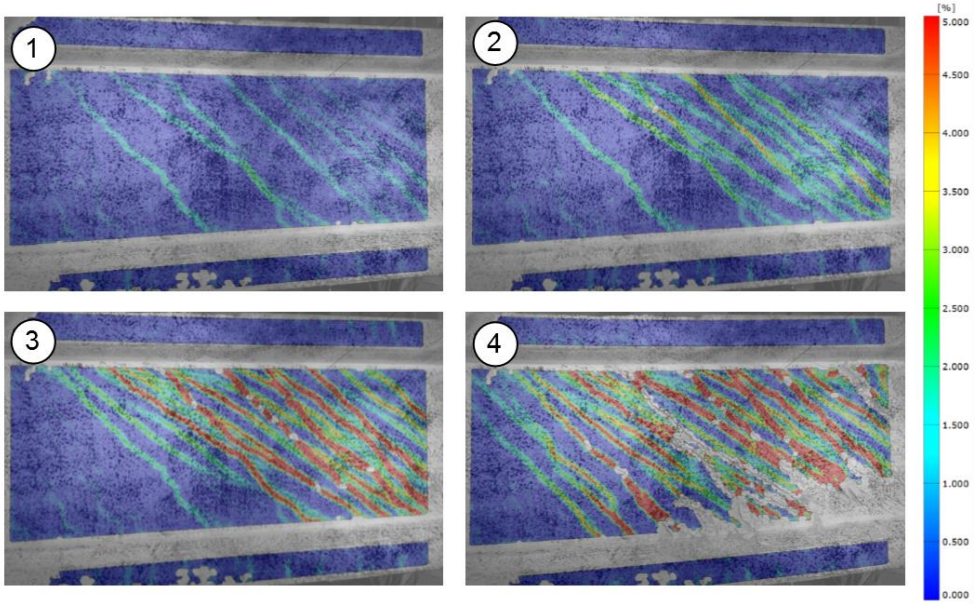
- B500: grobes Rissbild, schlagartiges Versagen
- Mikrobewehrung: feines Rissbild, robustes Versagen

Q0 - B500



Q1 - MB (0,5 %)

Q3 - MB (1,5 %)



Querkraftversuche

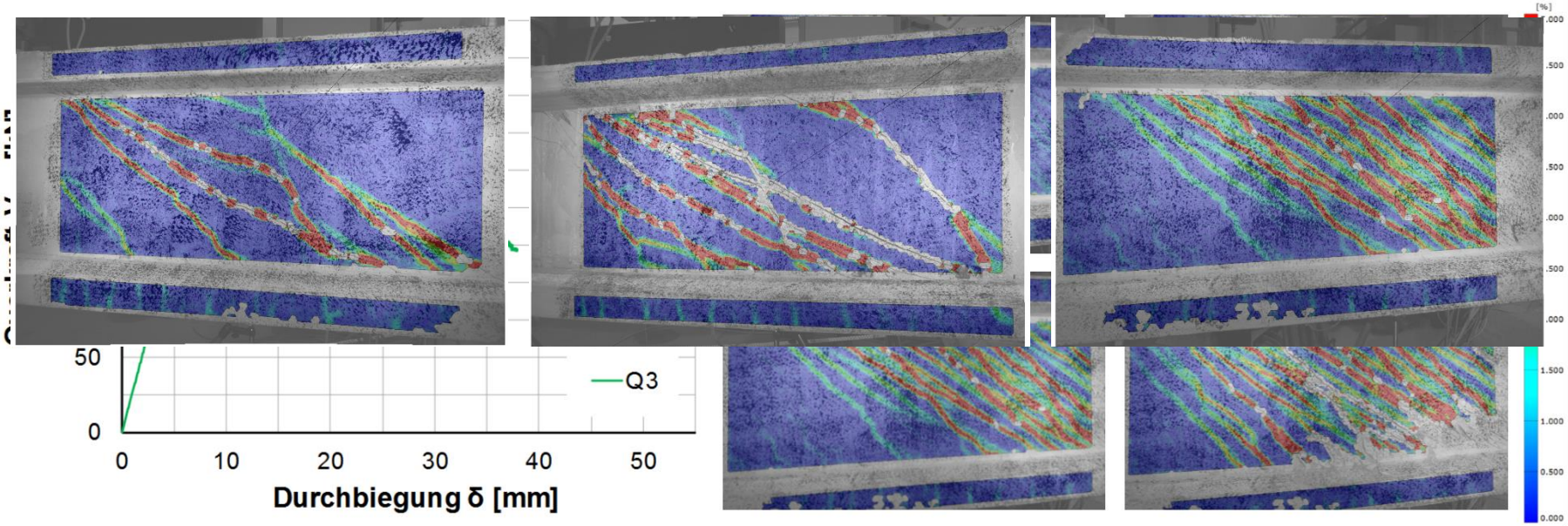
Vergleich der Bewehrungskonzepte

- B500: grobes Rissbild, schlagartiges Versagen
- Mikrobewehrung: feines Rissbild, robustes Versagen

Q0 - B500

Q1 - MB (0,5 %)

Q3 - MB (1,5 %)



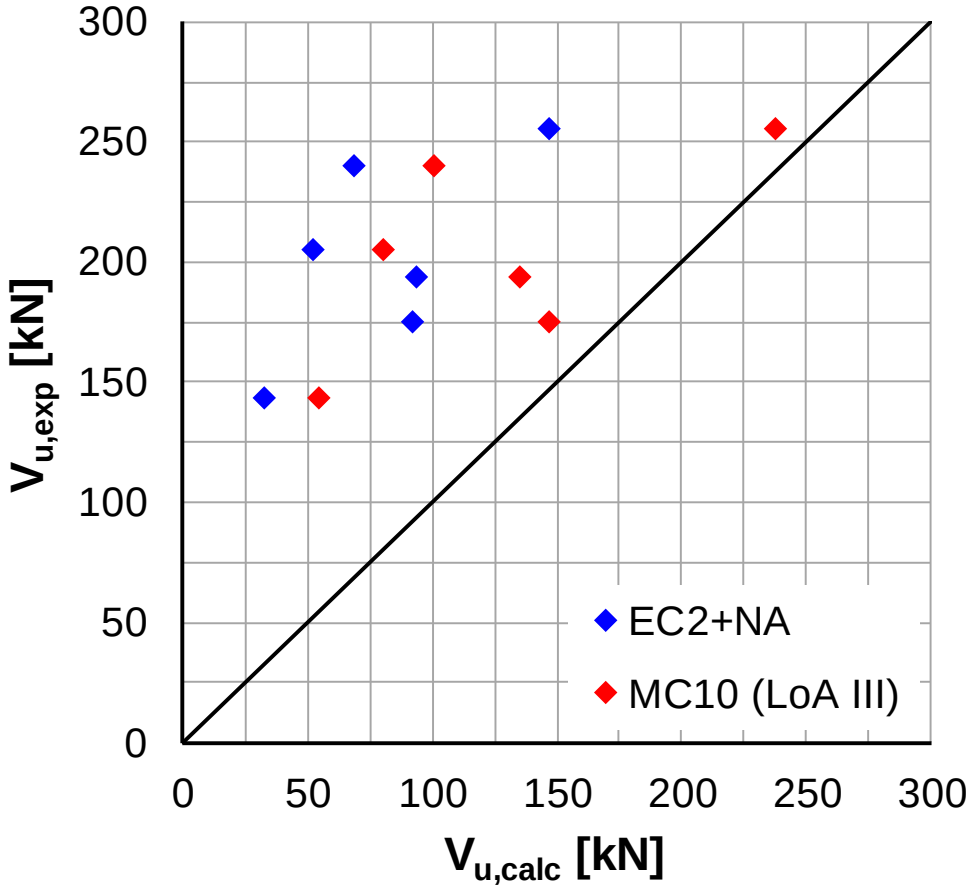
Querkraftversuche

Ansatz nach EC2+NA

- Fachwerkmodell mit Rissreibung
- $V_R = V_S$

Ansatz nach MC2010 (LoA III)

- Simplified Modified Compression Field Theory (SMCFT) + General Stress Field Approach
- $V_R = V_C + V_S$



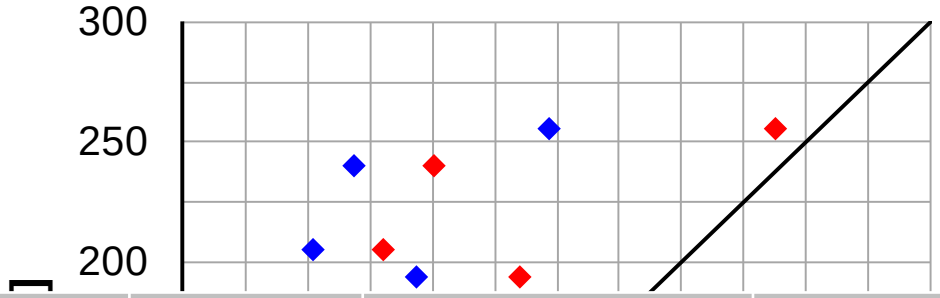
Querkraftversuche

Ansatz nach EC2+NA

- Fachwerkmodell mit Rissreibung
- $V_R = V_S$

Ansatz nach MC2010 (LoA III)

- Simplified Modified Compression



VK	V_{exp} [kN]		V_{EC2+NA} [kN]		γ_{mod}	V_{MC10} [kN]		γ_{mod}
Q0	175	R	92	R	1,9	147	R	1,2
Q1	206	R	52	R	4,0	80	R	2,6
Q3	255	C	147	R	1,7	237	R	1,1
Q4	143	R	33	R	4,4	55	R	2,6
Q5	194	C	94	R	2,1	135	R	1,4
Q8	240	R	68	R	3,5	101	R	2,4

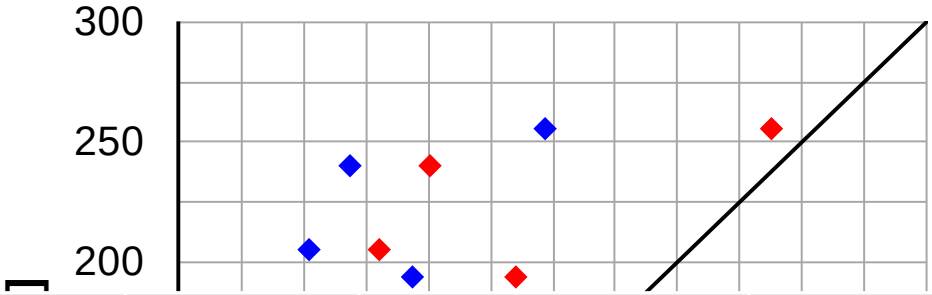
Querkraftversuche

Ansatz nach EC2+NA

- Fachwerkmodell mit Rissreibung
- $V_R = V_S$

Ansatz nach MC2010 (LoA III)

- Simplified Modified Compression

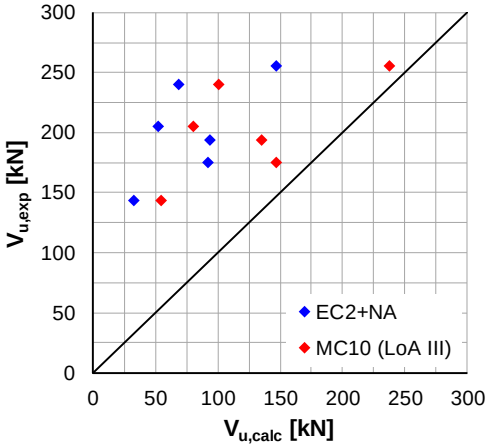


VK	V_{exp} [kN]		V_{EC2+NA} [kN]		γ_{mod}	V_{MC10} [kN]		γ_{mod}
Q0	175	R	92	R	1,9	147	R	1,2
Q1	206	R	52	R	4,0	80	R	2,6
Q3	255	C	612	C	0,42	271	C	0,94
Q4	143	R	33	R	4,4	55	R	2,6
Q5	194	C	392	C	0,49	192	C	1,01
Q8	240	R	68	R	3,5	101	R	2,4

Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

- Querkraftversuche an mikrobewehrten Versuchskörpern
  - Hohe Tragfähigkeiten
  - Gute Versagensvorankündigung
  - Kein schlagartiges Versagen
- Konservative Abschätzung der Tragfähigkeit mit aktuellen Ansätzen
  - EC2+NA → MW = 4,0
  - MC10 (LoA III) → MW = 2,5



Ausblick

- Weitere Querkraftversuche und Auswertungen
- Bewertung und Erweiterung der Berechnungen
  - Berücksichtigung der Steglängsbewehrung
  - Erfassung des sekundären Betonversagens

Ende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Vielen Dank für die Unterstützung:

Dipl.-Ing. Daniel Busse
mail: d.busse@ibmb.tu-bs.de

Prof. Dr.-Ing. Martin Empelmann
mail: m.empelmann@ibmb.tu-bs.de