

Verbundverhalten von eingemörtelten Bewehrungsstäben

Vortrag auf dem 56. Forschungskolloquium des DAfStb,

12.11.2015

Dipl.-Ing. Justus Rex

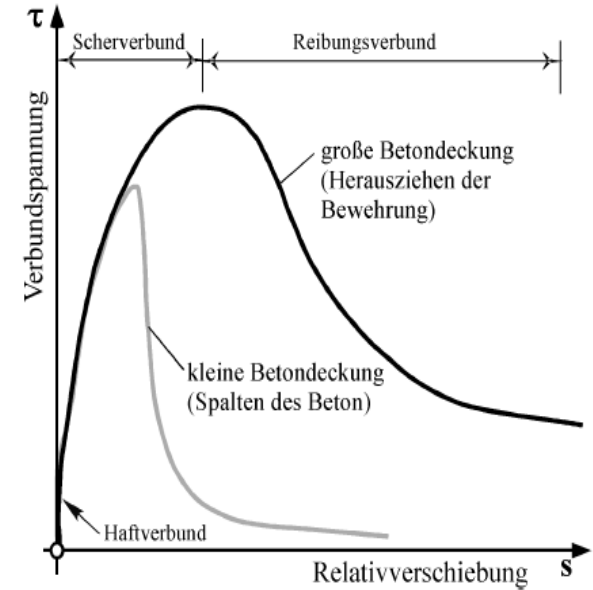
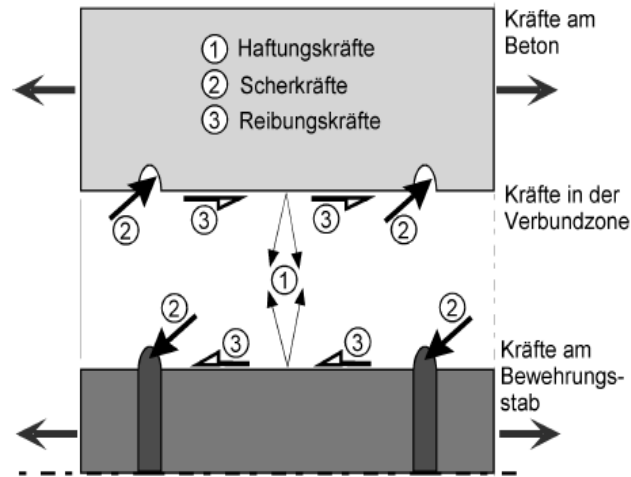


- Grundlagen
- Bemessungsansätze für eingemörtelte Bewehrungsstäbe
- Bisherige Untersuchungen
- Zusammenfassung und Ausblick



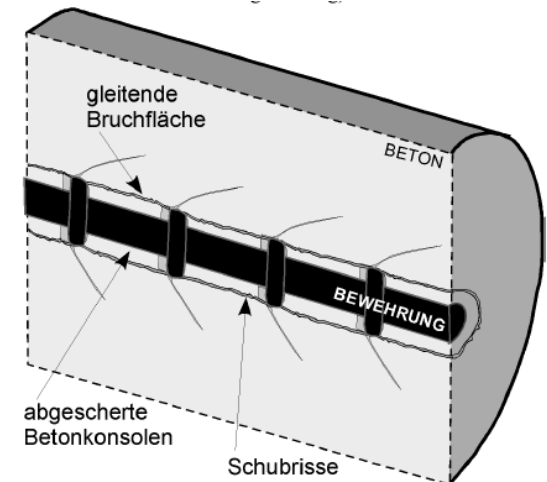
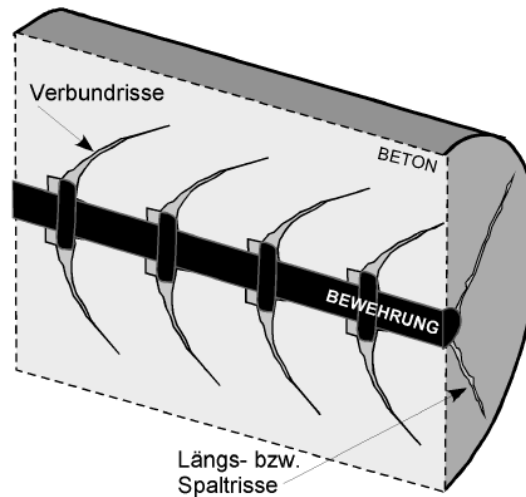
Verbundmechanismen

- Haftverbund (1)
- Scherverbund (2)
- Reibungsverbund (3)



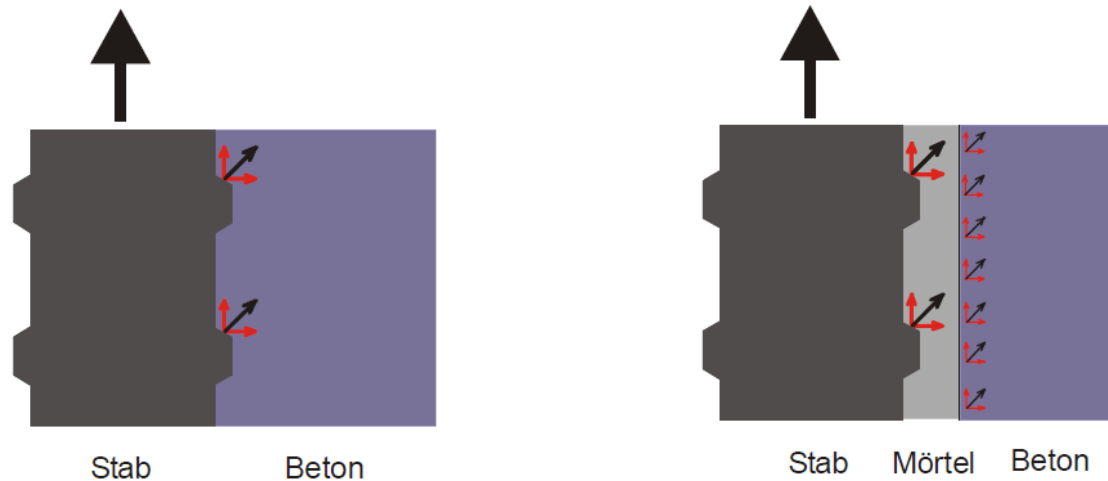
Versagensarten

- Spalten der Betondeckung
- Herausziehen der Bewehrung
- Stahlversagen



Einflussparameter auf das Verbundverhalten:

- Betoneigenschaften (Festigkeit, Rezeptur, Alter...)
- Stahleigenschaften (Rippengeometrie, Durchmesser, Streckgrenze)
- Bauteilgeometrie (Betondeckung, umschnürende Bewehrung)
- Mörtleigenschaften (Adhäsions- und Kohäsionkräfte)
- Bohrlochoberfläche (Beschaffenheit, Sauberkeit)

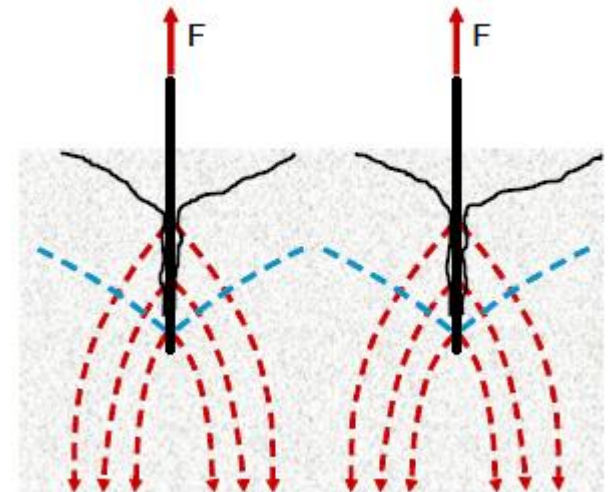
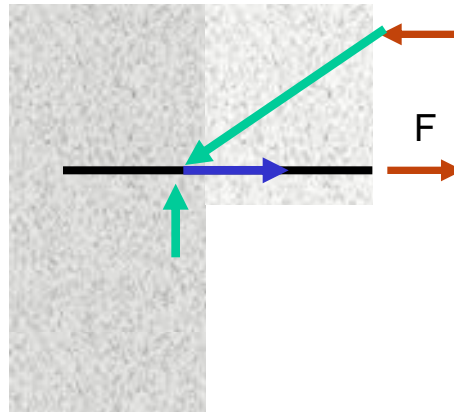
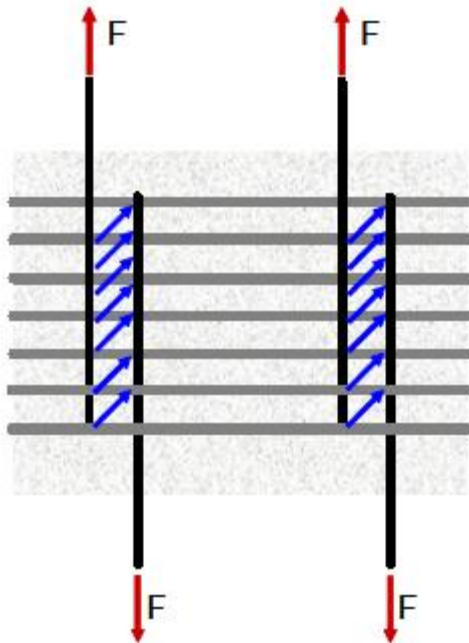


Stahlbetontheorie

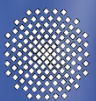
- Stabwerkmodelle mit Zug- (Bewehrung) und Druckstreben (Beton)
- Zugfestigkeit des Betons wird nicht berücksichtigt
=> Übergreifungsstöße oder Endverankerungen

Dübeltheorie

- Nachweise über verschiedene Versagensarten
- Zugfestigkeit des Betons ist essentiell für Nachweis gegenüber Betonausbruch

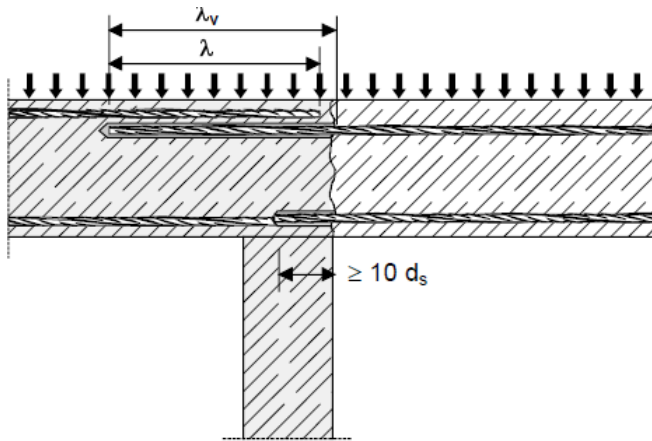


Simons (2007)

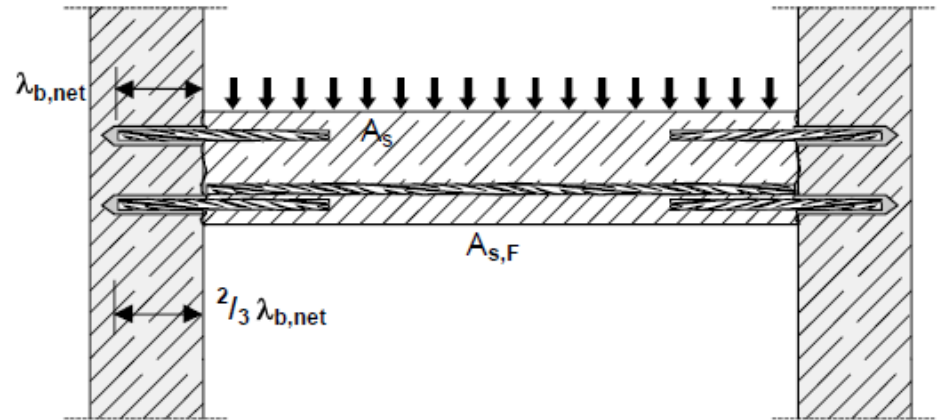


- Anwendungsmöglichkeiten von Anschlüssen mit eingemörtelten Bewehrungsstäben

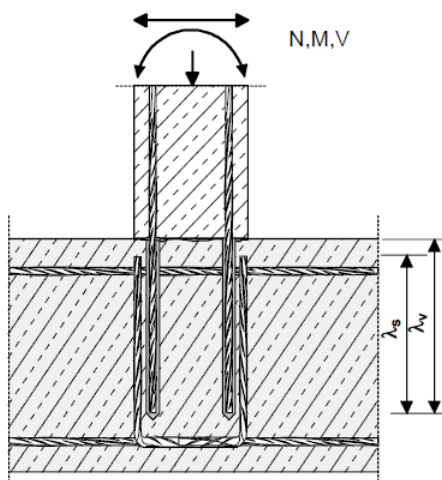
(EOTA TR023)



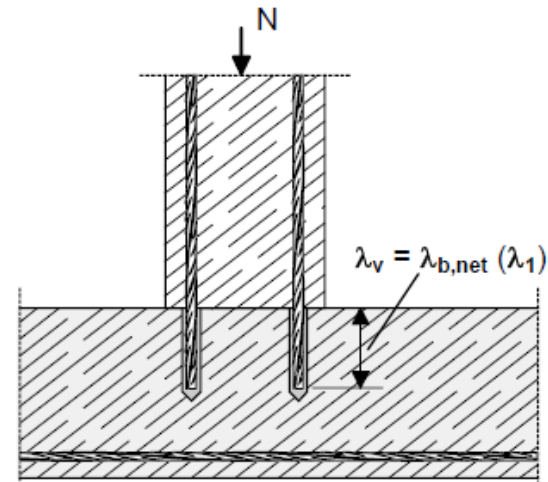
Bewehrungsanschlüssen mittels Übergreifungsstößen zwischen Balken und Platten



Endverankerungen von gelenkig gelagerten Platten



Zug- und momentenbeanspruchte Übergreifungsstöße an Fundamenten



Hauptsächlich druckbeanspruchte Bewehrungsanschlüsse an Fundamente



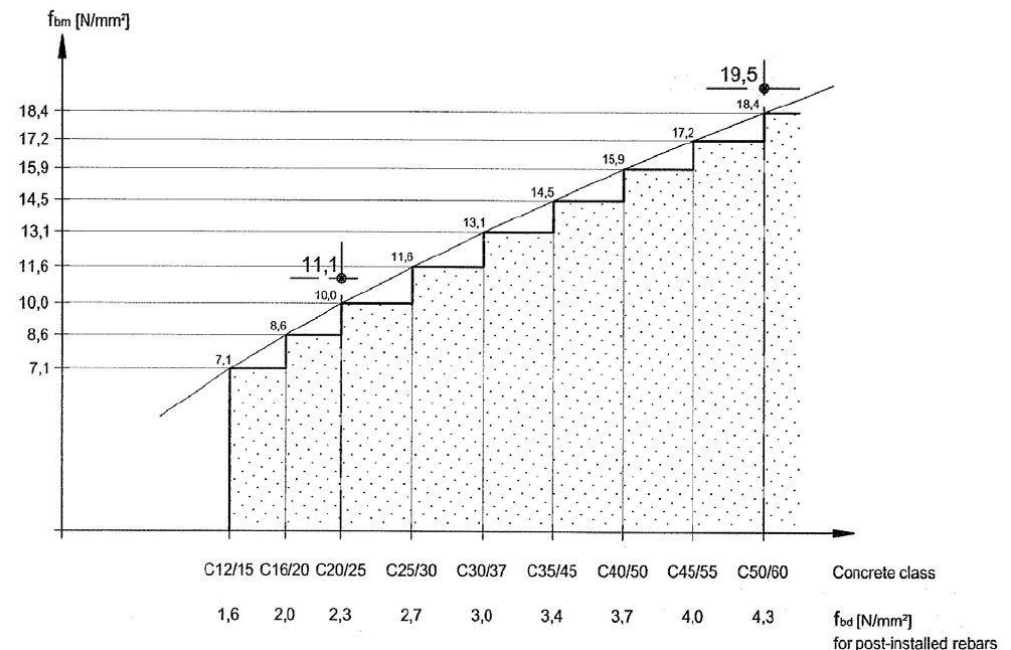
Bemessung von Bewehrungsanschlüssen nach EN 1992-1

- Nach TR023 zuglassene Mörtelsysteme
- Bei Erreichen der vorgegebenen Verbundspannung f_{bm} kann gleiche Designverbundspannung f_{bd} wie bei einbetonierten Stäben verwendet werden
- Designwert der Verbundspannung in Abhängigkeit der Betonfestigkeit
- Zusätzliche Anforderungen an die minimale Betondeckung bei eingemörtelten Bewehrungsstäben

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

$$l_{b,rqd} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right)$$



Bemessung von Bewehrungsanschlüssen nach ACI 318

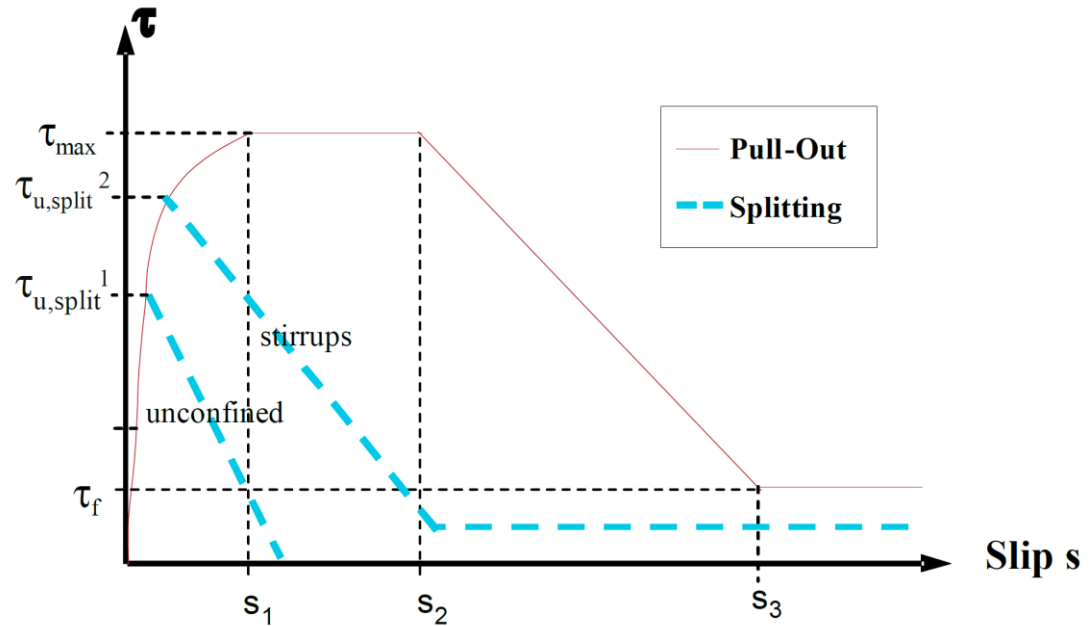
- Nach AC308 zugelassene Mörtelsysteme
- Kein Designwert der Verbundspannung sondern direkte Berechnung der benötigten Verbundlänge
- Berücksichtigung der Betonfestigkeit, Streckgrenze, Stabdurchmesser und umschnürender Bewehrung
- Keine Unterscheidung zwischen eingemörtelter und einbetonierter Bewehrung

$$l_d = \left(\frac{3}{40} \cdot \frac{f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) \cdot d_b$$



Verbundspannungsschlupfmodell im Fib Model code (2010) für einbetonierte Bewehrung

- Verbundbedingung
- Betonfestigkeit
- Stabdurchmesser
- Minimale Betondeckung
- Maximale Betondeckung
- Umschließende Bewehrung



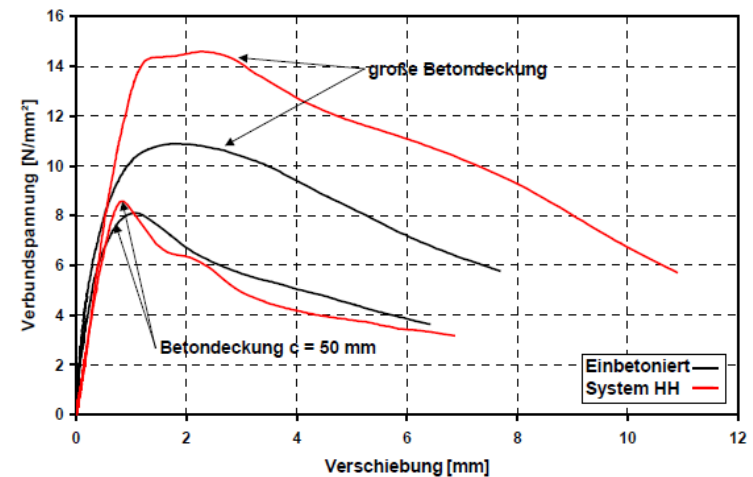
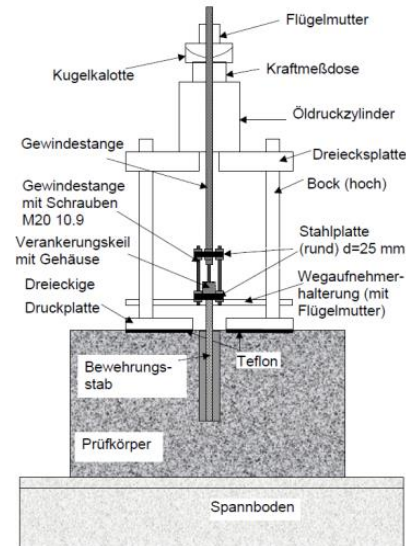
$$\tau_{b,\max} = \eta_1 \cdot \sqrt{f_{cm}}$$

$$\tau_{u,\text{split}} = \eta_2 \cdot 6,5 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{25}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{25}{\phi}\right)^{0,20} \cdot \left[\left(\frac{c_{\min}}{\phi}\right)^{0,33} \cdot \left(\frac{c_{\max}}{c_{\min}}\right)^{0,1} + k_m \cdot K_{tr} \right]$$



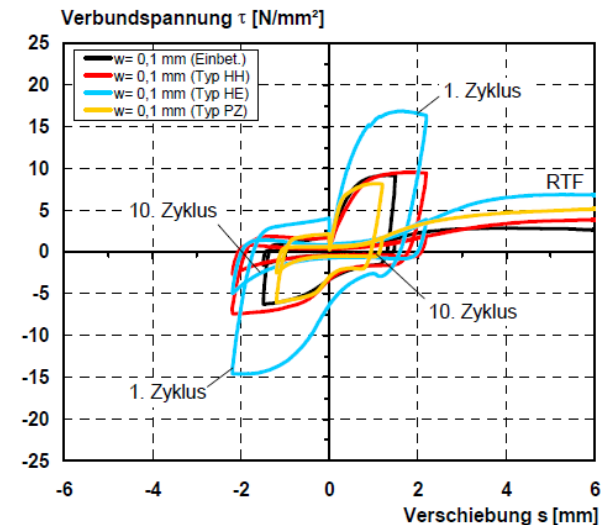
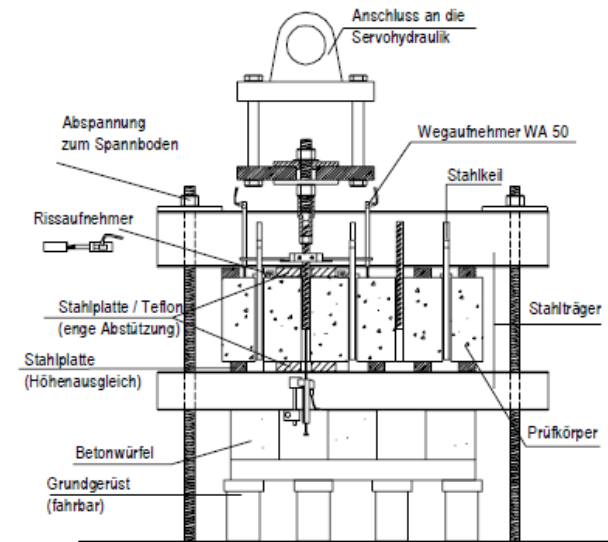
Spieth (2003)

- Statische Zugversuche an Einzelstäben in ungerissenem Beton mit unterschiedlichem Randabstand
- Verbundlänge, $l_b = 15d_s$
- Versuche mit mehreren Mörtelsystemen
- Bei großer Betondeckung gibt es deutliche Unterschiede zwischen einbetonierten und eingemörtelten Stäben
- Geringe Betondeckung führt zu Spaltversagen => keine höhere Verbundfestigkeit bei hochfesten Mörtelsystemen



Simons (2007)

- Statische und zyklische Versuche an Einzelstäben in gerissenem und ungerissenem Beton
- Versuche mit verschiedenen Mörtelsystemen
- Verbundlängen, $l_b = (8-10)d_s$; $25d_s$
- Zyklische Versuche: 10 Zyklen zwischen $\pm s_{max}$ (Schlupf bei maximaler Verbundspannung), zusätzliche Versuche mit geringere Schlupfniveaus
- Unter Statischer Belastung: Unterschiedliches Verhalten abhängig vom Mörtelsystem (ungünstiger, vergleichbar oder günstiger als bei einbetonierten Bewehrungsstäben)
- Bei zyklischer Belastung: Für Mörtelsysteme, die sich unter statischer Belastung vergleichbar oder günstiger verhalten, verhalten sich unter zyklischer Last mindestens gleichwertig



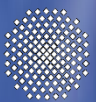
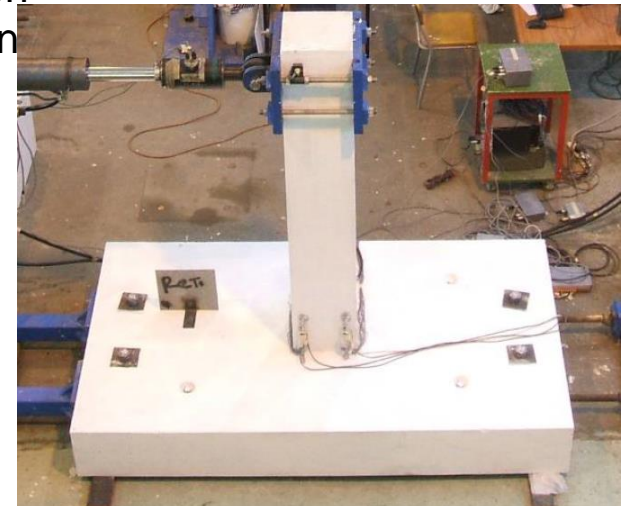
Mahrenholtz (2013)

Verbundversuche:

- Versuche an Einzelstäben unter zyklischer Last und unter konstanter Last in öffnenden und schließenden Rissen
- Verbundlänge, $l_b = 5d_s$
- Modifizierte Parameter für das Hystereseenergiemodell

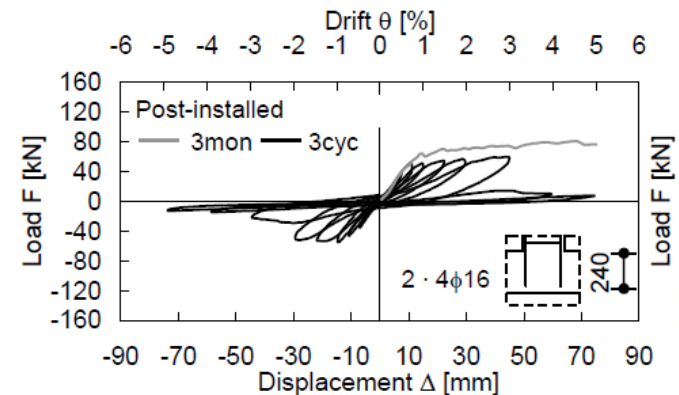
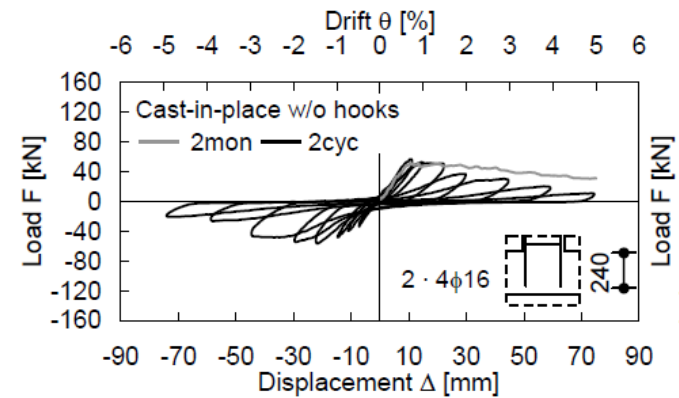
Bauteilversuche:

- Statische und zyklische Versuche an Stützen-Fundament-Anschlüssen mit eingemörtelten und einbetonierten Stäben mit und ohne Winkelhaken
- Verbundlänge, $l_b = 15d_s/9,6d_s/16,8d_s/13,1d_s$
- Fundamentdicke: 300mm/500mm



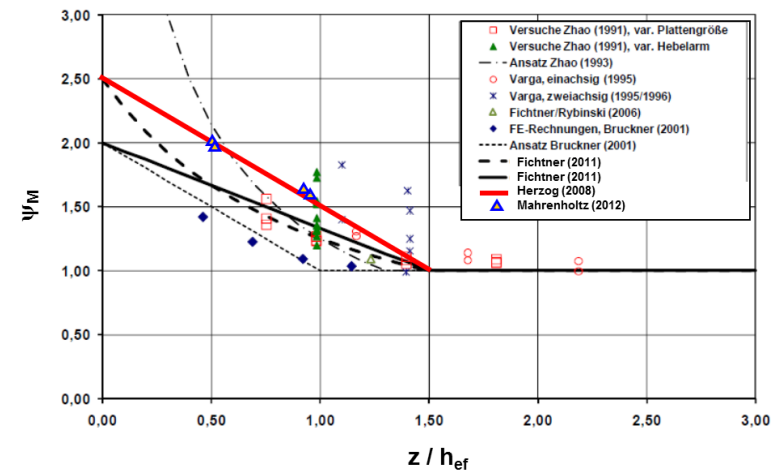
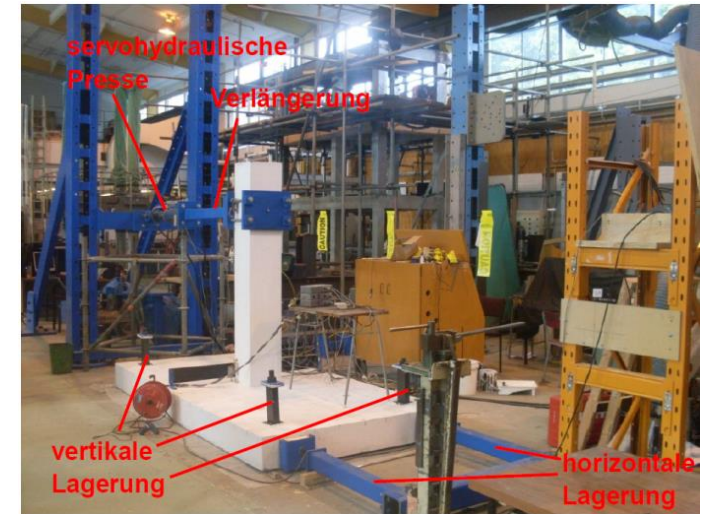
Mahrenholtz (2013)

- Häufig Versagen durch Fließgelenk in der Stütze
- Teilweise Versagen innerhalb des Betons durch Risse und anschließendes kombiniertes Versagen durch Herausziehen und Betonausbruch
- Resultate wurden vermutlich durch den Versuchsaufbau beeinflusst und können deshalb nicht verallgemeinert werden
- Generell ähnliches Verhalten der Anschlüsse mit eingemörtelter und einbetonierter Bewehrung
- Kürzere Verankerungslängen als in internationalen Normen vorgeschrieben sind ausreichend um zuverlässig Stahlversagen zu erreichen
- Vorschlag eines Designmodels mit Beeiwerten zur Berücksichtigung des positiven Effekts durch Momentenbelastung und des negativen Effekts zyklischer Beastung



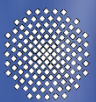
Herzog (2015)

- Statische Versuche an Stützen-Fundament-Anschlüssen mit eingemörtelten und einbetonierten Stäben mit geraden Stabenden
- Ähnlicher Versuchsaufbau wie von Mahrenholtz
- Fundamentdicke = 230mm/520mm
- Designkonzept mit Nachweisen gegenüber Verbundversagen und lokalem Betonausbruch, Druckstrebenbruch, Biege- und Querkraftversagen der anzuschließenden Bauteile
- Nachweis gegenüber Verbundversagen und lokalem Betonausbruch in Anlehnung Bemessung von von Verbunddübeln
- für eingemörtelte Bewehrungsstäbe bis zu 25% höhere Verbundspannung (produktabhängig)



$$\psi_M = 2.5 - z / h_{ef} \geq 1.0$$

Herzog, M. (2008)



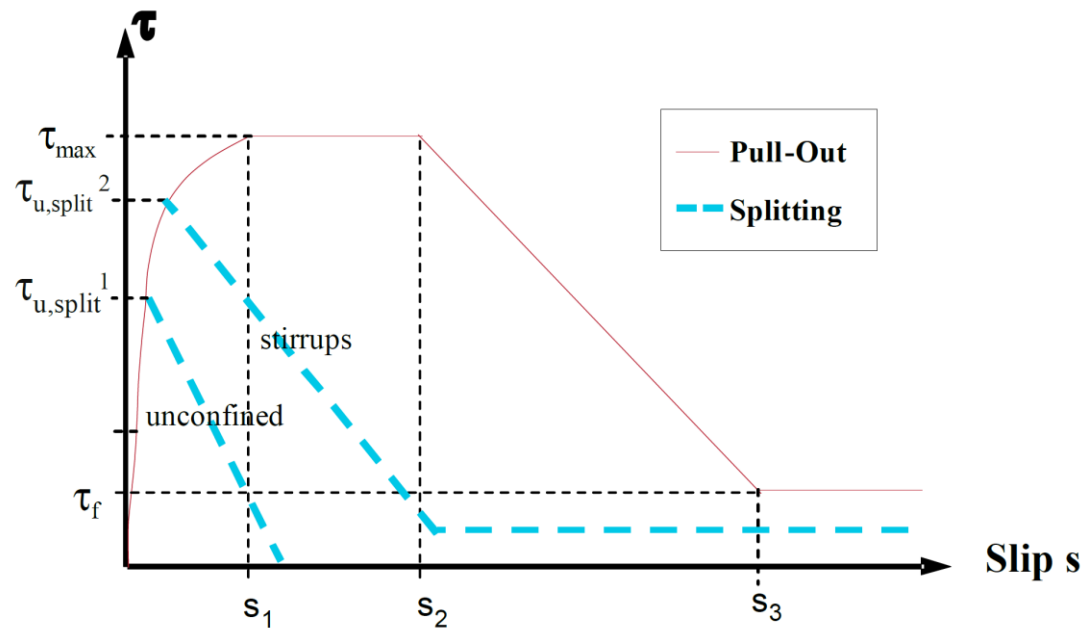
Zusammenfassung:

- Bisherige Versuche an eingemörtelten Bewehrungsstäben haben gezeigt, dass unter gewissen Umständen die Verbundspannung deutlich über der von einbetonierten Bewehrungsstäben liegen kann
- Bei geringer Betondeckung, wird dieser Einfluss kleiner bzw. verschwindet
- Eine genaue Untersuchung der Parameter, die einen möglichen Vorteil von Mörtelsystemen gegenüber einbetonierten Bewehrungsstäben beeinflussen gibt es bisher nicht



Ausblick

- Systematische Untersuchung der Einflussparameter auf das Tragverhalten eingemörtelter Bewehrungsstäbe (Verbund-/Spaltversagen)
- Entwicklung eines Verbundspannungsschlupfmodells analog zu dem Modell im fib Model Code 2010



**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!**

