

Versuche zum Verbund zwischen Stahl und Mörtel in bewehrtem Mauerwerk

(Tests on Bond between Steel and Mortar in reinforced Masonry)

U. BARLET, Dipl.-Ing.

C. ZELGER, Prof. Dr.-Ing.

Materialprüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Universität
München, Deutschland

Zusammenfassung

Die Festigkeit des Verbundes zwischen der Bewehrung und dem Mörtel in der Lagerfuge wurde durch Ausziehversuche an kleinen Mauerwerkskörpern bestimmt. Dabei wurde der Einfluß einer Auflast entsprechend den Verhältnissen in einer vertikal belasteten Wand berücksichtigt. Diese Belastung senkrecht zur Lagerfuge bewirkt eine Erhöhung der aufnehmbaren Verbundspannung, ebenso wie die Verwendung einer höheren Mörtelfestigkeit.

Abstract

The bond strength of reinforcing steel and mortar in the bed joint was evaluated in pull out tests with small masonry specimens. The influence of an applied load simulating the conditions of a vertically loaded wall was considered. This load perpendicular to the bed joint leads to an increase of the ultimate bond strength similar to the effect of using a higher mortar strength.

1. Allgemeines

Im Rahmen der Normarbeit für bewehrtes Mauerwerk stellt sich die Frage nach den Verbundeigenschaften der Bewehrung im Mörtel. Die bestehende deutsche Mauerwerksnorm enthält keinen Grundwert der Verbundspannung; es sind lediglich Mindestmaße für die Übergreifungslänge bei Stößen für verschiedene Stabarten angegeben (0.6 m für gerippte, 0.8 m für profilierte und 1.0 m für glatte Stäbe).

Um genauere Aussagen machen zu können, wurden in einem Forschungsvorhaben Ausziehversuche an kleinen Mauerkörpern durchgeführt. Zu betonen ist hierbei, daß die Bewehrung in Deutschland üblicherweise in die (dünne) Lagerfuge eingelegt wird und nur selten wie in vielen anderen Ländern in Aussparungen bzw. Kanäle von speziell geformten Steinen. Gegenstand unserer Versuche ist dementsprechend das Verbundverhalten in der (dünnen) Mörtelfuge.

Es ist beabsichtigt, aus den Versuchen zulässige Grundwerte für die Verbundspannung abzuleiten und ansonsten die Verbund-Bemessung des Stahlbetons für bewehrtes Mauerwerk zu übernehmen.

2. Probekörper

Als Probekörper (siehe Bild 2) wurde ein kleiner Ausschnitt aus einer Wand gewählt. Zwei Bindersteine wurden über zwei Läufersteine gemauert; die ca. 15 mm dicke Lagerfuge nahm die Bewehrung auf. Als Bewehrung wurde Stabstahl BSt 420/500 RU mit dem nach deutscher Mauerwerksnorm maximal zulässigen Durchmesser von 8 mm verwendet - aus Gründen des Korrosionsschutzes in verzinkter Ausführung. Die Verbundlänge wurde zu $10 d_s = 80$ mm gewählt, um einerseits "am Element" zu prüfen, damit andererseits aber eine evtl. Fehlstelle nicht zu stark das Ergebnis beeinflusst.

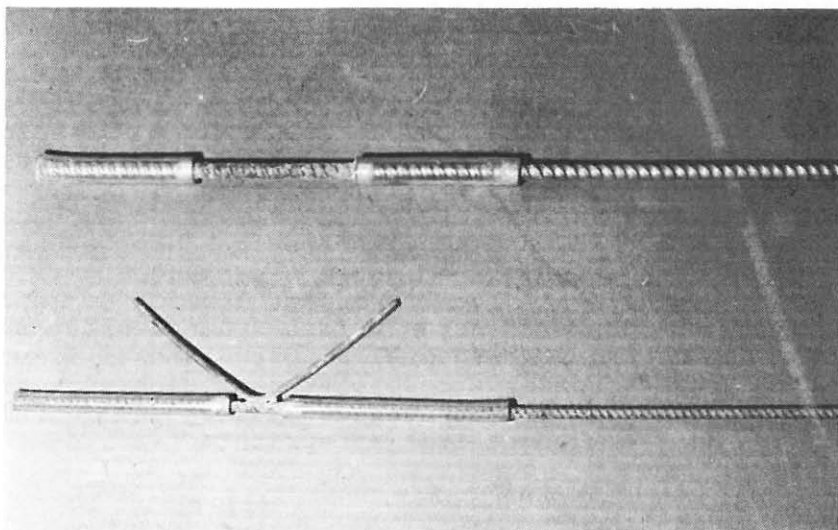


Bild 1: Verwendete Bewehrung
Verbundlänge und Ausschluß des Verbundes

Zur Abklärung des Einflusses eines angeschweißten Stabes wurden außerdem Versuche mit einem vorgefertigten Bewehrungselement mit verzinkten Längsstäben BSt 500/550 RK \varnothing 5 mm und Diagonalen aus nichtrostendem Stahl \varnothing 3,75 mm durchgeführt. Hier wurde die Verbundlänge kürzer gehalten ($5 d_s = 25$ mm), um möglichst nur den Schweißknoteneinfluß zu prüfen.

Der restliche im Mörtel liegende Teil des Stabes war zur Ausschließung jeglichen Verbundes mit einem Kunststoffschlauch ummantelt und an den Übergangsstellen abgeklebt (siehe Bild 1).

Bei Herstellung der Probekörper wurden die Steine "baustellenüblich" leicht vorgeätzt. Nach Fertigstellung wurden die Körper einen Tag lang abgedeckt und danach im Klimaraum bei 20°C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit bis zur Prüfung gelagert.

3. Versuchsprogramm

Zur Berücksichtigung des verschiedenen Absaugverhaltens von Steinen und der daraus abzuleitenden unterschiedlichen tatsächlichen Mörtelfestigkeit in der Fuge wurden die Versuche mit verschiede-

nen Steinarten durchgeführt. Dies waren Kalksandvoll- und -lochsteine (KSV und KSL), Hochlochziegel (HLz), Gasbetonblocksteine (G) und Bimsbetonhohlblocksteine (Hbl). Die Steinarten KSV, KSL und HLz gehörten der Festigkeitsklasse 12 (N/mm^2), die Steine G und Hbl der Klasse 4 an.

Als Mörtel wurde i. a. ein Zementmörtel (1:6) mit einer Druckfestigkeit von 9 N/mm^2 verwendet. Zudem wurden die Kalksandvollsteine noch mit Zementmörteln der Druckfestigkeiten 6 und 17 N/mm^2 , Hochlochziegel mit Mörtelfestigkeit 6 N/mm^2 vermauert. Bei dem Mörtel mit der Druckfestigkeit 6 N/mm^2 wurde der Feinstanteil im Sand erhöht ohne Änderung des Mischungsverhältnisses Zement : Sand = 1 : 6. Beim höherfesten Mörtel mit 17 N/mm^2 betrug das Verhältnis 1 : 5.

Um den Einfluß der Normalspannung im Mauerwerk senkrecht zur Lagerfuge - entsprechend den Verhältnissen in einer Wand - zu erforschen, wurden neben Ausziehversuchen ohne Normalspannung auch solche unter halber und ganzer zulässiger Mauerwerksspannung durchgeführt.

Für jeden Fall standen drei Probekörper zur Verfügung; somit wurden an insgesamt 150 Mauerkörpern Ausziehversuche durchgeführt und Last-Schlupf-Kurven gemessen.

Für den Anschluß an den Stahlbeton wurden 9 Ausziehkörper aus Beton der Festigkeitsklasse B 15 hergestellt. Die Stäbe ($\varnothing 8 \text{ mm}$, ohne Verzinkungsschicht) wurden zentrisch, stehend einbetoniert und bei Prüfung gegen die Betonierrichtung gezogen, was dem günstigsten Fall bezüglich der Verbundqualität entspricht.

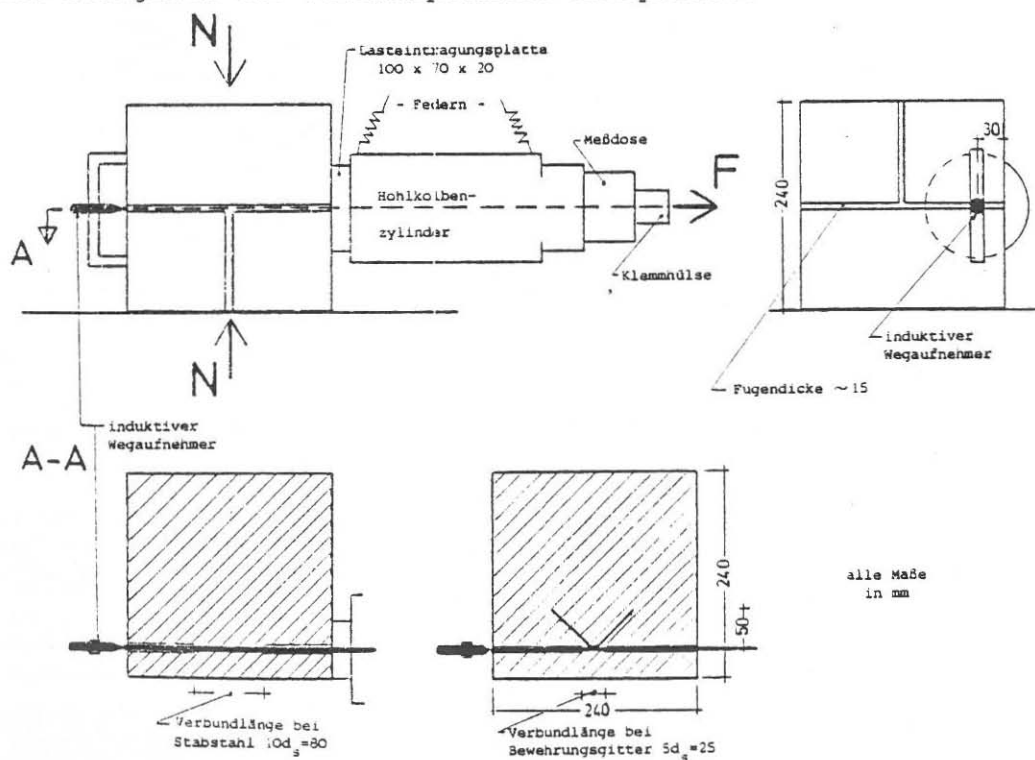


Bild 2: Versuchsaufbau und Probekörper

4. Versuchsaufbau und -durchführung

Bild 2 zeigt die gewählte Versuchsanordnung. Die Normalkraft N wurde durch eine Druckprüfmaschine erzeugt. Die Ausziehvorrichtung war federnd aufgehängt, so daß ihr Eigengewicht aufgehoben war. Die Schlupfmessung erfolgte am unbelasteten, freien Stabende.

Die beiden Meßwerte (Ausziehenkraft und Schlupf) wurden analog auf einem x-y-Schreiber aufgezeichnet und digital von einem Kleinrechner auf Band abgespeichert. Die Kraftzunahme im Hohlkolbenzylinder wurde an einem Pendelmanometer manuell so gesteuert, daß die Kurve auf dem x-y-Schreiber in etwa mit einer konstanten Stiftgeschwindigkeit von 1 cm/Min gezeichnet wurde.

5. Ergebnisse

Innerhalb einer Prüfgruppe waren die Streuungen zum Teil erheblich. In den folgenden Bildern ist die Beziehung Verbundspannung-Schlupf für einige Versuche dargestellt. Eine Kurve stellt jeweils das Mittel aus drei gleichartigen Versuchen dar. Die Streubreite ist jeweils bei einem Schlupf von etwa 0,5 mm angedeutet.

Um den Anteil des Haftverbundes in der Anfangsphase der Versuche deutlicher zu zeigen, wurde der Verlauf einer jeden Kurve bis zu 0,1 mm Schlupf in größerem Abszissenmaßstab gezeichnet (linke Bildseite).

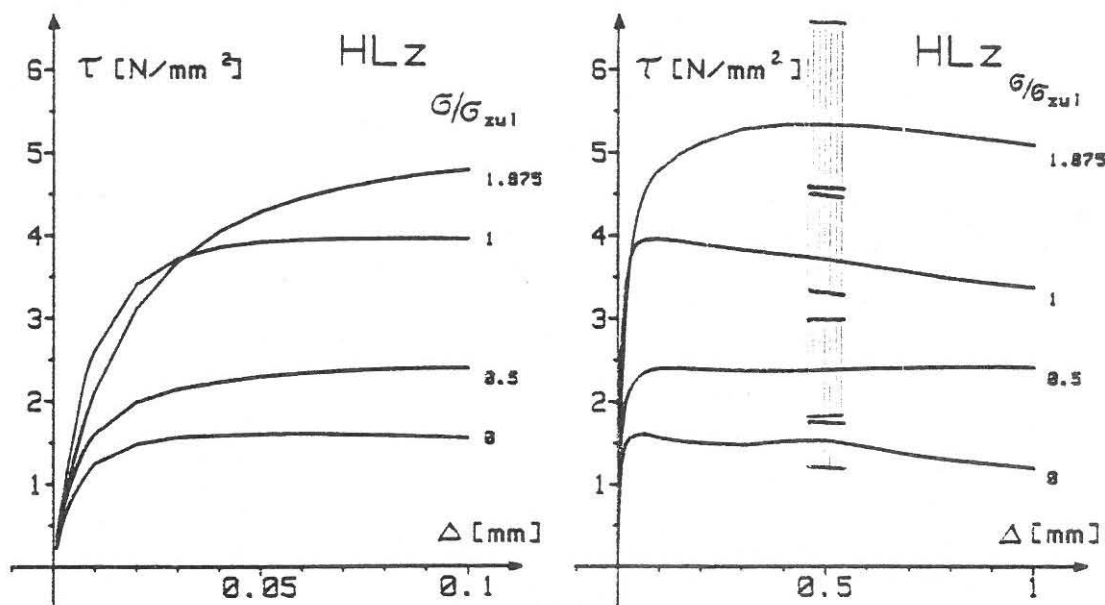


Bild 3: Ausziehversuche mit Stabstahl $\varnothing 3$ mm. Gemittelte Versuchskurven für Hochlochziegel Hlz 12 mit $p_{Dm\ddot{o}} = 9 \text{ N/mm}^2$

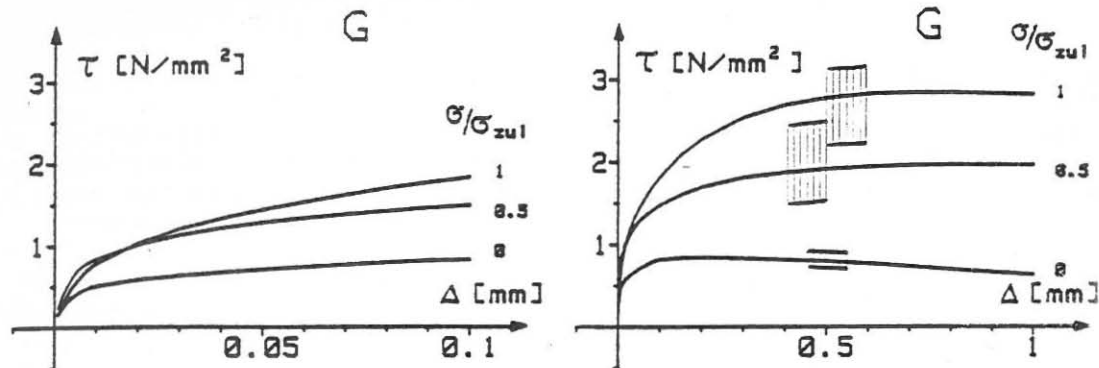


Bild 4: Ausziehversuche mit Stabstahl \varnothing 8 mm. Gemittelte Versuchskurven für Gasbetonblocksteine G 4 mit $\beta_{Dm\ddot{O}} = 9 \text{ N/mm}^2$

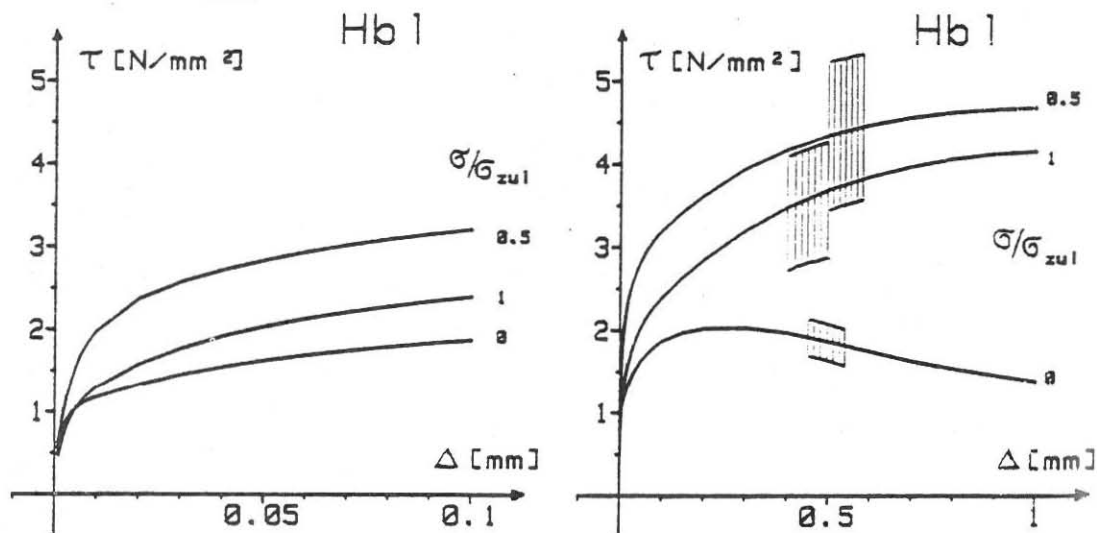


Bild 5: Ausziehversuche mit Stabstahl \varnothing 8 mm. Gemittelte Versuchskurven für Bimsbetonhohlblocksteine Hb1 4 mit $\beta_{Dm\ddot{O}} = 9 \text{ N/mm}^2$

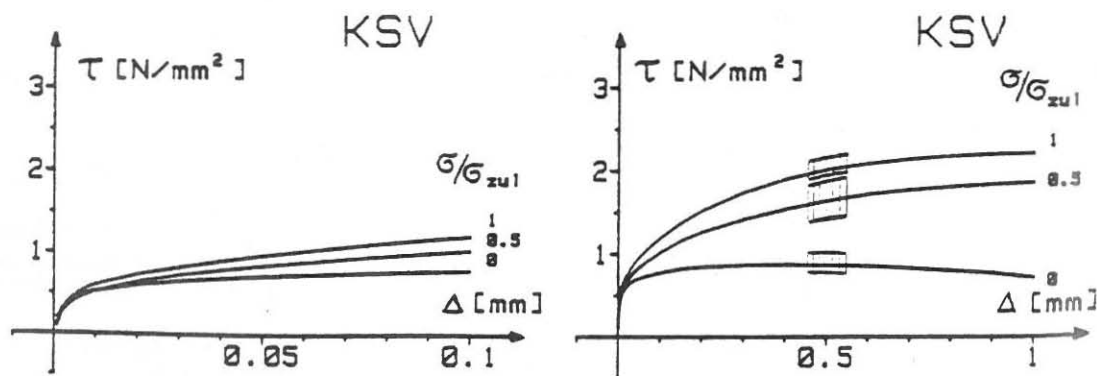
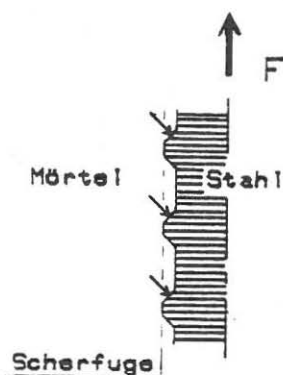


Bild 6: Ausziehversuche mit Stabstahl \varnothing 8 mm. Gemittelte Versuchskurven für Kalksandvollsteine KSV 12 mit $\beta_{Dm\ddot{O}} = 9 \text{ N/mm}^2$

Die hier nicht dargestellten Versuchsergebnisse von Kalksandlochsteinen stimmen mit denen von Kalksandvollsteinen weitgehend überein. Außerdem können hier aus Platzgründen die Ergebnisse der Ausziehversuche mit Bewehrungselementen nicht wiedergegeben werden. Prinzipielle Unterschiede bestehen nicht.

Aus den Bildern ist zu ersehen, daß sich eine Belastung senkrecht zur Lagerfuge stets positiv auf die aufnehmbare Verbundspannung auswirkt. Der Grund hierfür ist die Querdrukspannung, die im Mörtel durch die Normalbelastung aufgebaut wird. Sie behindert sowohl ein Absprengen der Überdeckung, indem sie die Mörtelschicht quasi zwischen zwei Steinen einklemmt, als auch ein Aufspalten in der Lagerfugenebene, dem sie ja direkt entgegenwirkt. Der Verbund versagt bei vorhandener Normalbelastung dann durch Abscheren der Mörtelkonsolen (Bild 7).



Für die Steinarten KSV, G und Hlz wirkt sich die Steigerung von halber zu ganzer zulässiger Mauerwerksspannung durch eine weitere Steigerung der aufnehmbaren Verbundspannung aus. Die kleinen, gleichmäßig verteilten Löcher der Steine haben keinen oder nur geringen Einfluß. Beim Hohlblockstein hingegen ist der Mörtel der Lagerfuge im Bereich der großen Hohlräume nicht in seiner Querverformung behindert. Dies mag eine Erklärung für die geringeren aufnehmbaren Verbundspannungen bei voller gegenüber halber zulässiger Mauerwerksspannung sein.

Bild 7: Kräfte am Stabelement

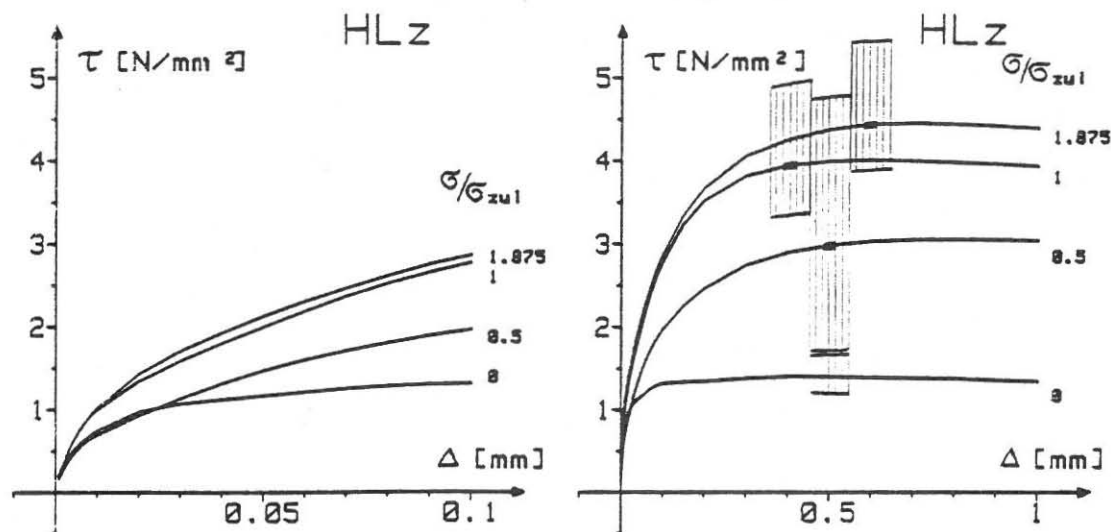


Bild 8: Ausziehversuche mit Stabstahl $\varnothing 8$ mm. Gemittelte Versuchskurven für Hochlochziegel Hlz 12 mit $\beta_{Dm\ddot{o}} = 6 \text{ N/mm}^2$

Aus der Gegenüberstellung von Bild 3 und 8 ist abzulesen, daß die niedrigere Mörtelfestigkeit auch niedrigere Verbundspannungen bewirkt, vor allem im Anfangsbereich. Für Kalksandsteine haben wir auch Versuche mit erhöhter Mörtelfestigkeit durchgeführt. Die Ergebniskurve ist für den Fall ohne Normalbelastung in Bild 9 aufgetragen. Die Versuchskurven für Belastung mit halber bzw. ganzer zulässiger Mauerwerksspannung bei erhöhten Mörtelfestigkeiten werden hier nicht weiter dargestellt, da sie eine ähnliche Abhängigkeit zeigen wie in Bild 9 dargestellt. Um den Verbund im Mauermortel mit dem Verbund im Beton vergleichen zu können, werden im folgenden Bild die Kurven der Betonausziehversuche den mit Mauerkörpern gefundenen gegenübergestellt. Die Kurve für die Würfeldruckfestigkeit $19,5 \text{ N/mm}^2$ ist aus 5, die für $15,5 \text{ N/mm}^2$ aus 4 Versuchen gemittelt.

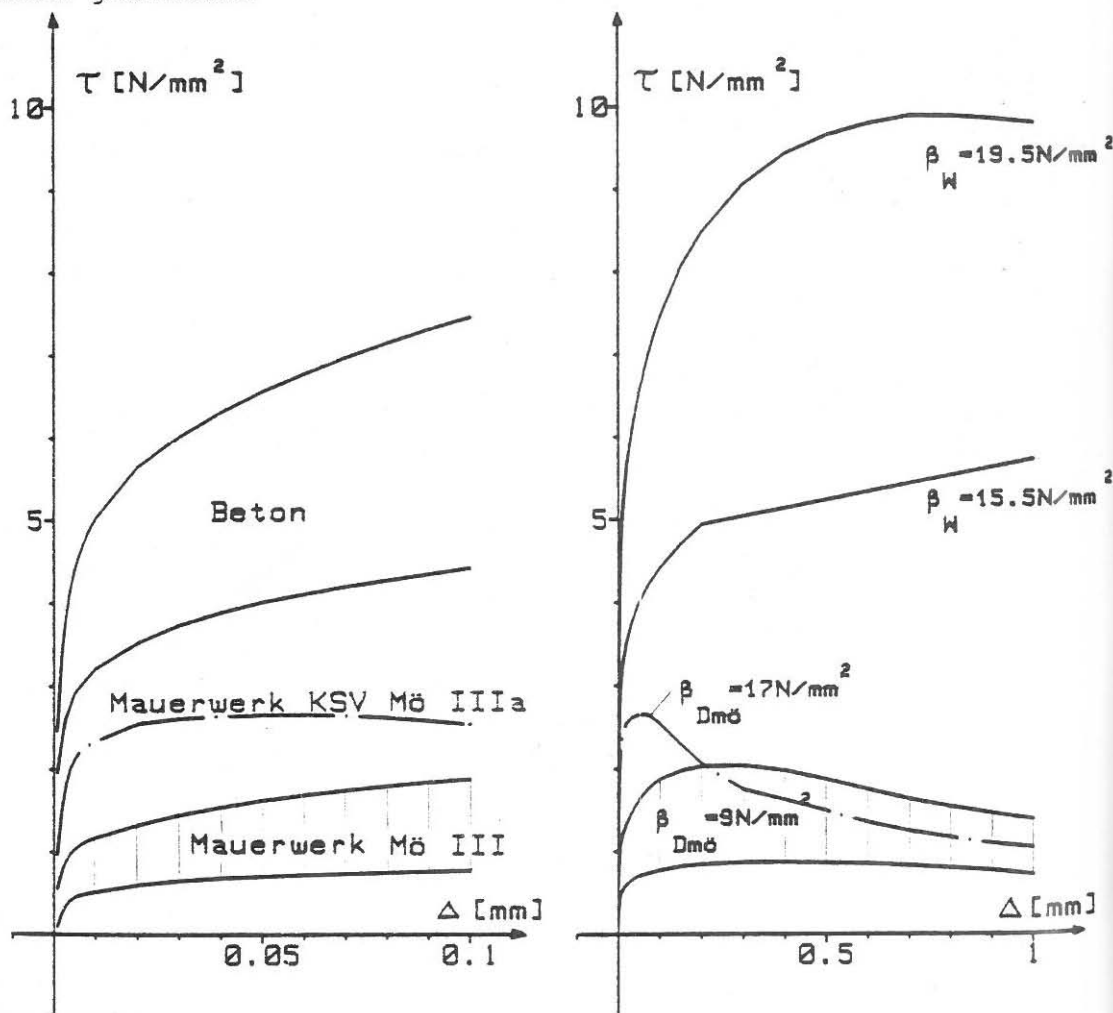


Bild 9: Ausziehversuche mit Stabstahl $\varnothing 8 \text{ mm}$. Gemittelte Versuchskurven ohne Normalbelastung ($\sigma/\sigma_{\text{zul}}=0$):

- für Beton (ausgezogene Linien)
- für Mauerwerk aus KSV mit Mörtelgruppe IIIa (strichpunktierte Linie)
- für Mauerwerk aus verschiedenen Steinen mit Mörtelgruppe III (schraffierter Bereich)

6. Weitere Versuche

Bei ersten Auswertungen (nach dem im Beton üblichen Rechenverfahren) hatte sich gezeigt, daß die erforderlichen Längen zur Übertragung der Stahlspannung auf den Mörtel zum Teil sehr groß werden und für die Praxis kaum noch tragbar sind - besonders im Fall ohne Normalbelastung. Da die Ergebnisse mit höherer Mörtelfestigkeit (entsprechend der in Deutschland neu eingeführten Mörtelgruppe IIIa) eine Verbesserung erwarten lassen, sind weitere Versuche mit dieser Mörtelgruppe geplant.

7. Zusammenfassung

An insgesamt 150 kleinen würfelförmigen Mauerkörpern wurden Ausziehversuche mit verzinktem Stabstahl \varnothing 8 mm und - zur Untersuchung des Schweißknoteneinflusses - mit Bewehrungselementen durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Steinarten und Mörtel (Variation der Zusammensetzung und der Druckfestigkeit) verwendet. Die Prüfung erfolgte mit und ohne Auflast - entsprechend den verschiedenen Bedingungen, die auch in einer Wand herrschen.

Der Bericht enthält die gefundene Beziehung Verbundspannung - Schlupf. Eine Belastung senkrecht zur Lagerfuge wirkt sich positiv auf die übertragbare Verbundspannung aus. Durch die Normalbelastung wird infolge der in der Mörtelfuge aufgebauten Querdruckspannung ein Absprengen der Mörteldeckung (= Bruchursache der Versuche ohne Normalbelastung) verhindert; der Bruch erfolgt durch Abscheren der "Verzahnung" des Mörtels mit der profilierten Stahloberfläche.

Aus der gefundenen Verbundspannung - Schlupf - Beziehung läßt sich rechnerisch die erforderliche Übertragungslänge bestimmen. Bei Anwendung der im Stahlbetonbau üblichen Kriterien bezüglich des zulässigen Schlupfes ergeben sich zum Teil sehr große Übertragungslängen, die für die Praxis kaum tragbar sind. Weitere Versuche sollen klären, ob durch Anwendung einer höheren Mörtelqualität (IIIa) praktikable Übertragungslängen zu erzielen sind, auch wenn eine günstige Wandlast senkrecht zur Lagerfuge nicht oder nur in geringem Maße einwirkt. Möglicherweise können auch die Kriterien zur Ableitung zulässiger Rechenwerte der Verbundspannungen aus den Versuchen modifiziert werden. Theoretische und flankierende experimentelle Untersuchungen zu diesem Thema sind geplant.