

Versuche zum Haftscherverhalten in den Lagerfugen von Mauerwerk

(Tests on the Shear-Bond in the Bed-Joints of Masonry)

P. HOFMANN, Dipl.-Ing.

S. STÖCKL, Dr.-Ing.

Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität München, Bundesrepublik Deutschland

Zusammenfassung

Auf der 5. Internationalen Mauerwerkskonferenz wurde von Stöckl [1] über eine geplante Versuchsmethode zum Studium des Haftscherhaltens in den Lagerfugen von Mauerwerk berichtet, die dem herkömmlichen 2-Stein-Versuch ähnlich ist. Die Methode wurde nun in ersten Versuchsreihen eingesetzt. Die Beziehungen zwischen Scherspannung und Verschiebung wurden bis nach Überschreiten der maximalen Scherspannungen gemessen. Durch eine elektronische Versuchssteuerung sind die Ergebnisse sehr gleichmäßig. Die geringen Streuungen erlauben mit mäßiger Versuchsanzahl Studien an verschiedenen Stein-Mörtel-Kombinationen und für verschiedene Normalspannungen in den Lagerfugen.

Abstract

At the 5th International Masonry Conference Stöckl reported on a planned test method to study shear bond in the bed joints of masonry similar to the well known 2-stone test [1]. The method was recently employed in a first series of tests. The relations between shear-stress and displacement were measured up to passing the maximum shear stress. Owing to electronical test control the results were very regular. The small scatter allows studies to be carried out on different brick-mortar-combinations and for various normal stresses in the joint with a small number of tests.

1. AUFGABENSTELLUNG

Um das Verhalten von schubbeanspruchten Wänden studieren zu können, ist die Kenntnis des Scherverhaltens der Lagerfugen erforderlich. Von Interesse ist insbesondere die Beziehung zwischen der in der Lagerfuge vorhandenen Scherspannung τ und der gegenseitigen Verschiebung Δ der Steine.

Da die bisherigen Versuchsanordnungen einfach gehalten waren, konnten sie nicht voll befriedigen. Durch eine aufwendige, von Daschner [6] für andere Zwecke entwickelte und für unsere Zielsetzung modifizierte Versuchsmethode sollen die Schwächen der alten Methode vermieden werden.

2. VERSUCHSANORDNUNG

Die Versuchsanordnung (siehe Bild 1) ist dem herkömmlichen Zweisteinversuch [2] ähnlich. Die stetig steigende Scherkraft P hat beim Versuch ein steigendes Moment $P \cdot a$ zur Folge. Für die Kompensation muß ein ebenfalls anwachsendes Rückstellmoment $N \cdot b$ erzeugt werden. Die Kraft N wird durch 2 Pressen N_1 und N_2 aufgebracht. Da die Resultierende Normalkraft $N = N_1 + N_2$ konstant gehalten wird, muß die Lage von N durch eine Kraftumlagerung von N_2 nach N_1 verändert werden. Die Steuerung der Lastumlagerung wird von einem elektronischen Rechner vorgenommen.

Vier an den Ecken der Mörtelfuge angeordnete induktive Geber W_1 bis W_4 (Bild 2) beobachten die Stauchungen des Mörtelbandes. Die Summen aus W_1 und W_2 bzw. W_3 und W_4 werden an den Rechner weitergeleitet. Wenn ein Stauchungsunterschied ($W_1 + W_2 \neq W_3 + W_4$) vorliegt, steuert der Rechner die Kraftumlagerung von N_2 nach N_1 solange, bis $W_1 + W_2 = W_3 + W_4$ erreicht ist. Es werden also über erzwungene gleichmäßige Stauchungen gleichmäßige Normalspannungen angestrebt.

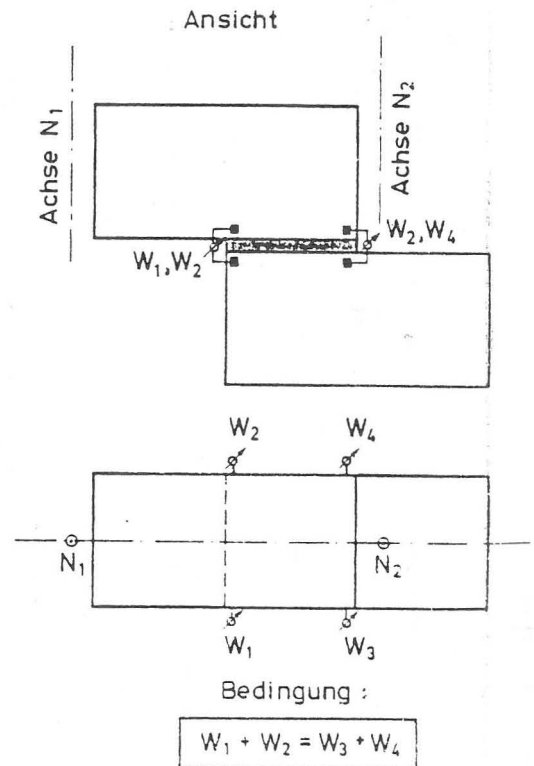
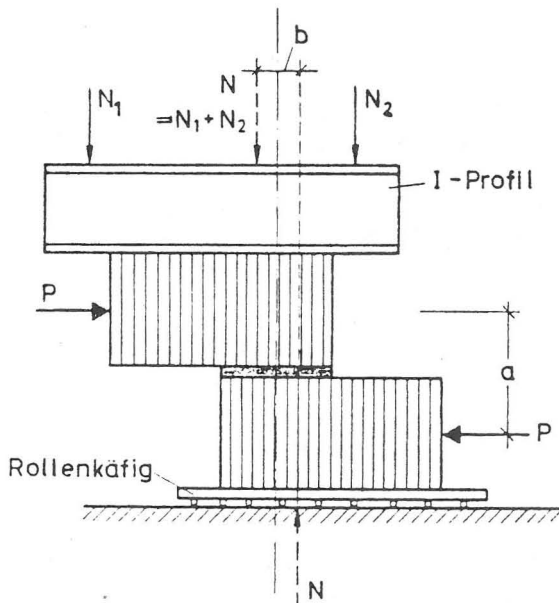


Bild 1: Versuchsanordnung (Prinzip: Verbesserter Zweisteinversuch)

Bild 2: Steuerung der Normalkräfte N_1 und N_2 nach der Fugenstauchung

Bild 3 zeigt die für den Versuch verwendete maschinelle Einrichtung.

Bild 4 gibt die Anordnung der Schlupfmessung wieder. Die gemessene Steinverschiebung enthält bei dieser Wahl der Meßpunkte näherungsweise keine Steinstauchung.

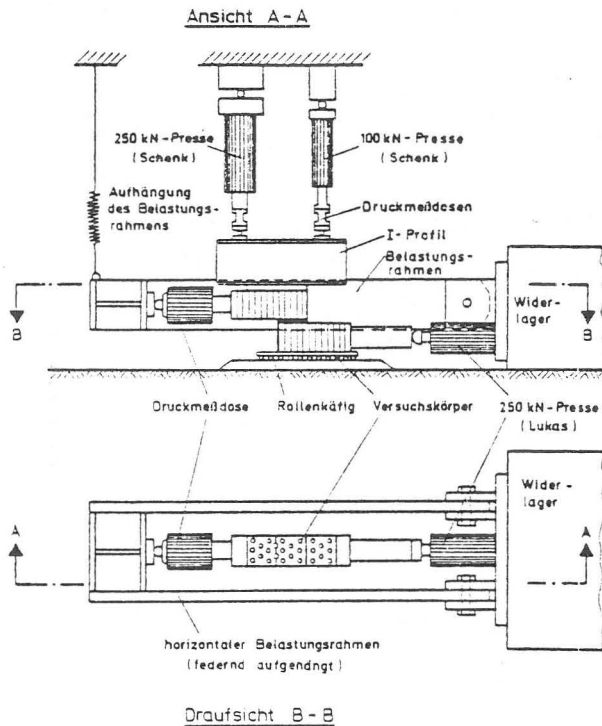
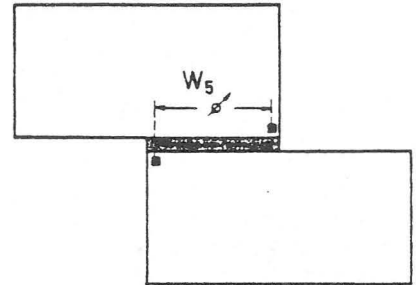


Bild 3: Versuchsanordnung (maschinelle Einrichtung)

Ansicht



Draufsicht

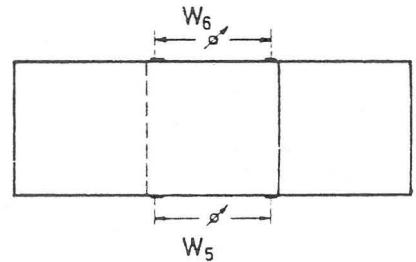


Bild 4: Anordnung der induktiven Geber für die Messung des Schlupfes

3. VERSUCHSKÖRPER

3.1. Ziegel

Für die Versuche wurden hochfeste Ziegel HLz 36 nach DIN 105, Teil 3, Format 1 1/2 NF gewählt. Die Steine hatten folgende Eigenschaften:

- Durchschnittliche Maße:
 $l / b / h = 238 / 112 / 112 \text{ mm}$
- Druckfestigkeit in Lochrichtung:
 $47,5 \text{ N/mm}^2$
- Druckfestigkeit in Steinlängsrichtung:
 $5,1 \text{ N/mm}^2$

- Lochanordnung (Lochung A nach DIN 105):
siehe Bild 5
- Lochanteil:
44 % der Lagerfugenfläche

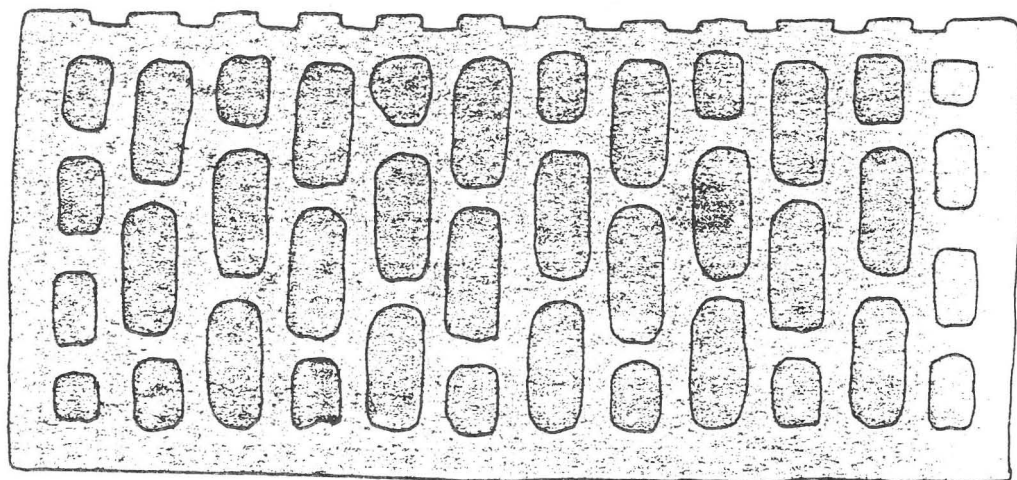


Bild 5: Lochanordnung

3.2. Mörtel

Der Versuchsmörtel sollte die für Mörtelgruppe IIa nach DIN 1053 geforderte Mindestfestigkeit von 5 N/mm^2 erreichen.

Er wurde aus folgenden Bestandteilen hergestellt:

- Zement PZ 35 F
- Weißkalkhydrat
- Sand der Körnung 0/4 mm

Folgende Zusammensetzungen (in Volumenanteilen) wurden gewählt:

Mörteltyp	Kalk : Zement : Sand			Wasser	Ausbreitmaß nach DIN 18555
				Bindemittel	
M1	1	: 0,92	: 5,22	1,04	16,1 - 16,7
M2	1	: 0,93	: 5,47	1,13	17,1 - 17,9

Der Mörtel M1 erreichte die angestrebte Festigkeit von 5 N/mm^2 im Alter von 7 bzw. 8 Tagen, der Mörtel M2 im Alter von ca. 3 Wochen.

Die Ziegel wurden in getrocknetem Zustand um eine halbe Steinlänge versetzt aufeinander gemauert, so daß sich eine Fugenlänge von 12 cm ergab. Die Fugendicke betrug 15 mm. Die Versuchskörper lagerten bis zum Tag der Prüfung in einem Klimaraum bei einer rel. Luftfeuchte von 65 % und einer Temperatur von 20°C .

4. VERSUCHSERGEBNISSE

Um den Einfluß der von Versuch zu Versuch leicht unterschiedlichen Mörtelfestigkeiten auf die gemessenen Scherspannungen auszu-schalten, wurden alle τ -Werte auf die zum jeweiligen Versuch gehö-rende Prismendruckfestigkeit des Mörtels nach DIN 18555 bezogen (τ/β_D).

4.1. Diagramme $\tau = f(\Delta)$

4.1.1. Einzelergebnisse $\tau = f(\Delta)$

Bild 6 zeigt ein Beispiel für die Beziehungen zwischen Scher-spannung τ und Verschiebung Δ für drei, unter gleichen Bedingungen durchgeführte, Haftscherversuche. Die Normalspannung in der Mörtel-fuge betrug $0,33 \sigma_{zul}$ (nach DIN 1053). Das τ - Δ -Diagramm erreicht etwa bei einem Schlupf von 80μ die maximal aufnehmbare Scherspan-nung. Es folgt ein Bereich fallender Scherspannung bei weiter zu-nehmendem Schlupf (bis ca. 400μ). Die Abweichungen der Einzeler-gbnisse sind gering.

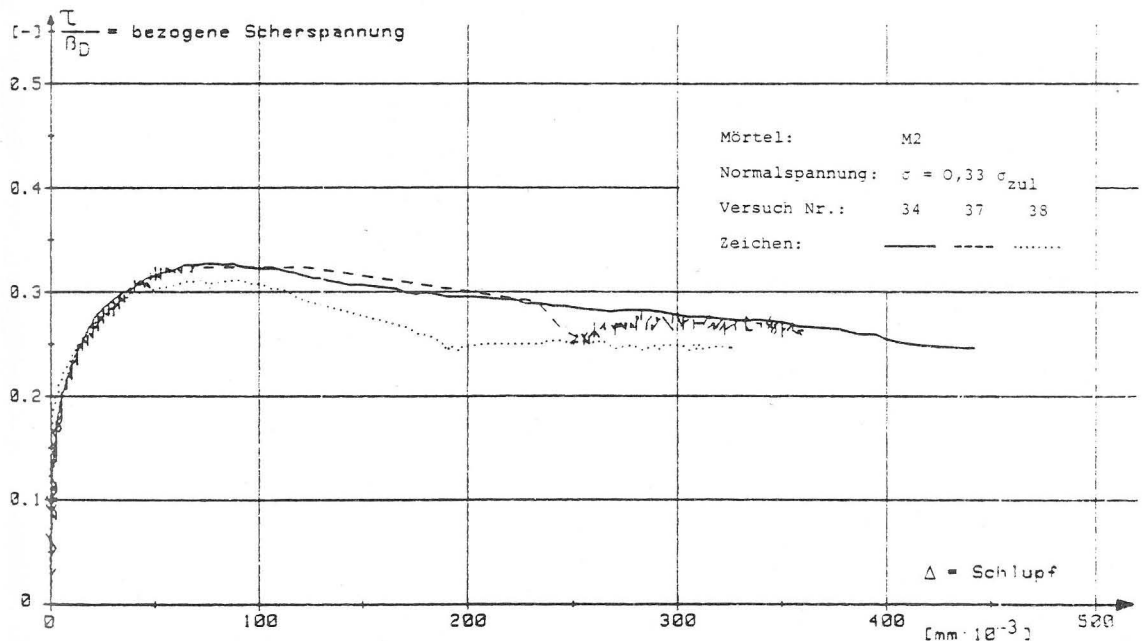


Bild 6: Einzelergebnisse (3 gleiche Versuche)

4.1.2. Mittelkurven $\tau = f(\Delta)$

4.1.2.1. Einfluß der Normalspannung auf die τ - Δ -Diagramme

Bild 7 enthält die Mittelwertkurven für alle Versuchsgruppen, die mit Mörtel 1, aber verschiedenen Normalspannungen (zwischen 0,25 und 1,00 σ_{zul} nach DIN 1053) durchgeführt wurden.

Höhere Normalspannungen haben einen deutlichen Anstieg der aufnehmbaren Scherspannung bei gleichem Verschiebeweg zur Folge. Auch die maximale Scherspannung und der ihr zugeordnete Verschiebeweg steigen mit höherer Normalspannung.

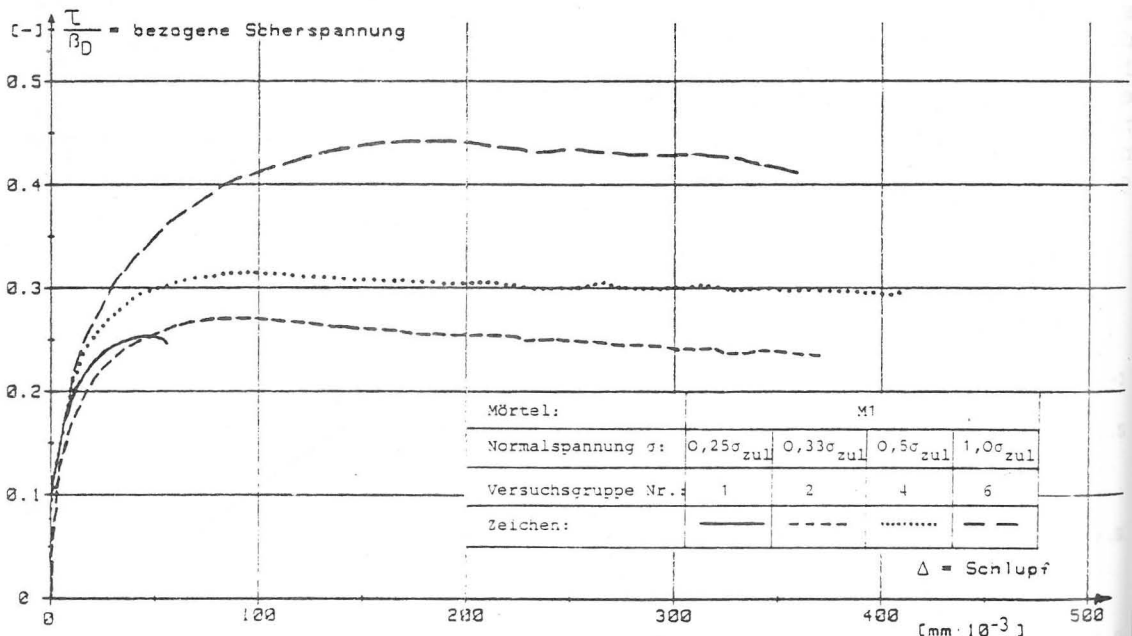


Bild 7: Einfluß der Normalspannung σ auf die Mittelwerte der τ - Δ -Diagramme

4.1.2.2. Einfluß des Mörteltyps auf die τ - Δ -Diagramme

Bild 8 zeigt den Einfluß des Mörteltyps (M1, M2) auf die gemittelten τ - Δ -Diagramme. Wie erläutert, war die Druckfestigkeit beider Mörteltypen zum Prüfzeitpunkt fast gleich groß (ca. 5 N/mm²). Der Unterschied bestand darin, daß diese Druckfestigkeit beim Mörteltyp M1 nach 1 Woche, beim Mörteltyp M2 nach 3 Wochen erreicht war.

Mit Mörteltyp M2 konnten bei gleichem Verschiebeweg ca. 25 % höhere Scherspannungen aufgenommen werden.

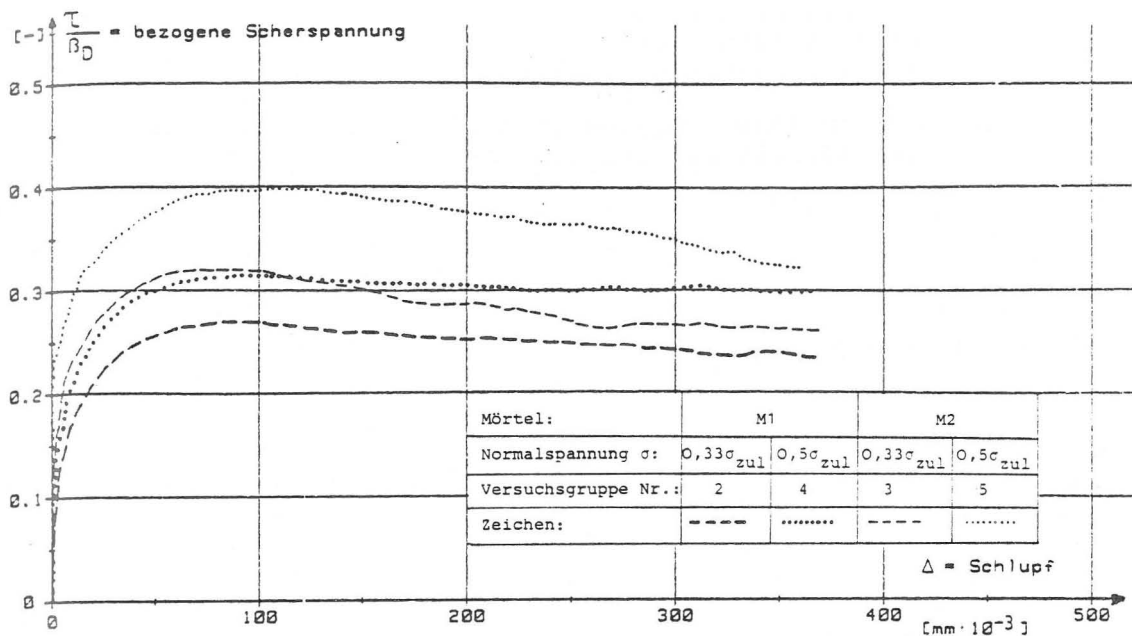


Bild 8: Einfluß des Mörteltyps auf die Mittelwerte der τ - Δ -Diagramme

4.2. Diagramm $\tau_u = f(\sigma)$

Die Darstellung der Bruchscherspannungen τ_u in Abhängigkeit von der Fugenpressung σ ergibt die Coulomb'sche Reibungsgerade:

$$\tau_u = \tau_0 + \mu\sigma$$

Es bedeuten:

- τ_u = maximal aufnehmbare Scherspannung = $f(\sigma)$
- τ_0 = Scherspannung bei $\sigma = 0$ (Haftanteil an τ_u)
- μ = Reibungsbeiwert
- σ = Fugennormalspannung
- $\mu \cdot \sigma$ = Reibungsanteil an τ_u

In Bild 9 sind die maximal aufnehmbaren Scherspannungen aller bisher durchgeführten Versuche als Funktion der Fugenpressung aufgetragen. Werte aus Versuchen, die der gleichen Mörtelgruppe angehören sind durch ausgleichende Geraden verbunden.

Es zeigt sich, daß die Einzelwerte um die ausgleichenden Geraden nur wenig streuen. Dies muß als Folge der elektronischen Versuchssteuerung angesehen werden. Die geringe Streuung bedeutet, daß mit relativ wenigen Versuchen eine gute Aussagekraft erreicht wird.

Die Coulomb'schen Geraden wurden bis zum Wert $\sigma = 0$ extrapoliert. Wegen der geringen Streuung der Einzelwerte besitzt auch diese Extrapolation eine gute Zuverlässigkeit.

Auch die Coulomb'schen Geraden in Bild 9 beschreiben deutlich einen Einfluß des Mörteltyps (bei gleicher Mörtelfestigkeit).

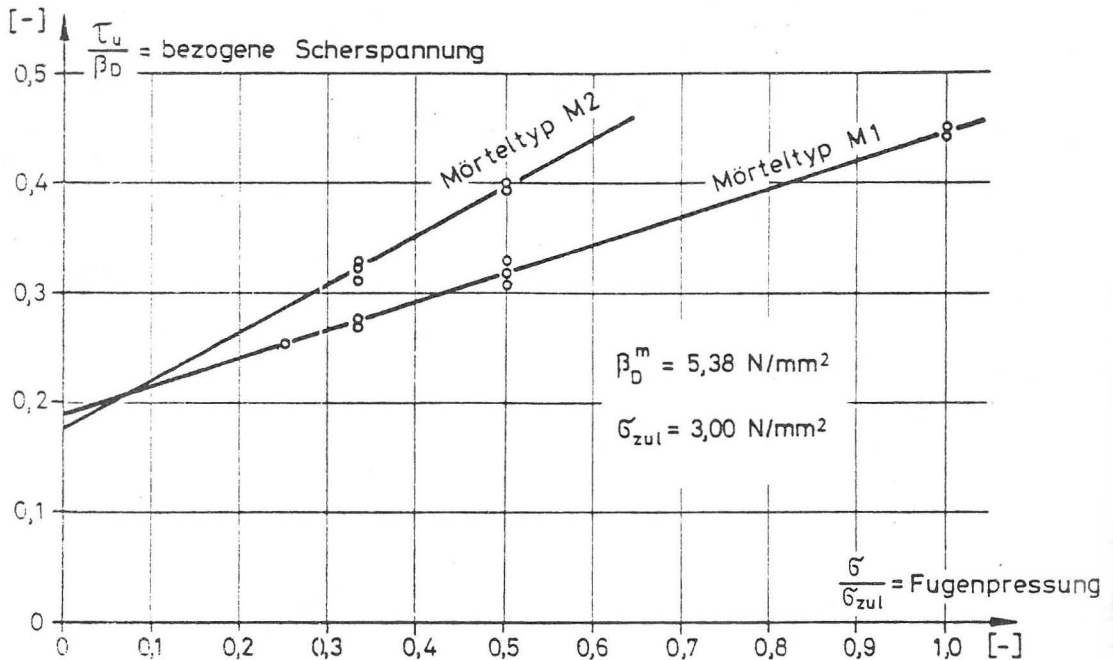


Bild 9: Einfluß der Fugenpressung auf die maximal aufnehmbare Scherspannung (Coulomb'sche Reibungsgerade)

Bild 9 enthält Mittelwerte β_D^m und σ_{zul} . Damit lassen sich für die hier untersuchten Mörteltypen M1 und M2 folgende Kennwerte der Coulomb'schen Reibungsgeraden errechnen:

Mörtel M1: $\tau_0 = 1,01 \text{ N/mm}^2$ $\mu = 0,46$
Mörtel M2: $\tau_0 = 0,94 \text{ N/mm}^2$ $\mu = 0,80$

Der Haftanteil τ_0 war also bei beiden Mörteltypen fast gleich. Der Reibungsbeiwert μ war dagegen bei Mörtel M2 deutlich größer als bei Mörtel M1.

Literaturverzeichnis

- |1| Stöckl, S.: Versuche zum Schubtragverhalten von Mauerwerk, 9th International Brick Masonry Conference, Washington D.C., Oktober 1979
- |2| Benjamin, J.R.; Williams, H.A.: The Behaviour of One Storey Brick Shear Walls, Proceedings of ASCE, Journal of the Structural Division, Vol 84, No ST 4, 1958
- |3| Schubert, P.; Glitza, H.: Festigkeits- und Verformungskennwerte von Mauermörtel und Wandbausteinen, Institut für Bauforschung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Abschlußbericht F 37, Jan. 1978
- |4| Mann, W.; Müller, H.: Bruchkriterien für querkraftbeanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Windscheiben, TH Darmstadt, Bericht vom 25. Nov. 1977
- |5| Hamid, A.A.: Behaviour Characteristics of Concrete Masonry, Ph. D. thesis, McMaster University, Hamilton Ontario, September 1978
- |6| Daschner, F.: Schubkraftübertragung in Rissen von Normal- und Leichtbeton, unveröffentlichter Bericht der TU München, Lehrstuhl für Massivbau, März 1980