

## IV-23. Tests on the Behaviour of Shear Walls

Dr.-Ing. S. Stöckl

### ABSTRACT

*It is reported on tests dealing with a) the behaviour of biaxial loaded masonry-cuts with different inclinations between the joints and the brought up principal stresses; b) the behaviour of the shear-bond in the bed joints of masonry.*

*Il est question des essais suivants a) sur le comportement de parties de maçonnerie sous charge biaxiale et différentes inclinaisons des joints par rapport aux tensions principales; b) sur le comportement d'adhésion et de friction des joints horizontaux de la maçonnerie.*

*Es wird über Versuche berichtet a) zum Tragverhalten von 2-achsig beanspruchten Mauerwerksaus-schnitten mit verschiedenen Neigungen der Fugen gegenüber den eingetragenen Hauptspannungen; b) zum Haftscherverhalten in den Lagerfugen von Mauerwerk.*

*Relazione esperimenti a) sul comportamento di portanza di sezioni di costruzioni in muratura a sollecitazione biassiale con diverse inclinazioni delle commessure nei confronti delle tensioni principali registrate; b) sul comportamento di resistenza allo slittamento nelle commessure orizzontali di costruzioni in muratura.*

Im folgenden Beitrag wird über zwei derzeit am Institut für Massivbau (Leitung: o.Prof. Dr.-Ing. Herbert Kupfer) der TU München laufende Versuchsprogramme zum Schubtragverhalten von Mauerwerk berichtet. In beiden Fällen liegen noch keine Ergebnisse vor. Wesentlich an den Programmen sind neue Untersuchungs-methoden, welche hier vorgestellt werden sollen.

### VERSUCHE MIT EINER ZWEIACHSIGEN PRÜFMASCHINE ZUM SCHUBTRAGVERHALTEN VON MAUERWERK

#### Stand der Forschung zum Schubtragverhalten von Mauerwerk

In Deutschland befaßt man sich seit etwa 10 Jahren in verstärktem Maße mit dem Schubtragverhalten von Mauerwerk. Dabei wurden auch die im Ausland gewonnenen Erkenntnisse berücksichtigt. Das Schubtragverhalten ist für die Aussteifung von gemauerten Hochhäusern gegenüber Horizontalkräften von Bedeutung. Die einschlägigen deutschen Untersuchungen wurden in Stuttgart von Walther und Höchersteiger (Lit./1/), Schneider und Schnell (Lit./2/), in Braunschweig von Trautsch (Lit./3/), in München von Zelger (Lit./4/), in Darmstadt von Mehlhorn und Schack (Lit./5/), Mann und Müller (Lit./6/, /7/) und in Frankfurt von der Ingenieursozietät Beck-Gravert-Schneider (Lit./8/) durchgeführt.

Bei den Untersuchungen wurden verschiedene Versuchsmethoden angewendet. In der Regel wurden Versuche an großen Mauerwerkskörpern durchgeführt, wobei die Versuchsanordnung variierte. In allen Fällen war die Versuchsanordnung schwierig und mit hohen Kosten verbunden. Die Zahl der durchgeführten Wandversuche mußte deshalb relativ gering bleiben. Außerdem war die Versuchsanordnung verschiedentlich problematisch, was z. B. Mehlhorn in Lit. /5/ genauer untersuchte.

Die Ergebnisse von Kleinversuchen an Proben mit geneigten Lagerfugen stimmen z. B. nach Lit. /2/ mit den

Ergebnissen von Wandversuchen nicht unmittelbar überein. In Lit. /7/ wurden mit Kleinversuchen zu speziellen Fragen Eingangsdaten für die Auswertung einer Theorie gewonnen. Der anschließend vorgenommene Vergleich mit Ergebnissen von Wandversuchen hat zum Teil sehr gute, zum Teil aber auch nicht befriedigende Übereinstimmung gezeigt (z. B.: starke Abweichungen in den Bruchwerten von Gasbetonwänden).

Die Forschung zum Schubtragverhalten von Mauerwerk hat zwar deutliche Fortschritte gebracht, kann aber durchaus nicht als abgeschlossen gelten.

#### Arbeitsprogramm für die Schubversuche in der zweiachsigen Prüfmachine

Bisher wurden keine Versuche an zweiachsig mit Hauptspannungen beanspruchtem Mauerwerk durchgeführt. Sie werden z. B. in Lit. /2/ empfohlen, weil sie bei relativ geringer Probengröße zu gut überschaubaren Verhältnissen führen.

Der Durchführung solcher Versuche standen in erster Linie die erheblichen Kosten entgegen, welche der Bau einer geeigneten Prüfanlage verursachen würde. An unserem Institut existiert seit 1973 eine Prüfmachine, in der scheibenförmige Proben mit beliebigen Kombinationen von Zug- und Druckkräften geprüft werden können (Bild 1, Lit. /9/). Die Lasteintragung erfolgt ohne Querdehnungsbehinderung über sogenannte Stahlbürsten. Über eine Klebeverbindung können auch Zugspannungen eingeleitet werden. Diese Anlage wurde für Versuche an Beton gebaut. Sie bietet sich auch für das Studium von schubbeanspruchtem Mauerwerk an.

Aussteifende Wände werden in der Praxis von vertikalen Normalkräften und horizontalen Schubkräften beansprucht (Bild 2). Diese Beanspruchung kann in der zweiachsigen Prüfmachine durch eine Kombination von Zug- und Druckkräften nachgeahmt werden (Bild 3). Aus dem Mohr'schen Spannungskreis ist zu ersehen, daß für ein bestimmtes Verhältnis  $\sigma_{II}/\sigma_I$  eine Fugenneigung  $\alpha$

gemäß  $\tan^2 \alpha = \sigma_{II}/\sigma_I$  gewählt werden muß (Bild 4). Unter dieser Voraussetzung treten in den Lagerfugen die Spannungen  $\sigma_\alpha$  und  $\tau_\alpha$  auf, während in den Stoßfugen nur die Schubspannung  $\tau_\alpha$  wirkt ( $\sigma'_\alpha = 0$ ! Bild 6 und 7). Dies entspricht den praktisch auftretenden Verhältnissen. Durch Variation des Verhältniswertes  $\sigma_{II}/\sigma_I$  und des zugeordneten Prüfwinkels  $\alpha$  können alle möglichen Relationen  $\sigma_\alpha/\tau_\alpha$  erfaßt werden. Im Extremfall  $\alpha = 45^\circ$  bzw.  $\sigma_{II}/\sigma_I = -1$  liegt reine Schubbeanspruchung vor (Bild 5).

Die Versuche sollen an Mauerwerk aus Gasbetonsteinen (GSB 50) begonnen werden. Dabei ist vorgesehen, die Lagerfugen zu kleben und in den Stoßfugen die Steine trocken aneinander zu legen. Dieser Fall tritt in der Praxis neuerdings auf, wenn Planblockmauerwerk nur in den Lagerfugen verklebt wird und in den Stoßfugen zur Arbeitsvereinfachung nur vertikale Verzahnung angeordnet wird. Die Verzahnung ist für das Tragverhalten in der Wandebene ohne Bedeutung. Ergänzungsversuche mit verklebten Fugen in beiden Richtungen sind eingeplant. Die Untersuchung von geklebtem Gasbetonmauerwerk bietet für unsere Prüfanlage verschiedene Vorzüge. Man vermeidet zunächst das Problem der Lasteintragung in Mörtelbänder geringer Steifigkeit, das u. U. zu Störungen führen kann. Außerdem eignet sich Gasbetonmauerwerk sehr gut für die Ausführung beliebig verkleinerter Steinformate. Dies ist nötig, weil aufgrund der Prüfmaschinenabmessungen die Probengröße mit 20/20/5 cm festliegt.

Für die Proben sind Steinformate  $\ell/b/h = 5/5/2,5$  cm geplant (Bilder 2 und 3). Um den Einfluß der Steingröße zu testen, werden ergänzend auch einige Versuche mit Steinformaten  $\ell/b/h = 10/5/5$  cm durchgeführt. Die Fugenneigungen werden von 0 bis  $45^\circ$  variiert. Dadurch werden alle möglichen Fälle von Schub- und Normalkraftbeanspruchtem Mauerwerk nachgeahmt.

Die Steinverformungen werden an charakteristischen Punkten mit Dehnmeßstreifen (evtl. Rosetten) verfolgt.

In Nebenversuchen werden Eigenschaften der verwendeten Materialien getestet (Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Scherversuche).

Die von uns angestrebten Ergebnisse können mit Großversuchen an geklebtem Gasbetonmauerwerk verglichen werden, die derzeit in Stuttgart mit der dort üblichen Versuchsmethode (geschoßhohe Wandscheiben mit Schubrahmen) zur gleichen Frage durchgeführt werden.

Es ist beabsichtigt, die Versuche in der zweiachsigen Prüfanlage mit Mauerwerk aus Kalksandsteinen und Vollziegeln weiterzuführen. Wenn sich die Prüfung mit eindeutigen Lasteintragungen in zwei Achsen an kleinen Proben bewährt, sollte nach dem vorhandenen Vorbild eine Belastungsanlage für größere Mauerwerksausschnitte gebaut werden, um auch Mauerwerksarten prüfen zu können, die sich nicht für Untersuchungen im Modellmaßstab eignen (z.B. Lochsteine).

## VERSUCHE ZUR BESTIMMUNG DER HAFTSCHEREIGENSCHAFTEN VON MAUERWERK

Für das Studium des Schubtragverhaltens von Mauerwerk ist die Kenntnis der Haftscherereigenschaften in den Kontaktflächen von Steinen und Mörtel eine wichtige Voraussetzung. Deshalb werden gleichzeitig mit den soeben

beschriebenen Versuchen in der zweiachsigen Prüfmachine in einer anderen, als Prototyp ebenfalls vorhandenen Prüfmaschine Versuche zum Haftscherverhalten von Mauerwerk durchgeführt.

### Stand der Forschung über die Haftscherereigenschaften von Mauerwerk

Die Haftscherereigenschaften von Mauerwerk wurden wiederholt systematisch studiert. Die bisher verwendeten Versuchsmethoden wiesen aber stets versuchstechnische Probleme auf.

Die Haftscherereigenschaften von Mauerwerk wurden im wesentlichen mit folgenden Versuchstypen untersucht:

*Bild. 8.* 2-Stein-Versuch (z.B. Benjamin/Willams Lit./10/):  
Nachteile:

- Innere Kräfteverhältnisse undefiniert, z.B. Lage von  $P_1$  und daher Größe von Reibungskraft  $P_2$  bei geringer Probenverkantung unsicher
- In Mörtelfuge Querdruck unbekannter Größe als Folge der ebenfalls undefinierten Kraft  $P_2$
- Bruchprozeß völlig unkontrolliert

*Bild 9.* 3-Stein-Versuch (z.B. Schubert/Glitza Lit./11/, Mann/Müller Lit./12/):

Nachteile:

- Innere Momente in Scherfugen, Größe undefiniert, da Größe von Reibungskraft  $P_2$  unsicher
- Querdruckverhältnisse in Mörtelfugen ähnlich wie bei 2-Stein-Versuch (undefiniert)
- Versagen der beiden Scherfugen nacheinander möglich

*Bild 10.* Versuche an Prismen mit schräger Fuge (z.B. Schneider/Schnell Lit./13/):

Nachteile:

- Nur feste  $\tau$ - $\sigma$ -Verhältnisse je nach Fugenneigung  $\alpha$  möglich.

*Bild 11.* Wandversuche (z.B. Trautsch Lit./14/):

Nachteile:

- hohe Kosten
- durch große Fugenlänge hohe Normalkräfte erforderlich, deshalb im Eintragungsbereich der Scherkraft Gefahr von Druckbrüchen
- Zusammenwirken vieler Elemente macht Detailstudium schwierig

Die Versuche waren in den meisten Fällen auf die Ermittlung der Haftfestigkeit und der Coulomb'schen Reibungsgerade ausgerichtet.

Ein vollständiges Studium der Haftungs- und Reibungsbeziehungen sollte auch die auftretenden Verformungsbeziehungen erfassen. Dies ist durch die Beobachtung von  $\tau$ - $\Delta$ -Beziehungen möglich.



Messungen zum  $\tau$ - $\Delta$ -Verhalten wurden nach unserer Kenntnis nur von Trautsch (Lit./14/) in Wandversuchen und von Schubert/Glitza (Lit./11/) in 3-Stein-Versuchen durchgeführt. Trautsch hat seine Messungen auf zwei Vorversuche beschränkt. Die von Schubert/Glitza verwendete Meßanordnung erfaßte—wie die Verfasser selbst feststellen—neben den gesuchten Verschiebungen auch die durch die Scherkraft erzeugten Stauchungen der Steine. Die Ergebnisse von Schubert/Glitza streuen stark, vermutlich vor allem wegen der oben genannten Nachteile der 3-Stein-Versuche.

Die bisher durchgeführten  $\tau$ - $\Delta$ -Beobachtungen erlauben keine abschließende Beurteilung der auftretenden Verhältnisse.

### Arbeitsprogramm für die Versuche zum Haftscherverhalten von Mauerwerk

Mit anderer Zielsetzung wurde an unserem Institut von Daschner eine Prüfmethode entwickelt, die sich auch für das Studium des Haftscherverhaltens von Mauerwerk besonders gut eignet. Die Anwendung dieser Prüfmethode vermeidet die Nachteile bei allen bisher üblichen Versuchsanordnungen (siehe Abschnitt 2.1). Sie erlaubt ferner, die Untersuchungen unter beliebigem, genau definiertem Querdruck senkrecht zur Fuge durchzuführen. Die Bestimmung von  $\tau$ - $\Delta$ -Beziehungen ist möglich.

Die Versuchsanordnung (Bild 14b) ist dem bisher üblichen 2-Stein-Versuch (Bild 14a) ähnlich. Die Scherkräfte  $P_1$ - $P_1$  erzeugen dabei in jedem Fall ein äußeres Moment. Bei der herkömmlichen Versuchsanordnung nach Bild 14a kann das äußere Gleichgewicht nur durch die über Reibung entstehenden, undefinierten Rückstellkräfte  $P_2$ - $P_2$  parallel zu den Lasteinleitungsflächen erreicht werden. Die von Daschner entwickelte Methode bringt das Rückstellmoment durch ein definiertes Kräftepaar  $P_2$ - $P_2$  ein, das elektronisch so gesteuert werden kann, daß das Moment in der Scherfuge verschwindet. Da im Gegensatz zum normalen 2-Stein-Versuch die hierfür erforderliche Kraft  $P_2$  gemessen wird, ist gleichzeitig die erzeugte Querverpressung infolge  $P_2$  bekannt. Ob eine Versuchsanordnung gefunden werden kann, die auch diese kleine Querverpressung vermeidet, wird noch überprüft. Der Fall der reinen Schubbeanspruchung ist als theoretischer Grenzfall von Interesse. Neben dem Rückstellmoment kann eine beliebige Auflast  $P_3$  quer zur Scherfuge aufgebracht werden.

Wie erwähnt, wurde die vorgesehene Prüfmethode für Untersuchungen zu einem anderen Problem (Betonfugen) entwickelt und erprobt. Die dabei verwendete Prüfeinrichtung kann allerdings aus Gründen der Probenabmessungen und der im Vergleich zu Beton geringeren Prüfkraft bei Mauerwerk für die hier geplanten Versuche nicht unmittelbar eingesetzt werden. Wir müssen deshalb die

vorhandene Prüfeinrichtung in verkleinerter Ausführung nachbauen. Nach der Beschaffung der Einrichtung werden in einer ersten Versuchsphase Proben aus Hochlochziegeln und Kalksandsteinen mit verschiedenen Mörtelgruppen geprüft. Es wird entsprechend den praktisch vorkommenden Verhältnissen die Auflast variiert. Die Verschiebungsgesetze ( $\tau$ - $\Delta$ -Beziehungen) werden mit geeigneten Meßvorrichtungen beobachtet.

### LITERATUR ZUM SCHUBTRAGVERHALTEN

1. Walther, R., Höchersteiger, H.: Schubversuche an Mauerwerk (Literaturübersicht), Die Ziegelindustrie, 1968, Heft 21, S. 502 bis 512
2. Schneider, H., Schnell, W.: Schubtragfähigkeit von geschoßhohem Mauerwerk, Otto-Graf-Institut, Universität Stuttgart, Bericht vom 21.1.1976
3. Trautsch, W.: Schertragverhalten von Mauerwerk, in: Formänderungen und Schertragverhalten von Mauerwerk, Berichte aus der Bauforschung, Heft 76, Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin, 1972
4. Zelger, C.: Bewehrte Ziegelstürze, Die Ziegelindustrie, 1967, Heft 24, S. 749 bis 766
5. Mehlhorn, G., Schack, R.: Betrachtung zur wirklichkeitsnahen Ermittlung des Schubtragverhaltens von Mauerwerkswänden, Die Ziegelindustrie, 1973, Heft 8, S. 280 bis 287
6. Mann, W., Müller, H.: Bruchkriterien für querkraftbeanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Windscheiben, Die Bautechnik, 1973, Heft 12, S. 421 bis 425
7. Mann, W., Müller, H.: Bruchkriterien für querkraftbeanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Windscheiben, TH Darmstadt, Bericht vom 11. Oktober 1976
8. Schneider, K.H., Wiegand, E., Jucht, K.D.: Innerer Spannungszustand bei Mauerwerk mit nicht vermörtelten Stoßfugen, Ingenieursozietät Beck-Gravert-Schneider, Frankfurt/Main, Kurzbericht vom 30.6.1976
9. Kupfer, Helmut, Zelger, C.: Bau und Erprobung einer Versuchseinrichtung für zweiachsige Belastung, Heft 229 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Verlag W. Ernst u. Sohn, Berlin, 1973

### LITERATUR ZUM HAFTSCHERVERHALTEN

10. Benjamin, J.R., Williams, H.A.: The Behaviour of One Storey Brick Shear Walls, Proceedings of ASCE, Journal of Structural Division, Vol. 84, No. ST4, 1958
11. Schubert, P., Glitza, H.: Festigkeits- und Verformungskennwerte von Mauermörtel und Wandbausteinen, Institut für Bauforschung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Abschlußbericht F37, Jan. 1978
12. Mann, W., Müller, H.: Bruchkriterien für querkraftbeanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Windscheiben, TH Darmstadt, Bericht vom 11. Oktober 1976
13. Schneider, H., Schnell, W.: Schubtragfähigkeit von geschoßhohem Mauerwerk, Otto-Graf-Institut, Universität Stuttgart, Bericht vom 21.1.1976
14. Trautsch, W.: Schertragverhalten von Mauerwerk, in: Formänderungen und Schertragverhalten von Mauerwerk, Berichte aus der Bauforschung, Heft 76, Verlag W. Ernst und Sohn, Berlin, 1972

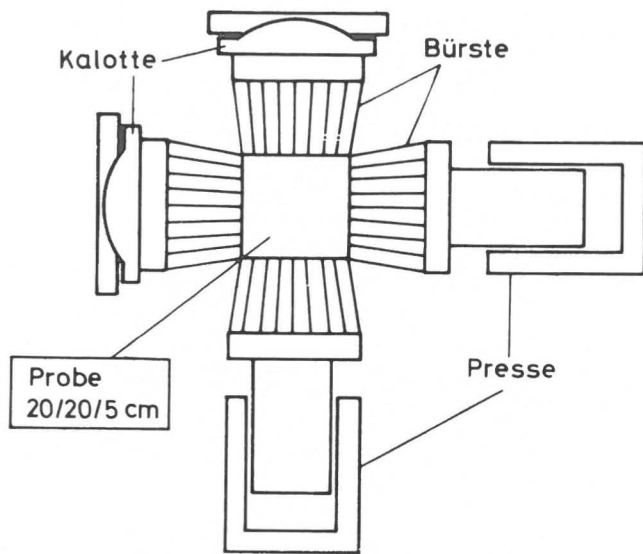


Bild 1. zweiachsige Prüfmaschine (Prinzipskizze)

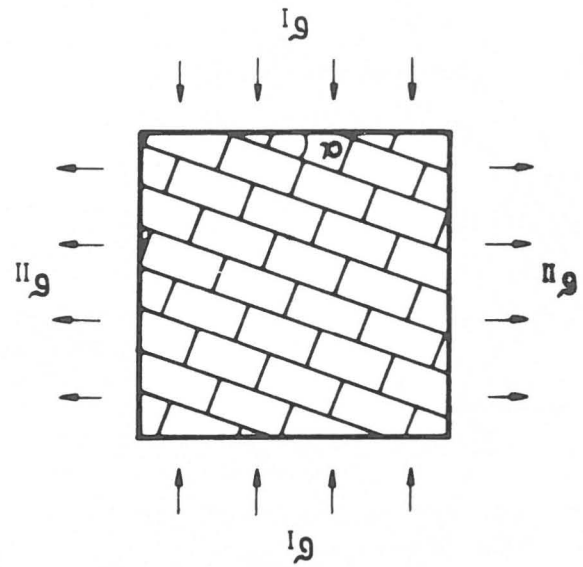


Bild 3. Nachahmung im zweiachsigen Druck-Zug-Versuch (Hauptspannungen  $\sigma_I$ ,  $\sigma_{II}$ )

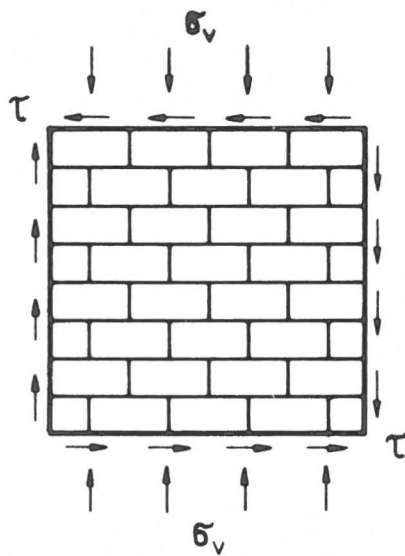


Bild 2. Ausschnitt aus schubbeanspruchtem Mauerwerk mit Normalkraft

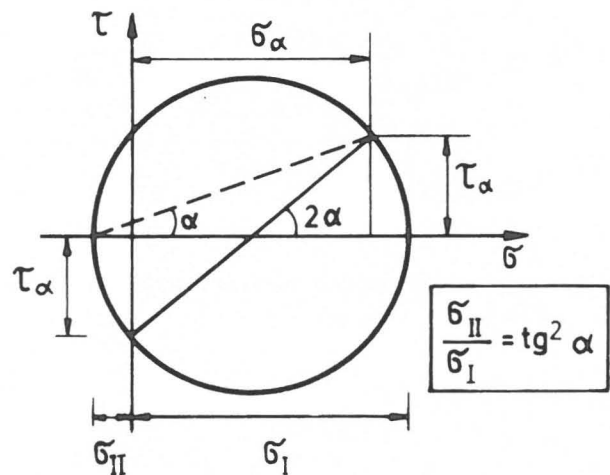


Bild 4. Mohr'scher Spannungskreis für  $\sigma'_\alpha = 0$



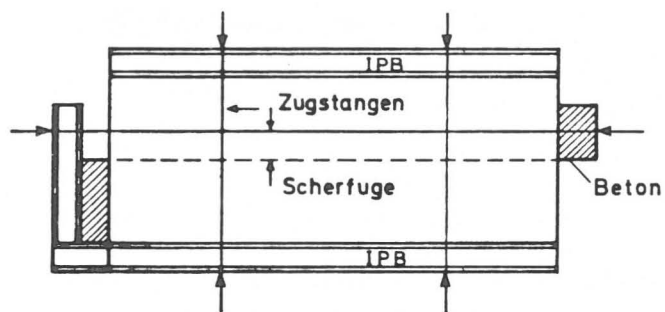


Bild 11. Wandversuche (z.B. Trautsch Lit./14/):

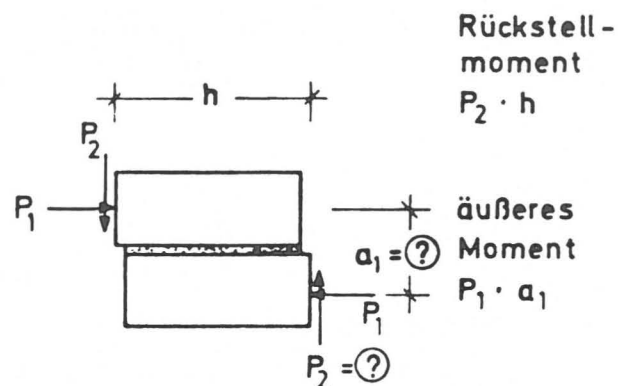


Bild 14a. Üblicher 2-Stein-Versuch

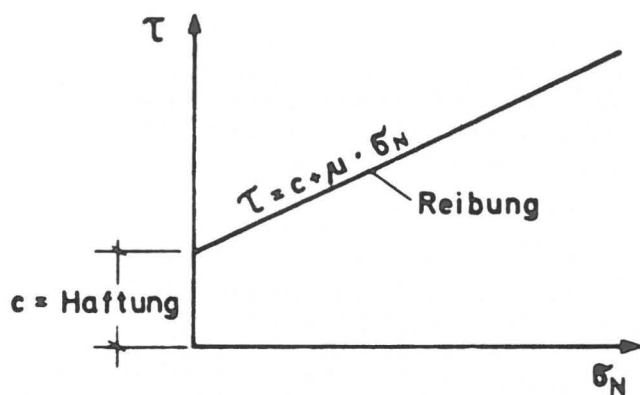


Bild 12.

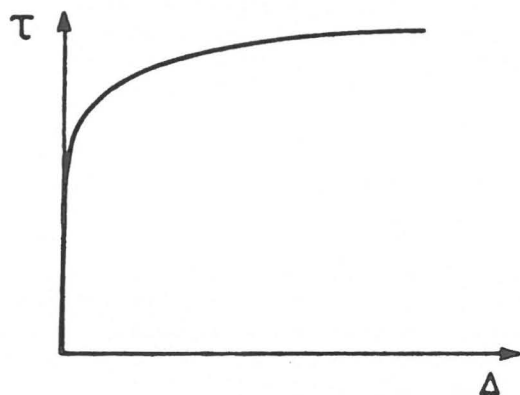


Bild 13.

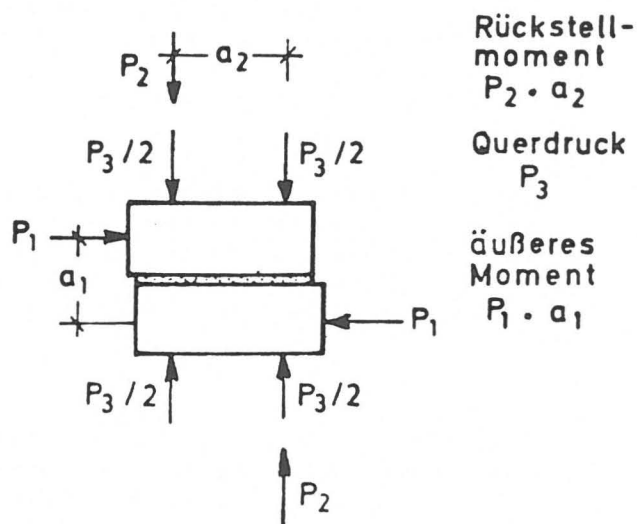


Bild 14b. Verbesselter 2-Stein-Versuch (nach Daschner)