

## Schubfestigkeit von Ziegelmauerwerk

### 1 Einleitung

Mauerwerkswände können durch angreifende Horizontallasten (Wind, Erddruck und als außergewöhnliche Belastung auch Erdbeben) auf Schub beansprucht werden. Im Hinblick auf die Überarbeitung der Entwürfe zu den Eurocodes 6 und der DIN 4149 „Erdbeben“ war eine Überprüfung der Festlegungen zur Schubfestigkeit von Mauerwerk erforderlich. Im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel wurden deshalb in /1/ alle vorliegenden deutschen Versuchsergebnisse zur Schubfestigkeit von Ziegelmauerwerk ausgewertet.

### 2. Datenbasis der Auswertung in /1/

Zur Schubtragfähigkeit von Mauerwerk liegen in Deutschland bislang im Vergleich zur Druckfestigkeit nur relativ wenige Versuchsergebnisse vor. Für Ziegelmauerwerk liegt eine Reihe von Ergebnissen aus Grundlagenuntersuchungen sowie insbesondere aus Untersuchungen an hochwärmedämmenden Ziegeln im Rahmen von bauaufsichtlichen Zulassungsverfahren vor.

In /1/ wurden alle vorliegenden Versuchsergebnisse von Mauerwerk aus Ziegeln mit mindestens in einer Steinrichtung durchgehenden Stegen und einem Lochanteil von  $\leq 56\%$  ausgewertet. In der Auswertung wurden 26 Schubversuche an Ziegelmauerwerk mit Normal-, Leicht- und Dünnbettmörtel aus 8 verschiedenen Untersuchungen berücksichtigt. Die große Mehrzahl der Versuche wurde mit Ziegelmauerwerk ohne Stoßfugenvermörtelung durchgeführt.

### 3. Vergleich der Auswertergebnisse aus /1/ mit den Angaben in DIN 1053-1

#### 3.1 Ziegelmauerwerk mit Normalmörtel

Für Ziegelmauerwerk mit Normalmörtel liegen insgesamt 9 Versuchsergebnisse vor.

In Bild 1 sind die Verhältniszerte  $\tau_{\text{Versuch}}/\tau_{\text{cal}}$  (DIN 1053-1) für Mauerwerk mit Normalmörtel dargestellt. Im Bereich von Auflasten bis zur Höhe der zulässigen Druckspannung nach DIN 1053 sind alle im Versuch ermittelten Schubfestigkeiten deutlich höher als die Rechenwerte nach DIN 1053-1 für den Versagensfall „Überschreiten der Steinzugfestigkeit“.

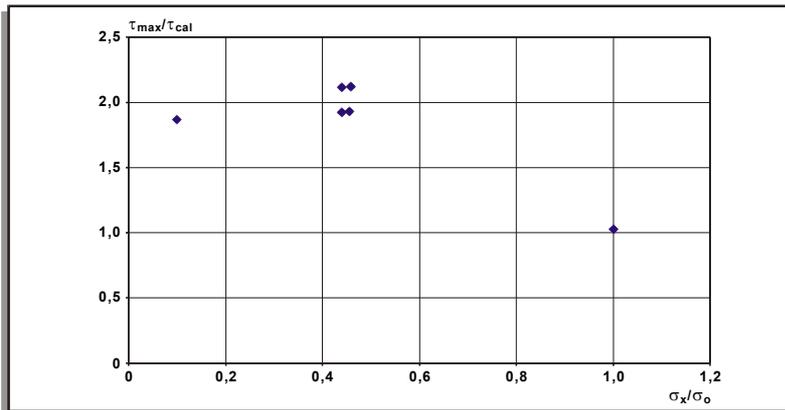
3 Versuche wurden mit sehr hohen Normalspannungen von 2 bis  $2,5 \sigma_0$  durchgeführt. Für diese Normalspannungen wird die Schubfestigkeit nach den Bemessungsregeln der DIN 1053-1 definitionsgemäß zu null gesetzt. Auch hier wurden im Versuch Schubfestigkeiten ermittelt, die im Bereich der Werte bei voller zulässiger Druckspannung und z. T. deutlich darüber lagen.

#### 3.2 Ziegelmauerwerk mit Leichtmörtel

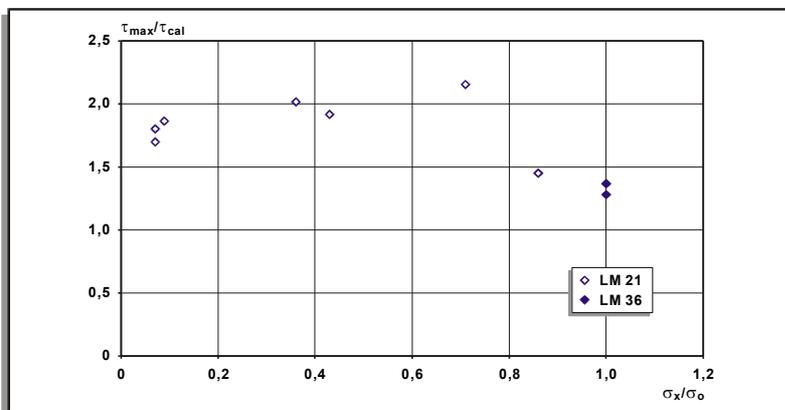
Auch für Ziegelmauerwerk mit Leichtmörtel (LM 21 und LM 36) liegen insgesamt 9 Versuchsergebnisse vor.

In Bild 2 sind die Verhältniszerte  $\tau_{\text{Versuch}}/\tau_{\text{cal}}$  DIN 1053-1 dargestellt. Im Bereich von Auflasten bis zur Höhe der zulässigen Druckspannung nach DIN 1053 sind alle im Versuch ermittelten Schubfestigkeiten ebenfalls deutlich höher als die Rechenwerte nach DIN 1053-1 für den Versagensfall „Überschreitender Steinzugfestigkeit“.

**Bild 1: Verhältniswerte zwischen Schubfestigkeiten im Versuch und Rechenwerten nach DIN 1053 - 1, Ziegelmauerwerk mit Normalmörtel**



**Bild 2: Verhältniswerte zwischen Schubfestigkeiten im Versuch und Rechenwerten nach DIN 1053 - 1, Ziegelmauerwerk mit Leichtmörtel**



### Dünnbettmörtel

Für Planziegel mit Dünnbettmörtel liegen 4 Versuchsergebnisse vor.

Tendenziell ergibt sich auch hier das gleiche Bild wie für Hochlochziegel mit Normal- und

Leichtmörtel. Die rechnerisch nach DIN 1053-1 ermittelten Schubfestigkeiten sind deutlich geringer als die im Versuch nachgewiesenen Werte.

### 4. Bewertung

Die Auswertergebnisse zeigen, dass die Schubfestigkeit von Ziegelmauerwerk mit dem z. Zt. in DIN 1053-1 enthaltenen Bemessungsgleichungen deutlich unterschätzt wird.

Bei den Versuchen erfolgte der Schubbruch überwiegend durch Überschreiten der Steinzugfestigkeit.

der Baustoffkennwert in der Bemessungsgleichung der DIN 1053-1 für den Lastfall „Überschreiten der Steinzugfestigkeit“ wird z. Zt. die zentrische Steinzugfestigkeit  $\beta_{RZ}$  mit  $\beta_{RZ} = 0,033 \times \beta_{N,st}$  mit  $\beta_{N,st}$  Stein-Nennruckfestigkeit angegeben.

Für die untersuchten Ziegel ist diese Annahme nach neueren Auswertungen sogar noch etwas zu günstig, sodass die Diskrepanz zwischen dem Rechenwert nach DIN 1053-1 und dem durch Schubversuche nachgewiesenen Ist-Wert insgesamt noch größer ist.

Für einen anisotropen Baustoff wie Hochlochziegel ist der näherungsweise Ansatz der zentrischen Steinzugfestigkeit zur Bestimmung der Schubfestigkeit offenbar nicht ausreichend aussagekräftig. Maßgebend für die Schubfestigkeit von Mauerwerk aus Hochlochziegeln ist vermutlich vielmehr die „Schrägzugfestigkeit“ deren Größenordnung zwischen der zentrischen Zugfestigkeit in Richtung Steinlänge und der zentrischen Zugfestigkeit in Richtung

Steinhöhe (i. a. etwa 10% der Steindruckfestigkeit) liegen dürfte. Versuchsergebnisse liegen hierzu bisher nicht vor.

## **5. Vorschläge für zulässige Schubspannungen von Ziegelmauerwerk als Grundlage für die Überarbeitung von DIN 1053-1, DIN 4149, ENV 1996-1-1 und ENV 1998**

### **5.1 Allgemeines**

Zur zutreffenderen Beschreibung der Schubtragfähigkeit von Mauerwerk insgesamt ist noch /1/ ein erheblicher Forschungsbedarf vorhanden. Nur auf der Basis solcher Grundlagenuntersuchungen kann für die künftige europäische Normung ein ausreichend abgesichertes und zutreffenderes Bemessungsverfahren entwickelt werden, mit dem Tragfähigkeitsreserven ausgeschöpft werden können. In der Zwischenzeit ist eine pragmatische Lösung mit bestmöglicher Angleichung zwischen Berechnung und Versuch erforderlich.

### **5.2 Bemessungsformel für den Lastfall – Überschreiten der Steinzugfestigkeit**

Zur Ableitung eines zutreffenderen Rechenwertes der Schrägzugfestigkeit wurden in einem ersten Schritt die Versuchsergebnisse aus /1/, bei denen Steinzugversagen maßgebend war, mit der Bemessungsgleichung der DIN 1053-1 nachgerechnet, wobei  $\beta_{RZ}$  jeweils so gewählt wurde, dass Rechenergebnis und Versuchsergebnis übereinstimmten. Für die ausgewerteten insgesamt 17 Einzelversuche ergab sich als Mittelwert der „rechnerischen Schrägzugfestigkeit“

$$\beta_{RZ} = 0,071 \beta_{N,st}$$

Wenn als Rechenwert für die Schrägzugfestigkeit von Hochlochziegeln der 5%-Quantilwert, wie im Mauerwerkbau üblich, zu 70% der mittleren Schrägzugfestigkeit angenommen wird, erhält man

$$\beta_{RZ,5\%} = 0,05 \beta_{N,st}$$

Bei Ansatz dieser Schrägzugfestigkeit liegen die im Versuch ermittelten Schubfestigkeiten nur in einem Fall geringfügig ( $0,01 \text{ N/mm}^2$ ) unter der rechnerisch ermittelten Schubfestigkeit, s. Bild 3.

Die derzeit nach DIN 1053-1 anzusetzende Steinzugfestigkeit würde nach diesem neuen Ansatz für Mauerwerk aus Hochlochziegeln um 50%, für Mauerwerk aus Vollziegeln um 25% erhöht. Dies bedeutet für die rechnerische Schubfestigkeit von Mauerwerk aus Hochlochziegeln nach Gl. 16 b der DIN 1053-1 eine Erhöhung um 25 bis 45 %, je nach vorhandener Auflast und Ziegel-Festigkeitsklasse.

### **5.3 Bemessungsformeln für den Lastfall – Überschreiten der Haftscherfestigkeit**

Bei etwa der Hälfte der in /1/ ausgewerteten Versuche mit Schubbruch durch Überschreiten der Steinzugfestigkeit würde bei Ansatz der zutreffenden Steinschrägzugfestigkeit

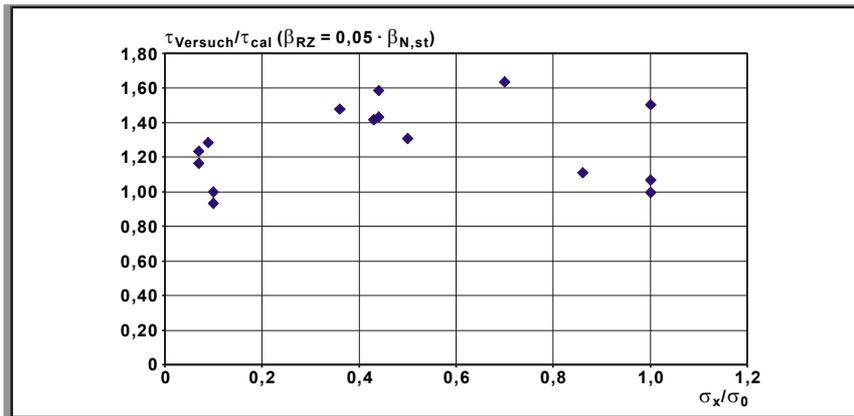
$$\beta_{RZ} = 0,05 \cdot \beta_{N,st}$$

rechnerisch die Haftscherfestigkeit zum Versagenskriterium. Dieser Widerspruch zwischen Versuch und Rechnung entfällt, wenn man bei der Berechnung der Schubfestigkeit von Ziegelmauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen als Rechenwert für die Haftscherfestigkeit 75% des Bemessungswertes  $\beta_{RHS}$  ansetzt.

$$\gamma \cdot \tau = 0,75 \cdot \beta_{RHS} + \mu \cdot \sigma$$

In vielen Fällen, besonders bei den baupraktisch häufig anzutreffenden Auflasten im Bereich von etwa 0,4 bis  $0,7 \sigma_0$ , bestehen auch mit diesen neuen Ansätzen für Ziegelmauerwerk weiterhin erhebliche ungenutzte Tragfähigkeitsreserven von bis zu 60%, s. Bild 3. Dies unterstreicht den Bedarf für weiterführende Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet.

**Bild 3: Verhältniswert Schubversuchsergebnisse zu Rechenwerten nach DIN 1053-1 (berechnet mit  $\beta_{RZ} = 0,05 \beta_{N,st}$ ) in Abhängigkeit von der Auflast**



## 6. Zusammenfassung

Mit den derzeit verwendeten Ansätzen für die Baustoffkennwerte und dem vorliegenden Bemessungsverfahren nach DIN 1053-1 wird die Schubtragfähigkeit von Ziegelmauerwerk i. d. R. deutlich unterschätzt.

Die Bemessung nach DIN 1053-1 war trotz dieser sehr stark auf der sicheren Seite liegenden Schubfestigkeiten bisher problemlos möglich. Im Eurocode 6 und insbesondere in DIN 4149 und dem Eurocode 8 werden zukünftig möglicherweise höhere Anforderungen an die Schubtragfähigkeit von Mauerwerk gestellt. Eine Anpassung der Bemessungsverfahren ist daher erforderlich, um die vorhandenen Tragfähigkeitsreserven bei der Bemessung nutzen zu können.

In einem ersten Schritt sind die Anhebung des Rechenwerts der Steinzugfestigkeit für den Lastfall Schub („Schrägzugfestigkeit“) für Hochlochziegel um 50% auf  $\beta_{RZ,5\%} = 0,05 \beta_{N,st}$  sowie die Anhebung des Rechenwerts für die Haftscherfestigkeit bei Ziegelmauerwerk mit unvermörtelten Stoßfugen auf  $0,75 \cdot \beta_{RHS}$  einfach umsetzbare Lösungen, mit denen das Sicherheitsniveau nach dem Bemessungsprinzip der DIN 1053-1 in voller Höhe erhalten bleibt.

Daraus ergibt sich, je nach Steifigkeitsklasse und vorhandener Auflast eine Erhöhung der zulässigen Schubspannungen von HLz-Mauerwerk um 25 bis 45%. Diese Erhöhung ist durch die vorliegenden und in /1/ ausgewerteten Versuchsergebnisse für Hochlochziegel mit Lochanteilen  $\leq 56\%$ ,

- einer Querstegdickensumme  $\geq 160$  mm/m und
- mindestens in einer Richtung durchgehenden Stegen

ausreichend abgesichert.

## 7. Literatur

/1/ Schubert, P.: Erfassung und Auswertung der Schubversuche an Mauerwerk aus Hochlochziegeln. Aachen: Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen, Prüfberichte Nr. A 3103/1 und A 3103/2, 1998.

/2/ Schubert, P.: Vergleich EC 6 mit DIN 1053. Teil I: Theoretische Grundlagen. Abschnitt 4.1: Baustoffeigenschaften. Aachen: Institut für Bauforschung (ibac) der RWTH Aachen, Forschungsbericht Nr. F 669, 1998.

Bonn, November 1998  
Dr. My-GdJ AMz