

Leichtmauerwerk: Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit: eine Studie der Empa Dübendorf

Autor(en): **Czaderski, Christoph**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **127 (2001)**

Heft 5: **Schwarzwaldbrücke**

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80116>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Leichtmauerwerk: Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Eine Studie der Empa Dübendorf

Leichtmauerwerke gemäss der Norm SIA V 177 (1995) übernehmen die Trag- und die Wärmedämmfunktion. Im Rahmen einer Versuchsreihe an der Empa wurde festgestellt, dass einige der in der Schweiz verwendeten Leichtmauerwerke die geforderten Festigkeiten der SIA-Norm nicht erfüllen. Als Verkaufsargument zählt momentan nur ein möglichst guter Wärmedämmwert, dass dieser aber meist auf Kosten der Festigkeit geht, wird vielfach nicht in Betracht gezogen.

Herkömmliches Mauerwerk wird zusammen mit einer äusseren Isolation eingesetzt und hat somit ausschliesslich die Tragfunktion zu erfüllen. Neuerdings gibt es Mauerwerksprodukte, so genannte Leichtsteine, die beide Funktionen «Tragen» und «Wärmedämmen» übernehmen. Diese beiden Funktionen sind aber grundsätzlich gegenläufig, d.h. vereinfacht ausgedrückt je mehr Luftporen oder Luftkammern in den Steinen vorhanden sind, desto besser ist zwar die Wärmedämmung, desto schlechter aber ist die Festigkeit. Bei der momentanen Energiesparwelle sind vor allem sehr hohe Dämmwerte als Verkaufsargument gefragt. Dass eine gute Dämmwirkung aber auf Kosten der Festigkeit geht, wird vielfach nicht in Betracht gezogen.

Die Empa hat deshalb im Rahmen eines Forschungsprojektes die Festigkeitswerte (Druck- und Biegezugfestigkeit) von Leichtmauerwerk ermittelt. Die Wärmeleit-

fähigkeit der Steine war nicht Bestandteil des Projektes und wurde somit nicht gemessen. Ziel des Projektes war es, einen Überblick über die meisten hier zu Lande verwendeten Leichtsteine zu erhalten. Die Erfahrungen sollen Stein- bzw. Mörtelproduzenten, Architekten, Bauingenieure und Bauherren auf die Problematik «Wärmedämmung kontra Festigkeit» aufmerksam machen. Dies kann massgeblich dazu beitragen, dass spätere Bauschäden durch Leichtsteine vermieden werden. Ausserdem sollen die Erfahrungen in die einschlägigen Normen einfließen. Grundsätzlich gibt es die folgenden drei Steinarten für Mauerwerk aus künstlichen Steinen:

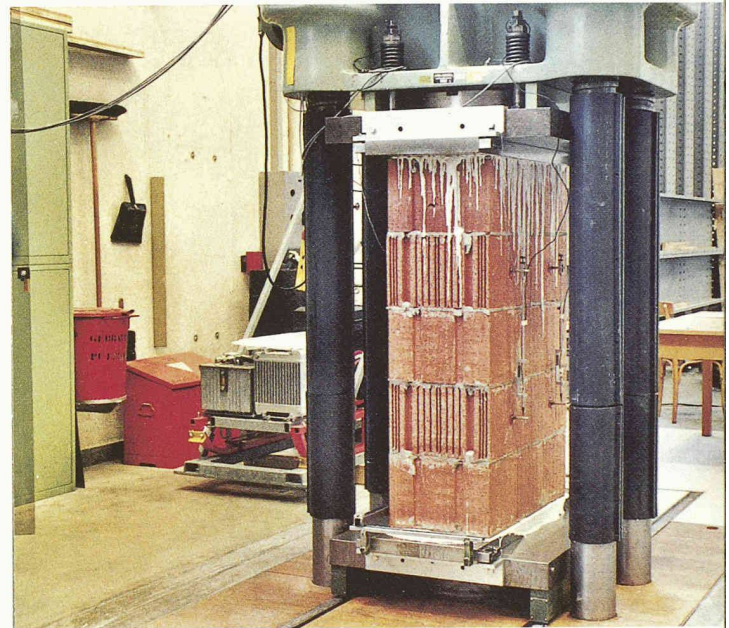
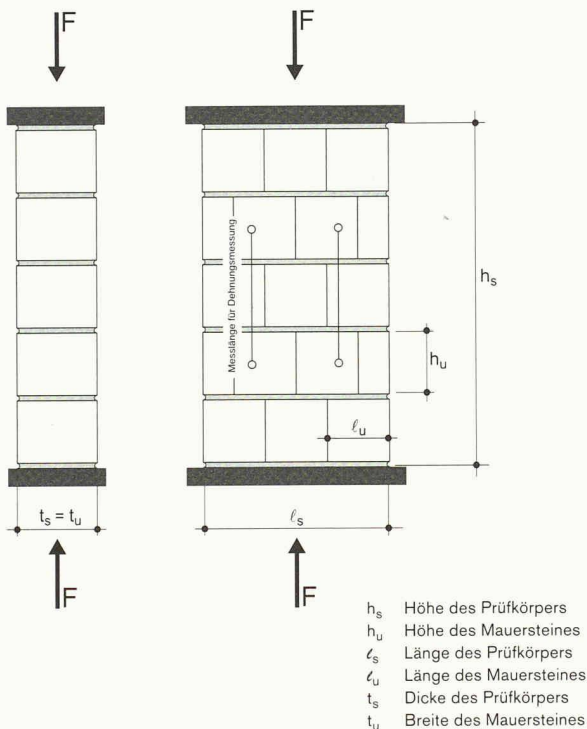
- Backstein bei rund 1000 °C gebrannter Ton
- Zementstein Zement, Wasser und Sand
- Kalksandstein Sand und Weisskalk, unter hohem Dampfdruck bei 200 °C erhärtet.

Durch geeignete Massnahmen können für jeden Grundtyp sogenannte Leichtsteine gefertigt werden. So wird beim Leichtbackstein das Lochbild wärmetechnisch optimiert, eventuell wird der Backstein durch Zugabe von beispielsweise Sägemehl vor dem Brennen noch zusätzlich porosiert. Beim Leichtzementstein werden die Zuschläge durch poröse Materialien wie Blähton oder Bims ersetzt; Luftkammern, die eventuell mit Dämmstoffen gefüllt sind, erhöhen die Dämmwirkung des Steines. Beim Leichtkalksandstein (Porenbeton) werden Treibmittel eingesetzt, um Poren zu erzeugen. In der Norm SIA V 177 (1995) wird zwischen den nachfolgend aufgeführten Mauerwerksarten unterschieden:

- MB Mauerwerk aus gebrannten Steinen (beispielsweise Backsteine oder Klinker)
- MBL Mauerwerk aus gebrannten Leichtsteinen

1
Mauerwerks-Kleinkörper für Druckversuch
 (pro Versuch drei Prüfkörper)

2
Prüfkörper in der Druckpresse



- MC Mauerwerk aus zementgebundenen Steinen (beispielsweise Betonsteine)
- MCL Mauerwerk aus zementgebundenen Leichtsteinen
- MK Mauerwerk aus hydrothermisch gehärteten Steinen (beispielsweise Kalksandsteine)
- MP Mauerwerk aus hydrothermisch gehärteten Leichtsteinen (beispielsweise Porenbetonsteine)
- MPL Mauerwerk aus hydrothermisch gehärteten Leichtsteinen mit geringerer Rohdichte.

Auswahl der geprüften Mauerwerke und Beschreibung der Versuche

Einige Steine und Mörtel für die Prüfungen wurden anonym über einen unabhängigen Bauunternehmer besorgt, die meisten Prüfungen wurden aber in Zusammenarbeit mit den Stein- bzw. Mörtelproduzenten durchgeführt. Das Material wurde von den Produzenten geliefert.

Zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit wurden vertikale Druckprüfungen und horizontale Biegeprüfung an von der Empa aufgemauerten Mauerwerks-Kleinkörper durchgeführt (Bilder 1 bis 4). Ergänzend wurde jeweils die Steindruckfestigkeit und

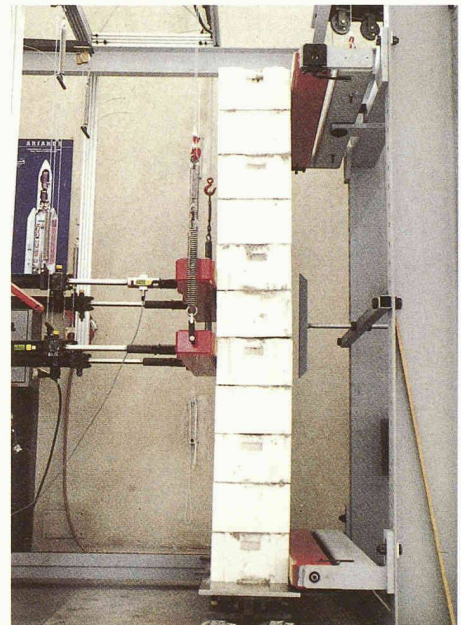
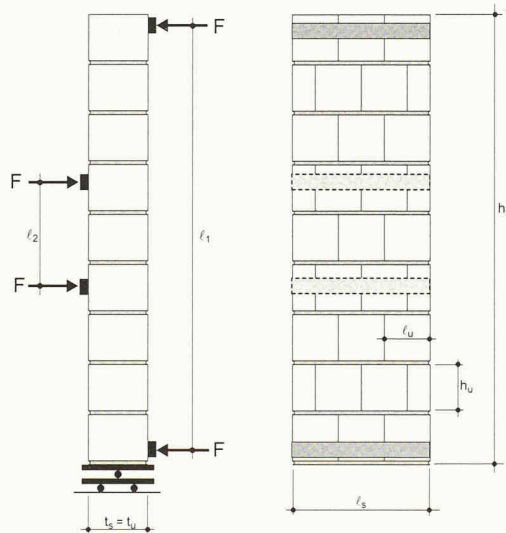
die Mörteldruckfestigkeit ermittelt. Bei der Ermittlung der Steinquerzugfestigkeit wurden jeweils drei Steine aufeinander in der Prüfmaschine bis zum Bruch geprüft, wobei die Zwischenlagen aus klar definierten Gummipplatten bestanden. Bezeichnungen zu Bilder 1 und 3 (Bezeichnungen gemäss SIA V 177, 1995, und EN 1052-1, 1998):

- f_x charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerks, entspricht dem Mittelwert der Prüfwerte um den Faktor 1,2 reduziert
- f_{fx} charakteristische Biegezugfestigkeit des Mauerwerks, entspricht dem Mittelwert der Prüfwerte um den Faktor 1,5 reduziert
- f_b mittlere Steindruckfestigkeit mit Formfaktor auf Standardabmessung umgerechnet
- f_{bq} mittlere Steinquerzugfestigkeit (= Druckfestigkeit mit wenig behinderter Querdehnung)
- f_m mittlere Mörteldruckfestigkeit.

Es wurden Steine mit Breiten von 0,2 bis 0,4 m geprüft. Beim Druckversuch waren die Prüfkörper etwa 1,0 bis 1,5 m hoch (Schlankheit $\lambda = h_s / t_s = 3$ bis 8). Um reines Biegeversagen zu erhalten, wurden die Prüfkörper beim Biegezugversuch höher, d.h. etwa 1,2 bis 2,3 m ($\lambda = 4$ bis 10), gewählt. Die Festigkeitswerte des Mauerwerks wurden in statischen Kurzzeitversuchen ermittelt. Rück-

3
Mauerwerks-Kleinkörper für Biegezugversuch
(pro Versuch fünf Prüfkörper)

4
Prüfkörper in der Biegeprüfmaschine



schlüsse auf das Langzeitverhalten und auf den Widerstand gegen dynamische Einwirkungen wie z.B. Erdbeben können daraus nicht gezogen werden. Die Versuche wurden gemäss der aktuell gültigen SIA-Empfehlung V 177 (1995) durchgeführt. Die Versuche fanden in den Jahren 1997 bis 1999 statt. Eine ausführliche Beschreibung der Versuche kann [1] entnommen werden.

Ermittelte Mauerwerksfestigkeiten

In Bild 6 sind die Resultate der Stein-, Mörtel- und Mauerwerksprüfungen dargestellt. Rot unterlegt sind diejenigen Prüfergebnisse, welche die Vorschriften der Norm SIA V 177 (1995) nicht erfüllen. Es zeigte sich folgendes Bild:

- Etwa drei Viertel der Steinfestigkeiten erfüllten die Normwerte.
- Die meisten Mörtel erfüllten die Vorgaben der SIA-Norm.
- Der Elastizitätsmodul der Mauerwerke erfüllte die SIA-Norm meistens, einzig einige Leichtzementsteine lagen darunter.
- Etwa die Hälfte der Mauerwerke erfüllte die geforderte Druckfestigkeit und Biegezugfestigkeit nicht.
- Von den Porenbeton-Mauerwerken erfüllte keines die geforderte Biegezugfestigkeit, wobei dazu zu sagen

ist, dass der in der SIA-Norm vorgeschriebene Wert (0,9 bzw. 0,6 MPa) im Vergleich zu den anderen Mauerwerksarten (MCL: 0,15 MPa, MBL: 0,1 MPa) unerklärlich hoch erscheint.

Das Zwei-Komponenten-System «Mauerwerk» ist ein komplexes Tragsystem, das von verschiedensten Faktoren beeinflusst wird. Neben den Festigkeits- und Verformungseigenschaften der Steine und des Mörtels hat insbesondere das Zusammenwirken zwischen Mörtel und Stein einen grossen Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften des Mauerwerkes.

Aus den Prüfergebnissen können die nachfolgend beschriebenen Feststellungen gemacht werden:

- Bei der Mauerwerks-Druckfestigkeit ist die «normale» Bruchart ein Aufspalten des Steines in Querrichtung, da der Mörtel eine grössere Querdehnung aufweist. Deshalb liegt die Mauerwerks-Druckfestigkeit bei «normalem» Mauerwerk etwa in der Grössenordnung der Querkzugfestigkeit (Definition gemäss SIA V 177: Druckfestigkeit mit wenig behinderter Querdehnung) der Einzelsteine. Zu beachten ist aber, dass durchaus auch andere Brucharten vorkommen können. Dies vor allem bei Leichtsteinen, die andere Abmessungen und Festigkeiten aufweisen wie herkömmliches Mauerwerk. Insbesondere auch bei Verwendung von Leichtmörteln

				Versuch			Formeln (1) bis (6)	
				fb	fm	fx	fx	
SIA V 177 MBL	MBL	Normwerte nach SIA		14,0	5,0	4,0	0,10	3,4
Stein A1	Stein A1	Mörtel 1 Prüfung nach SIA177(1990)		32,8	15,4	6,3	0,25	6,9
Stein A2	Stein A2	Mörtel 2		25,3	13,4	4,0	0,09	5,5
Stein B	Stein B	Mörtel 3		19,1	10,4	5,7	0,28	4,4
Stein C	Stein C	Mörtel 4		10,8	4,6	1,9	0,07	2,3
Stein C	Stein C	Mörtel 5		10,8	9,4	2,8	0,05	2,8
Stein D	Stein D	Mörtel 6		11,4	7,8	1,7	0,07	2,3
Stein D	Stein D	Mörtel 7		11,4	11,7	3,8	0,19	2,9
Stein E	Stein E	Mörtel 8		28,2	8,2	2,4	0,08	3,3
Stein F	Stein F	Mörtel 9		26,2	11,1	4,8	0,31	5,7
SIA V 177 MCL	MCL	Normwerte nach SIA		5,0	5,0	2,0	0,15	2,3
Stein H	Stein H	Mörtel 11		16,4	14,0	6,2	0,26	6,3
Stein J	Stein J	Mörtel 12		6,6	7,8	2,2	0,12	2,9
Stein K	Stein K	Mörtel 13		3,3	4,5	1,9	0,16	1,8
Stein L	Stein L	Dünnbett-mörtel 14		1,7	8,6	1,1	0,17	1,1
Stein M (Verbandm.)	Stein M (Verbandm.)	Mörtel 15		7,0	7,2	2,9	0,12	2,9
Stein N	Stein N	Mörtel 16		7,5	11,0	2,9	0,15	3,3
SIA V 177 MP	MP	Normwerte nach SIA		5,0		3,2	0,90	2,9
Stein O	Stein O	Dünnbett-mörtel 17		4,9	12,7	3,5	0,32	2,8
SIA V 177 MPL	MPL	Normwerte nach SIA		2,5		1,8	0,60	1,6
Stein P	Stein P	Dünnbett-mörtel 18		3,7	14,4	1,8	0,15	2,2
Stein Q	Stein Q	Mörtel 19		4,0	12,7	1,4	0,16	2,4
Stein R	Stein R	Mörtel 20		4,2	2,3	1,5	0,05	2,5

5
Zusammenstellung der Prüfergebnisse
der Mauerwerksprüfung

mit Zuschlagstoffen aus Dämmmaterialien wie Polystyrolkugeln sind andere Brucharten wie zum Beispiel ein Einstanzen der dünnen Stege in den Mörtel möglich. Aufgrund der ermittelten Stein-Querzugfestigkeit und der Mauerwerks-Druckfestigkeit kann deshalb vermutet werden, dass teilweise andere Brucharten aufgetreten sind.

- Bei der Mauerwerks-Biegezugfestigkeit ist die «normale» Bruchart ein Öffnen der Lagerfuge durch Überschreiten der Haftzugfestigkeit zwischen Mörtel und Stein. Diese Bruchart ist bei den durchgeführten Prüfungen meistens beobachtet worden.

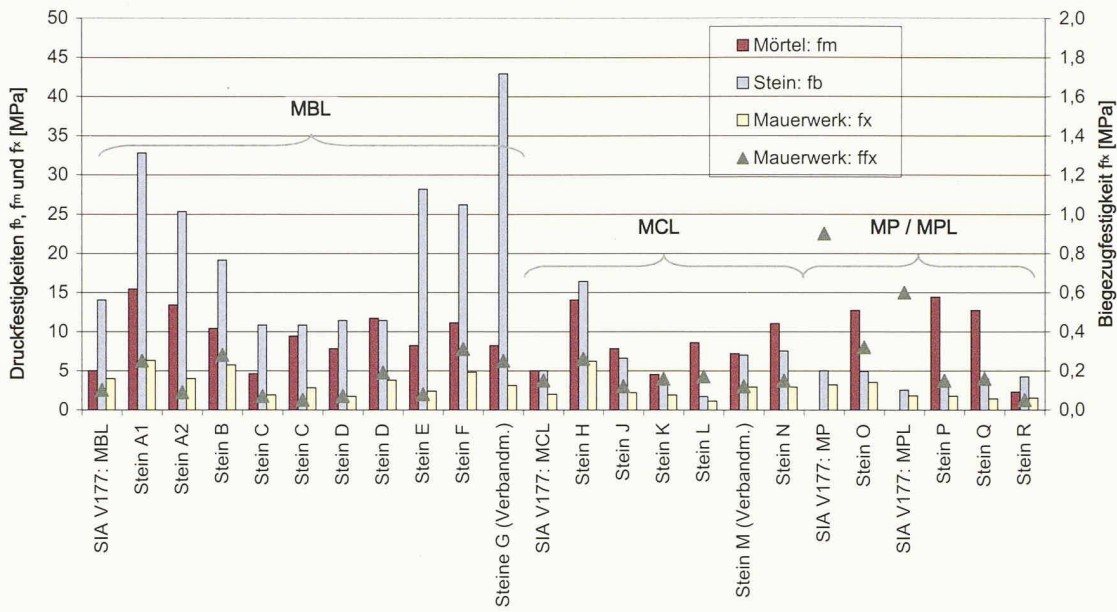
- Durch ein gutes Zusammenwirken von Mörtel und Stein erreicht Stein B, der zwar eine tiefere Steindruckfestigkeit als fünf andere Steine aufweist, trotzdem eine etwa gleich hohe oder sogar eine höhere Mauerwerks-Druckfestigkeit.

- Steine C und D wurden jeweils mit zwei verschiedenen Mörteln geprüft. Es zeigte sich, dass eine höhere Mörtelfestigkeit auch eine höhere Mauerwerks-Druckfestigkeit zur Folge hatte, auf der anderen Seite aber nicht unbedingt eine höhere Mauerwerks-Biegezugfestigkeit.

- Wenn Leichtbacksteine mit LM 21 (Definition nächstes Kapitel) vermauert werden, ist es praktisch nicht

mehr möglich, die geforderten Druckfestigkeiten von $f_x = 4 \text{ MPa}$ einzuhalten.

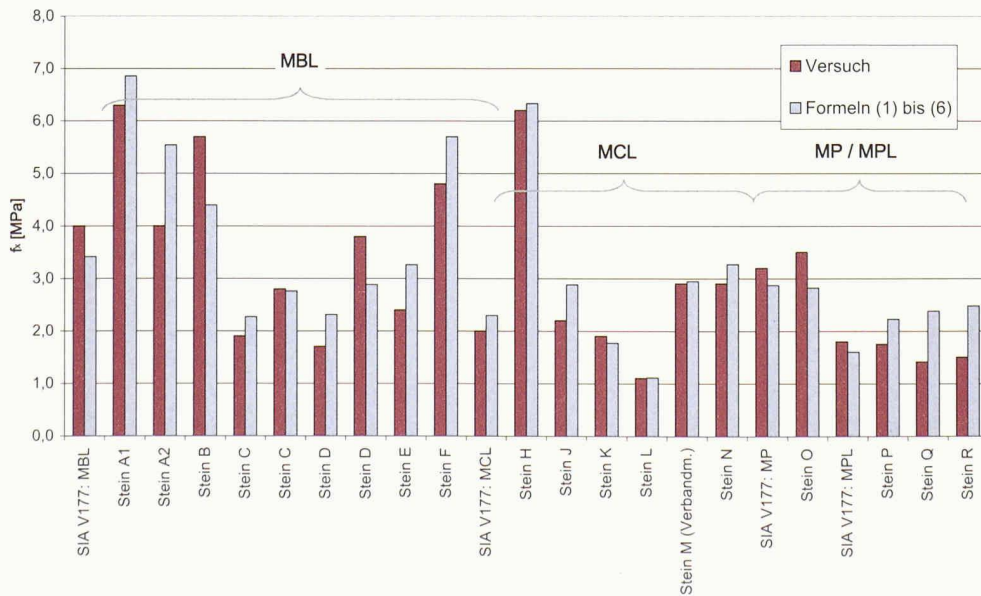
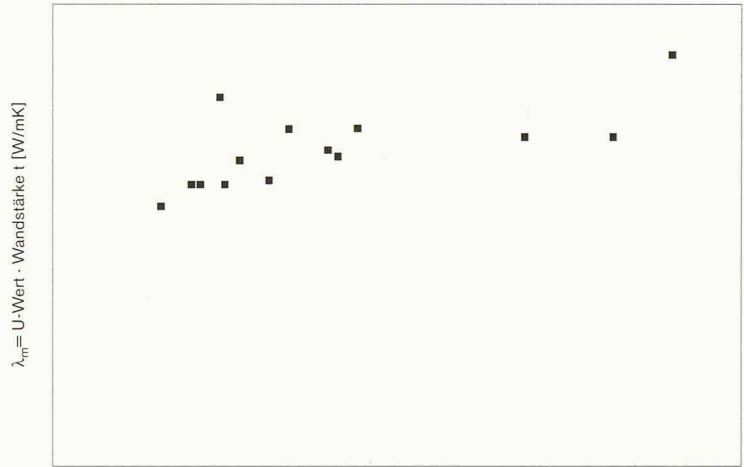
- Als weitere wichtige Erkenntnis kann festgehalten werden, dass es durchaus möglich ist, mit geschickter Materialwahl und vor allem mit optimaler Abstimmung von Mörtel- auf Steineigenschaften ein Leichtmauerwerk zu produzieren, das hohe Festigkeiten und eine gute Wärmedämmung aufweist. In Bild 7 sind einige der geprüften Steine als Verhältnis zwischen der Druckfestigkeit f_x und der auf die ganze Wand bezogenen mittleren Wärmeleitfähigkeit λ_m (W/mK) dargestellt. Der λ_m -Wert ist das Produkt aus dem U-Wert und der Wandstärke. Er kann somit als Mittelwert über die ganze Wand angesehen werden. Der U-Wert ist eine Definition der neuen EN-Normen (früher k-Wert) für den Wärmedurchgang und wird als Wärmedurchgangskoeffizient bezeichnet (W/m²K). Gut ersichtlich ist, dass sich drei Steine durch gute Festigkeit und gute Wärmedämmung hervorheben. Der U-Wert für diese Zusammenstellung wurde den Verkaufsunterlagen entnommen. Deshalb wurde das Diagramm auch nur qualitativ dargestellt. Aufgrund der Erfahrungen kann somit festgehalten werden, dass für einzelne Leichtmauerwerke weiteres Optimierungspotenzial in Bezug auf gute Festigkeit und gute Wärmedämmung vorhanden ist.



6
Diagramm der Prüfergebnisse

7
Zusammenstellung der Druckfestigkeiten f_x im Verhältnis zur mittleren Wärmeleitfähigkeit λ_m

8
Vergleich zwischen Formeln und Versuch



Berechnung der Mauerwerks-Druckfestigkeit f_x und Vergleich mit den Versuchsergebnissen

In [2] wurden Formeln aufgrund von Versuchen hergeleitet, um die Druckfestigkeit von Mauerwerk aus den Festigkeiten der Einzelkomponenten Mauerstein und Mauer Mörtel zu berechnen. Die Formeln gelten für Schlankheiten $\lambda = 10$. Beim Vergleich Formel mit Versuch wurden die unterschiedlichen Schlankheiten ($\lambda_{\text{Prüfung}} = \text{rund } 3 \text{ bis } 8$) vernachlässigt. Siehe dazu Bild 8 und Formeln gemäss [2]:

Leichtbackstein MBL:

$$\text{LM 21 } f_x = 1,1/1,2 \cdot f_b^{0,38} \quad (1)$$

$$\text{LM 36 } f_x = 0,47/1,2 \cdot f_b^{0,82} \quad (2)$$

Leichtzementstein MCL:

$$\text{DM } f_x = 0,85/1,2 \cdot f_b^{0,84} \quad (3)$$

$$\text{LM } f_x = 0,85/1,2 \cdot f_b^{0,58} \cdot f_m^{0,15} \quad (4)$$

$$\text{NM } f_x = 0,82/1,2 \cdot f_b^{0,73} \cdot f_m^{0,07} \quad (5)$$

Porenbeton MP / MPL:

$$\text{DM } f_x = 0,89/1,2 \cdot f_b^{0,84} \quad (6)$$

Die Bezeichnungen kommen aus den DIN-Normen und bedeuten:

- LM 21: Leichtmauermörtel mit einer Trockenroh-dichte $< 700 \text{ kg/m}^3$ (Dämm-Materialien als Zuschlagstoffe wie Polystyrol)
- LM 36: Leichtmauermörtel mit einer Trockenroh-dichte $> 700 \text{ kg/m}^3$ (mineralische Leicht-Zuschlagstoffe)
- DM: Dünnbettmörtel
- NM: Normalmörtel

Der Faktor 1,2 dient zur Umrechnung auf den charakteristischen Wert (analoges Vorgehen wie bei den Versuchswerten).

Aus Bild 8 können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Mit Hilfe der Formeln nach [2] können die Grössenordnungen der Mauerwerksfestigkeit f_x erfasst werden. Für grobe Abschätzungen scheinen die Formeln tauglich. Vor allem aber bei den Leichtbacksteinen, bei denen neuartige Formen, Lochbilder und Materialien eingesetzt werden, können verschiedenste Brucharten auftreten, was zu erheblichen Abweichungen der Versuchsergebnisse gegenüber den Formelberechnungen führen kann.
- Die in der SIA-Norm vorgeschriebene Steindruckfestigkeit von 14 MPa für MBL scheint im Verhältnis zur vorgeschriebenen Mauerwerks-Druckfestigkeit von 4 MPa als eher tief festgelegt zu sein.

Generelle Bemerkungen zu Leichtmauerwerk

Im Verlauf des Forschungsprojektes konnte die Empa einige Erfahrungen im Umgang mit Leichtmauerwerk machen. Nachfolgend sind deshalb einige Empfehlungen aufgeführt:

- Dem Aspekt, dass der Mörtel auf das Mauerwerk abgestimmt sein muss, wird in den technischen Unterlagen einzelner Steinproduzenten zu wenig Rechnung getragen. Auch gibt es teilweise gar keine oder nur sehr unvollständige Angaben zur Festigkeit des Mauerwerkes. Deshalb sollten Architekten, Bauingenieure und Bauherren bei den Stein- und Mörtelproduzenten nachfragen, ob die SIA-Normen eingehalten sind und mit welchen Festigkeiten zu rechnen ist. Selbstver-

ständig wäre hier auch wichtig, den passenden Mörtel zum Mauerstein nachzufragen. Wie bereits erwähnt, hat die Zusammenwirkung Stein/Mörtel einen enormen Einfluss auf die Tragfähigkeit des Mauerwerkes. Deshalb wäre es sinnvoll, wenn Steinfabrikanten zusammen mit Mörtelfabrikanten ein Mauerwerkssystem verkaufen würden, statt wie bisher die beiden Komponenten unabhängig von einander zu vertreiben. Da dies meistens nicht möglich ist, sollten die Steinlieferanten klar angeben, welche Mörtel für ihr Mauerwerk geeignet sind.

- Dem Mischvorgang von Trockenmörtel ist grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Der Maurer wird so viel Wasser beigegeben, bis er gut verarbeitbar ist. Bei Zugabe von zu viel Wasser können aber schlechte Festigkeiten resultieren. Festigkeitsprüfungen an Mörtel-Prismen analog der Würfeldruckfestigkeit beim Beton sind deshalb empfehlenswert.

- Da die Festigkeitseigenschaften von Leichtmauerwerksmörtel sehr stark vom Lagerungsalter abhängen, ist zu empfehlen, dass die Mörtelproduzenten ein Ablaufdatum auf den Papiersäcken oder Lieferscheinen von Siloware angeben.

- Es kann vorkommen, dass Steine mit schlechten Festigkeiten geliefert werden. Deshalb sollten auch von den Steinen auf der Baustelle Proben zur Festigkeitsermittlung entnommen werden.

- Da die Leichtsteine meistens als ziemlich grosse Steine gefertigt werden, sind die Leichtsteine für den Maurer auf der Baustelle eigentliche «Schwersteine». Ein einzelner Stein kann über 20 kg schwer sein, was natürlich der Gesundheit des Maurers nicht gerade förderlich ist. Bezüglich Steingewichten ist zwischen Einhand- und Zweihandsteinen und Blöcken, die mechanische Setzhilfen erfordern, zu unterscheiden.

Zusammenfassung

Die Untersuchung der Festigkeiten von in der Schweiz gebräuchlichen Leichtmauerwerken ergab, dass die geforderten Mauerwerks-Festigkeiten der Norm SIA V 177 (1995), d.h. die Druckfestigkeit und die Biegezugfestigkeit, nur etwa in der Hälfte der Fälle erreicht wurden! Architekten, Bauingenieure und Bauherren sollten deshalb bei der Auswahl der Mauersteine neben der ausreichenden Wärmedämmung auch auf genügende Festigkeiten achten. Die Untersuchung zeigte auch, dass es durch geschickte Wahl der Steinform und des Lochbildes, des Materials und des Mörtels durchaus möglich ist, ein gut dämmendes und gut tragendes Mauerwerk herzustellen.

Christoph Czaderski, dipl. Bauing. ETHZ/HTL/SIA, Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Literatur

- [1] Empa Forschungs- und Arbeitsberichte Nr. 116/6, Abteilung 116, Ingenieur-Strukturen Leichtmauerwerk, Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, Dübendorf 2000
- [2] Dr.-Ing. P. Schubert: Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Mauersteinen und Mauer Mörtel Mauerwerk-Kalender 1999, S.93 – 110, Berlin: Ernst & Sohn

Bilder

Empa Dübendorf