

Backstein-Fassaden-Verbandmauerwerk - Massivwände mit k-Wert 0,3 - 0,4 W/m² K durch mehrfache Wärmedämmung

W. Nydegger, Ingenieur HTL, Vize-Direktor der
Keller AG Ziegeleien, Pfungen/Schweiz

Kurzfassung

Die heute in der Schweiz gültigen Wärmedämm-Vorschriften gestatten nur noch Wände gegen Aussenklima mit $k_w \leq 0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Das herkömmliche Verbandmauerwerk erfüllt diese Forderung nicht. Durch die Entwicklung des Isomodul Super - Verbandmauerwerkes mit k-Werten von 0,3 - 0,4 W/m² K kann diese bewährte Aussenwand-Konstruktion, den heutigen Anforderungen angepasst, weiterhin angewandt werden. Die hohe Tragfähigkeit dieser Wände ermöglicht die Ausführung mehrgeschossiger Bauten.

External Walls in Bond Brickwork

- Solid walls with k-values of 0,3 - 0,4 W/m² K through multiple thermal insulation
-

Abstract

The new Swiss regulations for thermal insulation only permit walls against external climate with $k_w \leq 0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. The traditional composite brickwall does not fulfil this requirement. With the development of the Isomodul Super - bond brickwork, this well proved external wall construction - now adapted to today's regulations - will also be applied in future. The high bearing capacity makes this type of wall suitable for the erection of multi-storey buildings.

1. Ausgangslage

Durch den Energieschock im Herbst 1973 ausgelöst, fand weltweit ein Umdenkprozess hinsichtlich dem Energieverbrauch statt. - Energie wurde in der Folge bewusster konsumiert. - Die Tatsache, dass die Hälfte der Energie für die Gebäudeheizungen verwendet wurde, führte richtigerweise im Bauwesen zu neuen, strengeren Vorschriften hinsichtlich der Gebäudeisolationen.

In der Schweiz wurden diese Forderungen durch den Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA) in seinen Empfehlungen SIA 180/1 - Winterlicher Wärmeschutz im Hochbau - (Ausgabe 1980) festgehalten. Es sind die Isolations-Grenzwerte für die Gebäudehülle sowie den einzelnen Bauteilen reglementiert. Als Grenzwert für die Wände gegen Aussenklima gilt $k_w \leq 0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Einzelne behördliche Vorschriften gehen noch etwas weiter und fordern für bestimmte Fälle k_w -Werte $\leq 0,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Für die Baustoffindustrie im allgemeinen und die Ziegelindustrie im speziellen bedeuteten diese neuen Wärmedämmwerte eine Herausforderung im positiven Sinne.

Der schweizerischen Ziegelindustrie standen grundsätzlich die vier folgenden Aussenwand-Konstruktionen zur Verfügung:

- Verbandmauerwerk (Massivwand)
- Zweischalenmauerwerk
- Mauerwerk mit Aussenisolation
- Mauerwerk mit Innenisolation

Die Wandkonstruktionen mit Aussen- oder Innenisolation sowie das zweischalige Mauerwerk mit Kerndämmung konnten verhältnismässig einfach - durch Verwendung einer dickeren Isolations-schicht - den neuen Grenzwerten angepasst werden.

Schwieriger gestaltete sich dies für die Verbesserung der Wärmedämmung beim Verbandmauerwerk. Dieses traditionelle und bewährteste Mauerwerk schien gefährdet und dazu verurteilt, vom Markt verdrängt zu werden.

Um dies zu verhindern, suchten deshalb die Keller AG Ziegeleien, Pfungen nach Lösungen, durch geeignete Massnahmen das Verbandmauerwerk den neuen Wärmedämmvorschriften anzupassen.

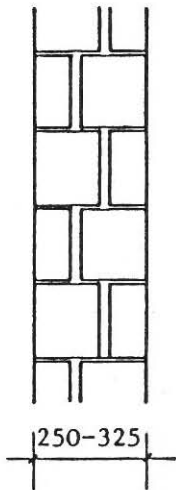
2. Entwicklung und konstruktiver Aufbau

Die Entwicklung erfolgte schrittweise, angepasst an die ebenfalls stufenweise vor sich gehende Verschärfung der Wärmedämm-Vorschriften (Uebergangslösung Empfehlung SIA 180/1 - Ausgabe 1977, $k_w \leq 0,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$).

Zuerst wurde aus dem in der Schweiz üblichen Verbandmauerwerk mit 25 mm dicken Längs-Luftschichten das Isomodul-Mauerwerk und später aus diesem das Isomodul Super - Mauerwerk entwickelt.

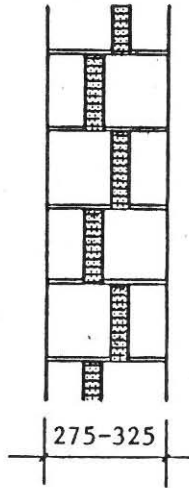
Bild 1

Gegenüberstellung der drei Mauerwerksarten



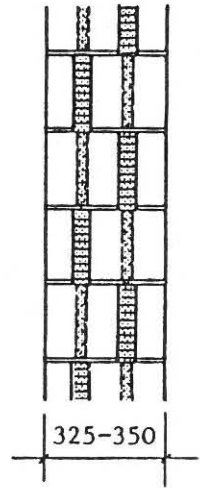
Ursprüngliches Verbandmauerwerk mit Längsluftschichten 25 mm

$$k_w = 1,14 - 0,93 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



Isomodul-Mauerwerk mit Polystyrolstreifen

$$k_w = 0,81 - 0,60 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



Isomodul Super - Mauerwerk mit Polystyrolstreifen und PU-Ausschäumung

$$k_w = 0,39 - 0,32 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Beim Isomodul-Mauerwerk konnte der erhöhte Wärmedurchlasswiderstand durch Einlegen von Polystyrolstreifen in die Längsfugen - jede Steinschicht gewechselt - erreicht werden. Bei einer Dicke der Isolationsstreifen von 50 mm und einer gesamten Wanddicke von 325 mm ergab sich ein k-Wert von $0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

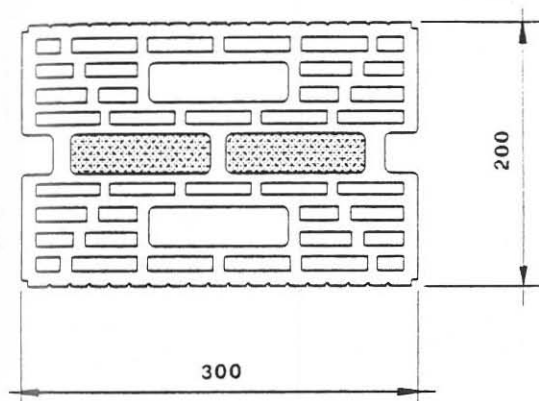
Damit wurde also bereits eine wesentliche Verbesserung der Wärmedämmfähigkeit erzielt und die damals gültigen Grenzwerte wesentlich unterschritten, selbst die heute gültigen SIA-Vorschriften sind noch knapp erfüllt. - Wie die weiteren Versuche zeigten, konnte mit dieser Wandkonstruktion keine wesentliche Steigerung der Wärmedämmfähigkeit mehr erzielt werden.

Bei Verwendung noch dickerer Isolationsstreifen konnte zwar noch eine leichte Verbesserung des Wärmedurchgangs-Koeffizienten (bis gegen $0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) erreicht werden, hingegen wurde die Tragfähigkeit des Mauerwerkes stark reduziert.

Durch die Entwicklung eines 200 mm breiten Modul-Backsteines (bewusste Eingliederung in die gesamtschweizerisch eingeführte Modulstein-Serie) mit einer optimierten Schlitzlochung in den beiden äusseren Zonen und mit integriertem Polyurethanschaum in der Kernzone des Steines konnte die Basis für die weitere Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften des Isomodul-Mauerwerkes geschaffen werden.

Bild 2

Optimierter Backstein BN 20 M-I

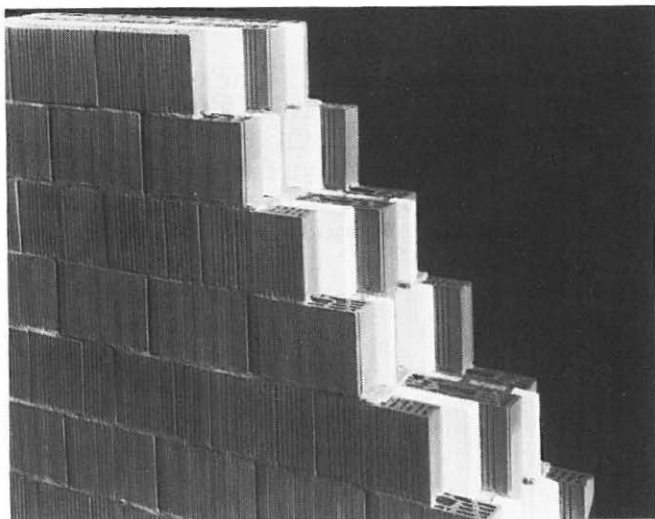


Wärmeleitzahl $\lambda_{10, \text{ trocken}} = 0,12 \text{ W/m K}$

Der BN 20 M-I wird entweder mit Backsteinen $7,5 \text{ M}$ oder 10 M so vermauert, dass die konstruktiven Prinzipien des Verband- resp. des Isomodul-Mauerwerkes beibehalten werden. Durch Wechsel des Steinverbandes in jeder Steinschicht in Kombination mit den eingelegten Isolationsstreifen entstehen innerhalb des Wandquerschnittes praktisch zwei durchgehende vertikal parallel verlaufende Dämmzonen (vergleiche Bild 1). Dabei ist zu beachten, dass die auf dem Bau eingelegten Polystyrolstreifen mit $H = 200 \text{ mm}$ höher sind als die Backsteine mit $H = 190 \text{ mm}$ und dadurch jede Lagerfuge einmal durch die Isolation unterbrochen wird. Die Stossfugen-Nuten der satt aneinander gestossenen BN 20 M-I - Steine werden auf dem Bau mit Polystyrolzapfen gefüllt.

Bild 3

Konstruktiver Aufbau des Isomodul Super - Mauerwerkes



Die Verwendung des BN 20 M-I anstelle eines BN 17,5 M - Steines ermöglicht das Einlegen von bis zu 75 mm dicken Isolationsstreifen. Dabei wird im Gegensatz zum früheren Isomodul-Mauerwerk, aufgrund des verbesserten Verbundes, die Tragfähigkeit des Mauerwerkes nicht massgeblich beeinträchtigt.

Mit dem Isomodul Super - Verbandmauerwerk konnte die Wärmedämmfähigkeit nochmals wesentlich verbessert werden. Je nach Wand-aufbau ergeben sich k-Werte von 0,32 bis 0,39 W/m² K.

3. Fabrikation und Ausschäumen des BN 20 M-I

Die Steine werden ihrer Gestaltung entsprechend (Stehschlitz-lochung, dünne Stege) vom hochkant auslaufenden Strang zur Trocknung und zum Brand auf Loch gekippt.

Das Ausschäumen der gebrannten Steine mit Polyurethan-Reaktionsstoffen erfolgt in der Ziegelei auf einer in Zusammenarbeit mit Bayer Leverkusen entwickelten Anlage. Die Applikation des PU-Schaumes erfolgt mittels einem Mehrkomponenten-Spritzkopf. Eine elektronisch gesteuerte Pumpstation liefert hierzu 2 Reaktions- und 2 Hilfsstoffe. Anschliessend läuft der Stein durch eine geschlossene Reaktionsstrecke von ca. 10 Metern (Durchlaufzeit ca. 2 Min.).

Verschiedene internationale Patente von Bayer und Keller sollen Verfahren und System vor unerlaubter Nachahmung schützen. Die Verwendungsrechte in der Schweiz wurden durch den Schweiz. Zieglerverband für alle Mitglieder erworben.

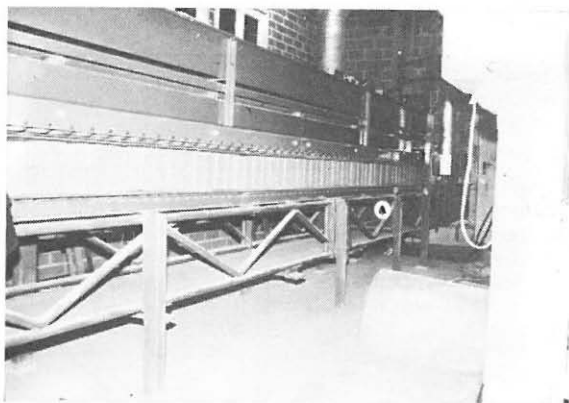
Bild 4

Applikation des PU-Schaumes



Bild 5

Teilansicht der Schäumenanlage



4. Technische Daten und Bemessungsgrundlagen

Zur Absicherung aller technischen Daten wurden umfangreiche Untersuchungen im Prüf- und Forschungsinstitut der Schweiz. Ziegelindustrie in Sursee durchgeführt. Die Prüfungen erfolgten sowohl am optimierten Einzelstein als auch an ganzen Mauerwerkskörpern.

Die Prüfungen ergaben, dass die hervorragende Wärmedämmung dieser Wände noch durch weitere günstige bauphysikalische Eigenschaften ergänzt wird und deren Zusammenspiel ein behagliches Wohnklima gewährleistet. Es sind dies:

- Kleine Temperaturdifferenzen zwischen Raumluft- und Wandoberflächentemperatur,
- keine schädliche Kondenswasserbildung in der Wandebene dank günstiger Dampfdiffusion,
- hohes Wärmespeichungsvermögen,
- grosse Amplitudendämpfung,
- ideale Phasenverschiebung und
- gute Schallisolation, $I_a = 52 \text{ dB}$.

Die technischen Werte sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1

Technische Werte

gemäss Untersuchungen des Prüf- und Forschungsinstitutes der Schweiz.
Ziegelindustrie, Sursee

Mauerdicke	cm	32,5	35,0	35,0
Aufbau: Backstein/Isolation/Backstein	cm	7,5 / 5 / 20	10 / 5 / 20	7,5 / 7,5 / 20
Anteil Wärmedämm.-Material	cm	8 = 5-3	8=5+3	10,5=7,5+3
Wärmedurchgangskoeffizient k (bei Gleichgewichtsfeuchtigkeit)	$W/m^2 K$	0,39	0,37	0,32
Gewicht des Mauerwerks	kg/m ²	280	300	280
Temperatur innere Wandoberfläche	°C	18,6	18,6	18,8
Temperatur innere Wandecke (bei $t_a = -10^\circ C$ / $t_i = +20^\circ C$)	°C	16,7	16,7	17,1
Amplitudendämpfung ν		40	>40	>40
Phasenverschiebung η	h	11,5	13,3	13,6
Kondensat	g/m ² 60d	27	31	32
Austrocknung	g/m ² 90d	1596	1595	1595
Auskühlzeit	h	21	22	26
Tragfähigkeit der Wände:				
- Bruchspannung $m = 0$	kg/cm ²	54	45	42
$m = 1$		45	42	32
- zulässige Spannung $m = 0$	kg/cm ²	13	11	10
bei $\gamma = 4$ $m = 1$		11	10	8

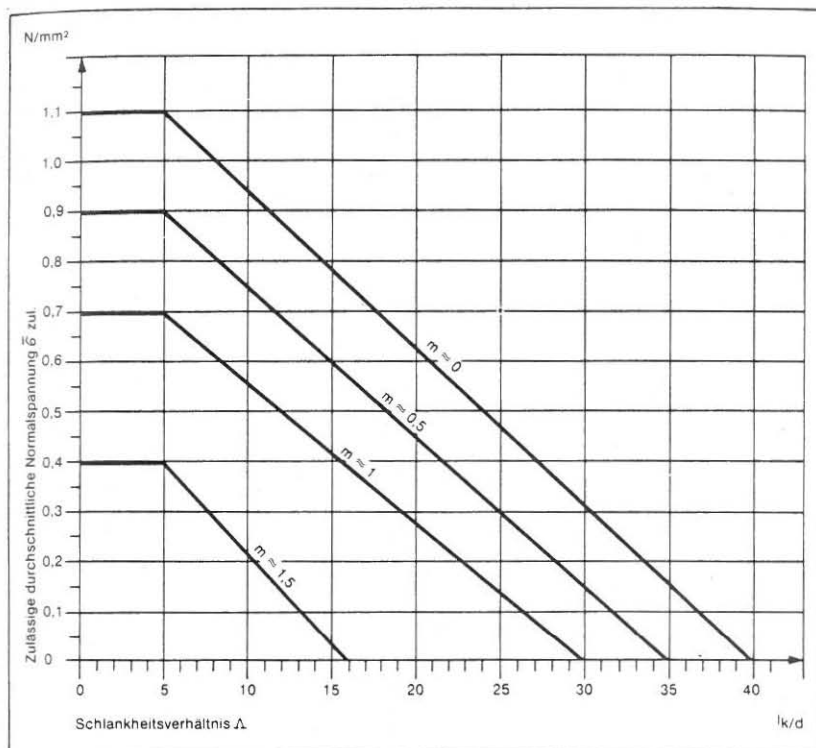
Sämtliche Werte beziehen sich auf unverputztes Mauerwerk.

Mit der Aufzählung der bauphysikalischen Daten sind die guten Eigenschaften der Isomodul Super - Mauerwerke bei weitem nicht erschöpft. Nicht zuletzt darf die hohe Tragfähigkeit erwähnt werden. Die zulässige Belastung bei einer Knicklänge $l_k = 2,70$ m beträgt zentrisch bis zu 355 kN/m (35,5 t/ml) und exzentrisch ($m = 1$) bis zu 220 kN/m (22 t/ml). Damit kann das Isomodul Super - Backsteinmauerwerk mit Erfolg auch bei mehrgeschossigen Bauten angewandt werden.

Tabelle 2

Bemessungsgrundlagen

Zulässige Normalspannungen für Isomodul Super - Mauerwerk MBC



Mit hochwertigen Steinen konnten diese Werte noch wesentlich gesteigert werden. Die entsprechenden zulässigen Belastungen betragen damit bis zu 420 kN/m (42 t/ml) zentrisch und 360 kN/m (36 t/ml) exzentrisch. - Das bisher höchste ausgeführte Gebäude hat 12 Stockwerke.

5. Planung

Dem Architekten ist eine grosse Freiheit in der Gestaltung der Fassaden gegeben. Massliche Einschränkungen bestehen nicht, da auf dem Bau, durch Fräsen der Steine, jedes beliebige Mass eingehalten werden kann.

Wie bei allen hochisolierenden Wänden ist jedoch der konstruktiven Ausbildung sämtlicher Anschlussdetails besondere Beachtung zu schenken. Dafür stehen dem Planer durchdachte, in der Praxis bewährte Details für Deckenkopf-, Eck-, Fensteranschlag- und Sturzausbildungen zur Verfügung.

Bild 6

Deckenkopfausbildung
(Beispiel)

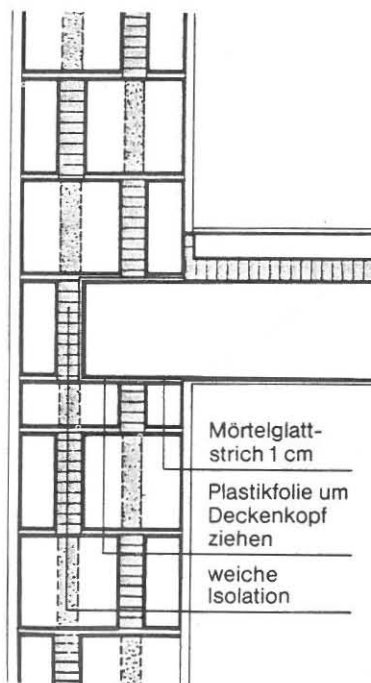
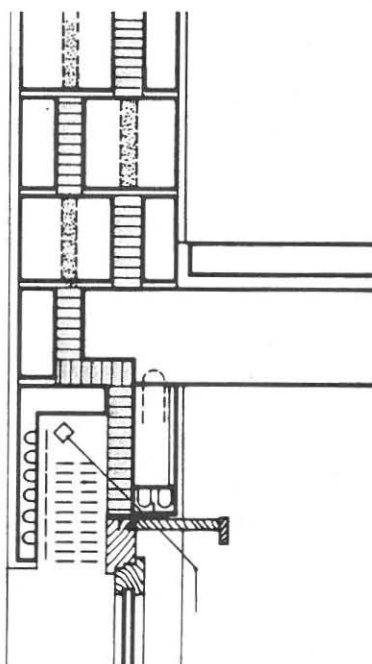


Bild 7

Sturzausbildung
(Beispiel)

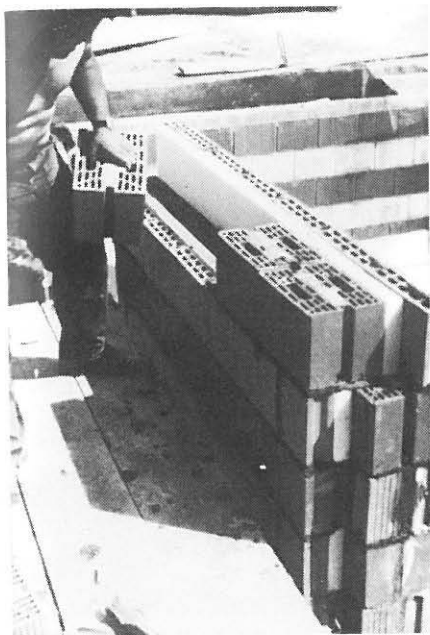


6. Ausführung und Kosten

Die Ausführung am Bau entspricht mit Ausnahme der zusätzlich einzulegenden Isolationsstreifen und -zapfen dem altbewährten Verbandmauerwerk. Als Mauermörtel ist Zementmörtel PC 350 zu verwenden. Der spezielle Modulstein BN 20 M-I ist im Gewicht, mit ca. 9 kg, bewusst im Rahmen eines Einhandsteines gehalten, damit die in der Schweiz üblichen handwerklichen Gepflogenheiten beibehalten werden können. Die Stossfugen-Nuten sind nicht auszumörteln, weshalb der Stein direkt gesetzt werden kann. Für den Maurer ergibt sich hieraus sowohl eine handwerkliche Erleichterung als auch eine Zeitersparnis.

Bild 8

Vermauerung des Modulsteines BN 20 M-I



Im Auftrage unseres Zieglerverbandes wurden durch den Schweiz. Baumeister-Verband (SBV) neutrale Vergleichskalkulationen verschiedener hochisolierender Aussenwand-Konstruktionen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass das Isomodul Super - Verbandmauerwerk eine wirtschaftliche Lösung für die Fassade darstellt und kostenmässig mit dem Zweischalenmauerwerk zu vergleichen ist.

7. Erfahrungen

Die bisherigen durchwegs positiven Erfahrungen stützen sich primär auf die langjährigen Erfahrungen mit dem Isomodul-Mauerwerk. Die ersten Bauten mit Isomodul Super - Fassadenmauerwerk sind nun ca. 3 Jahre alt. Bis heute sind auch hier keinerlei Schäden aufgetreten. Wir dürfen heute mit Genugtuung feststellen, dass sich diese Fassadenkonstruktion aufgrund der geschilderten vorzüglichen Eigenschaften auf dem Markt durchgesetzt hat und ständig zunehmend, sowohl bei Einfamilienhäusern als auch Grossüberbauungen mit mehrgeschossigen Gebäuden, angewandt wird.

Bild 9

Bild 10

Mit Isomodul Super - Verbandmauerwerk ausgeführte Bauten



Das Isomodul Super - Verbandmauerwerk bedeutet eine moderne, den heutigen Anforderungen an die Wärmedämmung mehr als genügende Aussenwand-Konstruktion, welche mit dazu beitragen wird, dem Backsteinbau auch in Zukunft die führende Rolle zu sichern.