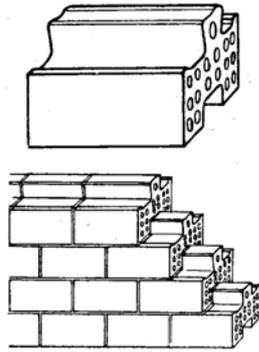


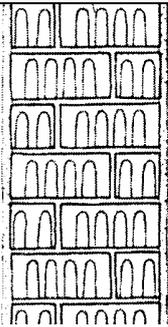
13



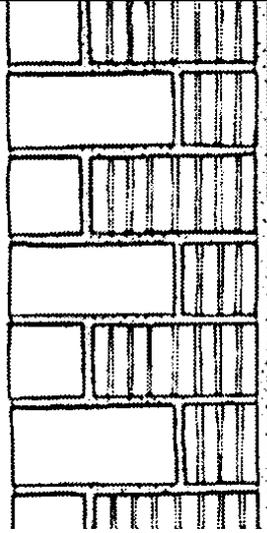
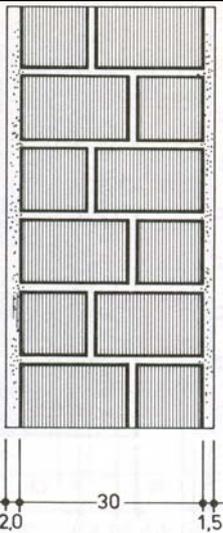
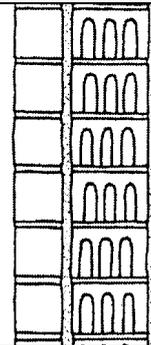
783. National-Steinwand
(Langlochsteine)



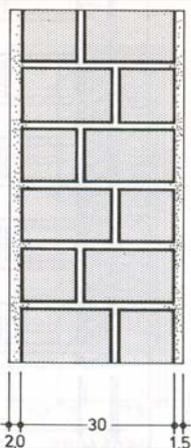
energieinstitut-hessen



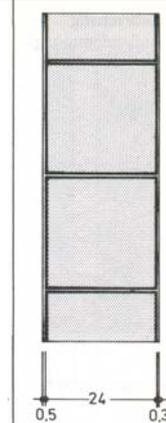
U-Werte und Ein-
sparmöglichkeiten
typischer Außenwän-
de



Eine Information der „Hessi-
schen Energiespar-Aktion“



„Energieinstitut Hessen“
Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig,
Heinrich-Berbalk-Strasse 30,
60437 Frankfurt
Eicke-Hennig@energieinstitut-hessen.de



Wärmetechnische Bewertung von Außenwänden

Die Konstruktion von Wänden hat über die Jahrhunderte eine starke Wandlung genommen. Die Germanenvölker begannen mit Flechtwerk und Holzbau, Deutschland war damals Holzbau-land, was das Erscheinungsbild unserer Dörfer und Städte bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts beherrschen sollte. Der Natursteinbau wurde aus wehrtechnischen und repräsentativen Gründen seit dem Mittelalter in das Bauwesen eingeführt („Steinernes Haus“). Die Ziegelbauweise der Römer jedoch über Jahrhunderte als Bauweise der einstigen Eroberer abgelehnt, bis sie mit den Städtegründungen um 1100 von der Obrigkeit protegiert wurde. Man lernte nunmehr von Italienreisen, und begann sich auch dem Ziegelbau zuzuwenden, ohne dass dieser die dominante Bauweise wurde. Wanderziegelbrenner und Maurer aus Italien leisteten Entwicklungshilfe. Erst mit der Industrialisierung ab 1850 ff. verändert sich die Bauweise hin zum massiven Ziegelbau. Seine Vorteile im Brandschutz, Regenschutz und Beständigkeit wurden nunmehr ergänzt um die Kostengunst und Verfügbarkeit durch „Maschinenziegeleien“ und das ausgebaute Transportwesen (Eisenbahnen).

Seit 1850 wird Deutschland Ziegelland, der Ziegel verdrängt den Holzbau. Seine Anwendung ist bald so beherrschend, dass die 38 cm starke Ziegelwand im Bauwesen als „Normalwand“ bezeichnet wird, abgeleitet vom Normalformat der Steine. Statisch ist die 38 cm dicke Wand die übliche Mindest-Anforderung und wird beim Wärmeschutz ebenfalls zum Maßstab. Die Bauordnungen der Fürstentümer und Städte schreiben den Wärmeschutz einer „38 cm normalfeuchten Ziegelwand“ als Maßstab nicht nur für die Wände, sondern für alle Bauteile außer den Fenstern vor, bevor noch eine k-Wert-Berechnung existierte. Nachdem die Berechnung von k-Werten (heute U-Werten) um 1920 möglich wird, wird dieser „natürliche Maßstab“ nicht verändert, sondern als k-Wert-Anforderung von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ oder Wärmedurchlasswiderstand von $0,55 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal}$ nur numerisch beschrieben.

Hygienisch und hinsichtlich der Energieeinsparung wird damit ein Maß festgesetzt, das auf dem Hintergrund der technischen Möglichkeiten der Industrialisierung entstanden ist. Einem hohen Energieverbrauch wird zu dieser Zeit noch durch eingeschränkte Beheizung (Ofenheizung) und niedrige Innenlufttemperaturen ($15\text{-}18 \text{ }^\circ\text{C}$) entgegnet.

Schon besser als eine 12 cm Fachwerkwand oder die 42 cm dicke Natursteinwand, ist die 38 cm dicke Vollziegelwand jedoch nicht das Optimum. Sie beruht auf statischen Anforderungen, keinen wärmetechnischen. Es ist deshalb Fortschritt und Inkonzsequenz zugleich, als 1952 endlich eine „Hygiene-Norm“, die DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“, in Deutschland in Kraft tritt. Sie beschreibt den Wärmedurchlasswiderstand von $0,55 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal}$ als „Mindestwärmeschutz“ und legt damit den Grundstein für viele Schimmelschäden der heutigen Zeit. Dieser schwache Mindestwärmeschutz wird bis 1974 beibehalten und dann für immerhin 27 Jahre bis 2001 nur ganz leicht von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf einen U-Wert von $1,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verbessert. Wir haben heute die Erfahrung:

- Baustoffe und Konstruktionen waren historisch immer einer Wandlung, oft einer radikalen, unterworfen.
- Ängstlichkeit beim Wärmeschutz hat sich nie ausgezahlt. Bezahlt wurde mit hohem Energieverbrauch und hygienischen Wohnungsmängeln.
- Wie die Industrialisierung die Hinwendung zum robusten, billigen und langzeitbeständigen Baustoff brachte, können wir heute angesichts der verbleibenden und neuen Probleme die weitere Verbesserung der Wohnhygiene und die Energieeinsparung zum Maßstab für unsere Wandkonstruktionen machen. Deutschland zu Ende bauen bedeutet, die verbleibenden Hygienemängel in unseren Häusern endlich dauerhaft zu beseitigen.

Holzblock-Außenwände 16 cm, U = 0,7 W/(m²K)



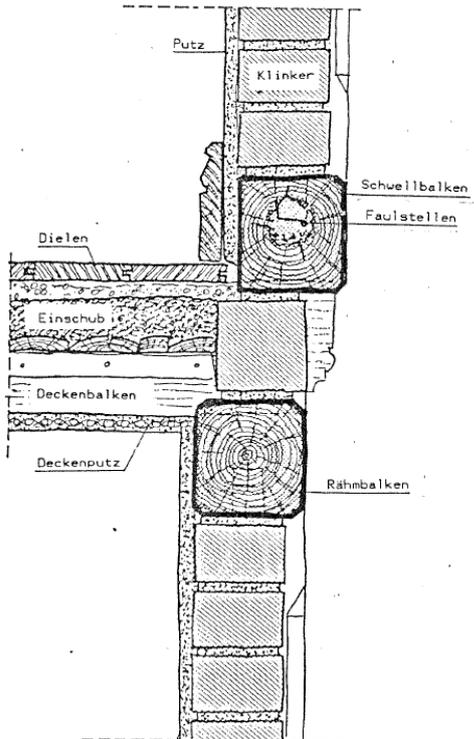
„Das deutsche Haus war ursprünglich ein Holzbau, der Baustoff der Germanen war das Holz.“, schrieb Schäfer in seiner „Holzbaukunst“ 1939. Die Holzblockbauweise löste das Flechtwerk ab und ist die wärmetechnisch angepasste Bauweise in Mittel- und Osteuropa. Mit U-Werten um 0,7-0,9 W/(m²K) boten Holzblockwände schon vor Jahrhunderten bereits einen erstaunlich guten Wärmeschutz, der erst 1974 mit der ersten WSVO in der BRD wieder erreicht wird. Die Blockbauweise wird wegen der Holzknaptheit zunehmend durch den Fachwerkbau abgelöst. Mit einem λ -Wert von 0,13 W/(mK) ist Holz der Baustoff mit einem „natürlichen“ Wärmeschutz. Eine 16 cm dicke Blockwand verfügt über einen U-Wert von 0,7 W/(m²K). Die Gütevorschriften für Holzhäuser von 1928 schreiben jedoch nur einen Mindest-

wärmeschutz gemäß einer 38 cm dicken Vollziegelwand (1,5 W/(m²K)) vor. Zu dieser Zeit sind die Blockbauten schon selten. Heute schätzt Dr.-Ing. W. Rug (Leipzig) die Blockbauten auf wenige hundert Stück in Deutschland.

U-Wert IST-Zustand	0,7 W/(m²K)
U-Wert Gedämmt 12 cm VHF	0,21 W/(m²K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m²	37 kWh/m²
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	IST: 17,3 °C (15,1 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	Gedämmt: 19,1 °C (18,4 °C hinter Schränken)
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	68 % r.F. (ungedämmt) / 74 % r.F. (gedämmt)
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen (14 cm λ 0,035 W/(mK) bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m³]	[W/(mK)]	[m²K/W]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Holzbalken	0,16	750	0,13	1,231
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				1,422
U	0,70 W/(m²K)			

Fachwerk-Außenwände 12-16 cm, $U = 1,2- 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Die Fachwerkbauweise dominiert das Bauen in Deutschland bis 1850 ff. Heute gibt es noch ca. 2 Mio. Fachwerkhäuser in Deutschland, die beiden ältesten von 1290 in Hessen (Frankfurt und Limburg) Die Stadt und Dorfbilder sind bis 1850 vom Fachwerk geprägt, das mit der Industrialisierung ab 1870 in großer Geschwindigkeit durch Ziegelbauten verdrängt wird (Ersatz, Stadterweiterungen, Kriegszerstörungen). Der U-Wert der Fachwerkwände hängt stark vom Gefach-Material ab. Die Wand setzt sich häufig aus 30 % Balkenanteil und 70 % Gefachanteil zusammen.

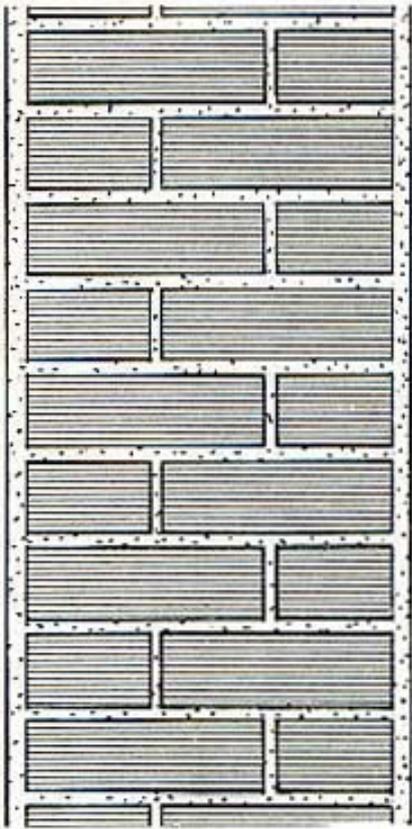
- 12 cm FW mit Lehmgefach 1,8 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
- 12 cm FW mit Ziegelgefach 2,51 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
- 12 cm FW mit Natursteingefach 3,2 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
- 12 cm FW mit Ziegel +2,5-3,5 cm HWLbPl.-Innendämmung = 1,2-1,4 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

Die dargestellte Wand hat bei einem Balkenanteil von 30 % einen gemittelten U-Wert von 2,51 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$.

U-Wert IST-Zustand	2,6 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
U-Wert Gedämmt 6 cm	0,47 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m^2	160 kWh
Innen-Oberflächentemperatur bei $-10\text{ }^\circ\text{C}$	IST: $10\text{ }^\circ\text{C}$ ($5\text{ }^\circ\text{C}$ hinter Schränken)
Außentemperatur	Gedämmt 6 cm: $18\text{ }^\circ\text{C}$ ($16,6\text{ }^\circ\text{C}$ hinter Schränken)
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	43 % r.F. / 72 % r.F
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen (14 cm $\lambda 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R-Balken	R-Gefach
	[m]	[kg/m^3]	[$\text{W}/(\text{mK})$]	[$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]	
Rsi	-	-	-	0,13	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021	0,021
Holzbalken	0,12	750	0,13	0,923	
VZ	0,12	1800	0,99		0,121
Rse	-	-	-	0,04	0,04
R_T				1,115	0,312
U-Balken			0,90 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	U-Gefach	3,21
U_m			2,51 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$		

Außenwände aus Vollziegeln 38 cm, $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Deutschland ist bei den Wandbaustoffen seit 1850 etwa 150 Jahre Ziegelland. Nach der Römerzeit vergessen, findet man die Ziegelbauweise immer häufiger seit den Städtegründungen um 1100 an Repräsentativbauten und Klöstern. Seit der Industrialisierung 1850 ff. stieg der Ziegel zu „dem“ Wandbaustoff auf. In Großziegeleien hergestellt, war er kostengünstig und durch die nunmehr ausgebaute Eisenbahn gut transportierbar. Die Städte und Dörfer wurden in Massivbauweise erweitert und umgebaut, der Ziegel wies um 1900 einen Marktanteil von 85 % unter allen Mauerwerksbaustoffen auf. Vollziegelwände wurden bis ca. 1950 hergestellt, dann ersetzte der Hochlochziegel mit größerem Format den Vollstein.

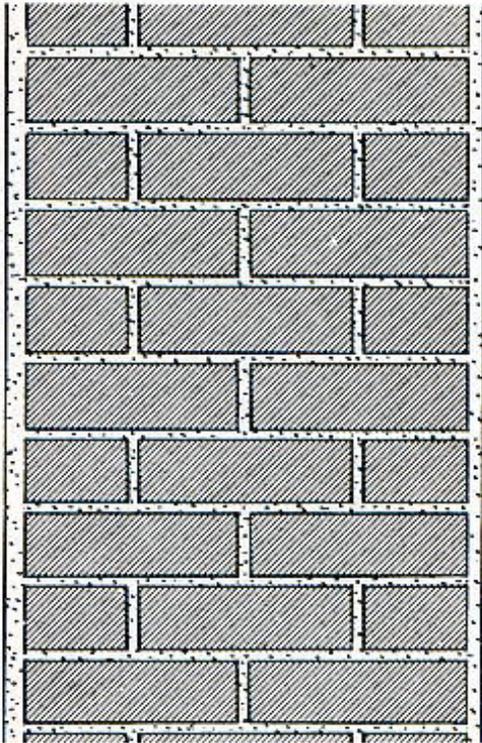
Die 38 cm dicke Vollziegelwand wurde durch ihre weite Verbreitung zum „Maßstab für den Wärmeschutz“, der so auch in den „Baupolizeilichen Verordnungen“ benannt wurde. In der Umgangssprache bezeichnet als „Normalwand“, abgeleitet aus dem Normalformat des Steins ($25 \times 12 \times 6,5 \text{ cm}$), hatte sie einen U -Wert von $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und einen R -Wert von $0,47 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ bei einem Raumgewicht von $1800 \text{ kg}/\text{m}^3$. Der λ -Wert des Vollziegels liegt bei $0,8\text{-}0,85$

$W/(\text{mK})$

U-Wert IST-Zustand	$1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
U-Wert Gedämmt 12 cm	$0,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m^2	92 kWh
Innen-Oberflächentemperatur bei $-10 \text{ }^\circ\text{C}$	IST: $14 \text{ }^\circ\text{C}$ ($11 \text{ }^\circ\text{C}$ hinter Schränken)
Außentemperatur	Gedämmt: $19 \text{ }^\circ\text{C}$ ($18 \text{ }^\circ\text{C}$ hinter Schränken)
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	56 % r.F. / 75 % r.F. (gedämmt)
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen (14 cm λ $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ bei Förderung durch KfW CO_2 -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke [m]	Raumgewicht [kg/m^3]	$\lambda \text{ W}/(\text{mK})$	R [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Vollziegel	0,38	1800	0,81	0,469
Außenputz	0,02	1800	1	0,020
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				0,681
U	$1,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			

Außenwände aus Vollziegeln 51 cm U = 1,2 W/(m²K)



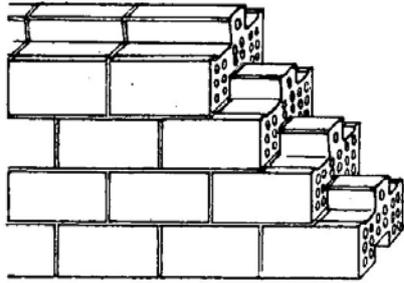
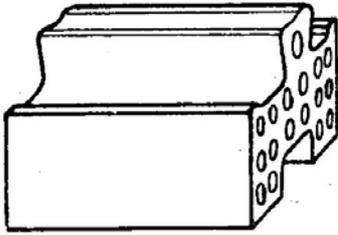
Nach der Römerzeit vergessen, findet man die Ziegelbauweise immer häufiger seit den Städtegründungen um 1100 an Repräsentativbauten und Klöstern. Seit der Industrialisierung 1850 ff. stieg der Ziegel dann zu „dem“ Wandbaustoff auf. Er wurde nun kostengünstig in Großziegeleien hergestellt und war durch die ausgebaute Eisenbahn billig transportierbar. Städte und Dörfer wurden in Massivbauweise erweitert und umgebaut, der Ziegel wies um 1930 einen Marktanteil von 85 % unter allen Mauerwerksbaustoffen auf. Vollziegelwände wurden bis ca. 1950 hergestellt, dann ersetzte der Hochlochziegel mit größerem Format den Vollstein.

Die 51 cm dicke Vollziegelwand finden wir, wenn höhere Tragfähigkeit bei hohen Gebäuden (MFH) gefordert war, z.B. als Außenwand von EG und 1. OG. Sie hat einen U-Wert von 1,2 W/(m²K) bei einem Raumgewicht von 1800 kg/m³. Der λ-Wert des Vollziegels liegt bei 0,8-0,85 W/(mK).

U-Wert IST-Zustand	1,2 W/(m²K)
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,23 W/(m²K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m²	73 kWh/m²
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	15,3 °C (12,2 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	19 °C (18,2 °C hinter Schränken)
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	61 % r.F. / 75 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen. (14 cm λ 0,035 W/(mK) bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m³]	[W/(mK)]	[m²K/W]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Gasbeton	0,51	1800	0,81	0,630
Außenputz	0,02	1800	1	0,020
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				0,841
U			1,19 W/(m²K)	

Außenwände aus Langlochziegeln 25 cm U = 1,44 W/(m²K)



783. National-Steinwand
(Langlochsteine)

Der Langlochziegel war einer der ersten Rationalisierungsversuche bei den Mauerwerks-Baustoffen. Er sollte bei 25 cm Stärke bereits den Wärmeschutz einer 38 cm Vollziegelwand bringen. Gleichzeitig wurde die gesamte Wandbreite durch einen einzigen Stein gebildet. Die verlängerte Lagerfuge war gegen Regendurchtritt gedacht, hatte aber auch wärmetechnische Eigenschaften. Der Marktführer war der ARISTOS-Stein. Langlochziegel gab es in vielfältigen Lochbildern (Patente).

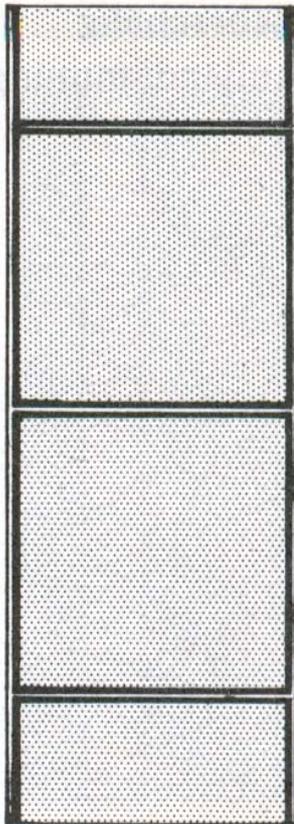
Das Mauerwerk wurde oft in den genossenschaftlichen Selbsthilfesiedlungen der dreißiger Jahre eingesetzt. Die Steine gab es bis in die fünfziger Jahre. Die Rohwichte lag bei 1200 kg/m³. Der LHLZ war nur bis zwei Stockwerken zugelassen.

Der λ -Wert des Langlochziegel-Mauerwerks liegt um 0,52 W/(mK), gleichauf mit dem Bimsstein. Die U-Werte orientieren sich an der 38 cm Vollziegelwand.

U-Wert IST-Zustand	1,44 W/(m²K)
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,27 W/(m²K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m²	88 kWh/m²
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	14,4 °C (11 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	19 °C gedämmt
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	57 % r.F. / 75 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen. (14 cm λ 0,035 W/(mK) bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m³]	[W/(mK)]	[m²K/W]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Langlochziegel	0,25	1200	0,52	0,481
Außenputz	0,02	1800	1	0,020
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				0,692
U		1,44	W/(m²K)	

Außenwände aus Gasbeton 24-30 cm, $U = 0,81 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



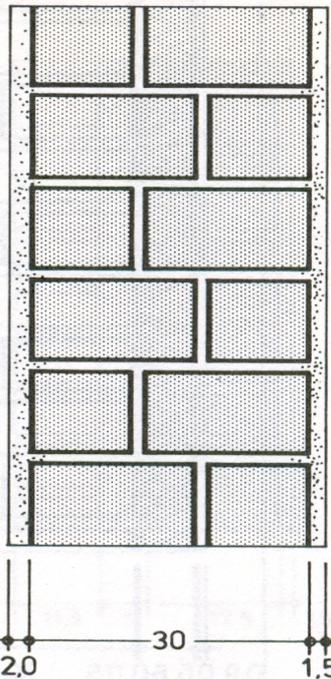
Gasbetonsteine wurden um 1881 patentiert. Industriell wurden sie in Deutschland erst 1943 gefertigt, davor z.T. an der Baustelle in der Schalung gegossen (Isokret). Damalige Produktnamen: Aerokret, Gasokret, Schima-beton. Siporex und Yton kommen aus Schweden zu uns. Gasbeton, heute Porenbeton benannt, wird aus Sand und einem Treibmittel (Aluminium- oder Calcium-Karbidpulver), unter Dampfdruck hergestellt. Gasbeton hatte nur einen kleinen Marktanteil, eine Statistik von 1938 erwähnt ihn nicht. Erst nach 1945 und dann nach der Energiekrise 1973 erhöhte sich ihr Marktanteil, bleibt jedoch deutlich hinter Ziegeln, Kalksand- und Bimssteinen. Die Steine gab es im Normalformat, aber auch als größere Einheiten. Mit Siporex existierte die erste geschoßhohe Platte nach 1945. Sautter führt 1962 Gasbetonwände, gemörtelt mit $0,465 \text{ W}/(\text{mK})$ an, geklebt mit $0,41 \text{ W}/(\text{mK})$.

Das Raumgewicht lag um 1941 zwischen 600 und 1600 kg/m^3 . Der λ -Wert lag bis 1945 zwischen 0,233 und 0,314 $\text{W}/(\text{mK})$ ohne Mörtelfugen (!). Die heutige Norm weist λ -Werte für Mauerwerk aus dampfgehärteten Porenbetonplansteinen bei 300-800 kg/m^3 zwischen 0,1 und 0,25 $\text{W}/(\text{mK})$ auf.

U-Wert IST-Zustand	0,81 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,24 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m^2	43 kWh
Innen-Oberflächentemperatur bei $-10 \text{ }^\circ\text{C}$	16,8 $^\circ\text{C}$ (14,4 $^\circ\text{C}$ hinter Schränken)
Außentemperatur	19,1 $^\circ\text{C}$ gedämmt
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	66 % r.F. / 76 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangsfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen bzw. 6 cm innen (14 cm λ 0,035 $\text{W}/(\text{mK})$ bei KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m^3]	[$\text{W}/(\text{mK})$]	[$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
R_{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,003	700	0,35	0,009
Gasbeton	0,24	700	0,23	1,043
Außenputz	0,005	1000	1	0,005
R_{se}	-	-	-	0,04
R_{T}				1,227
U	0,81 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$			

Außenwände aus Hochlochziegeln 30 cm U = 1,39 – 1,5 W/(m²K)



Der Hochlochziegel löste ab 1950 den Vollziegel ab. Er wird der „Klassiker“ der Nachkriegszeit. Vorausgegangen war die Änderung der Mauerwerks-Maßordnung 1952. Das kleine Steinformat liegt bis heute bei 11,5*11,3*24 cm. Der HLZ wird vor allem in der 30 cm dicken Wand verbaut, allerdings kennt die unmittelbare Nachkriegszeit auch die 24 cm Hochlochziegelwand.

Der Stein ist durch die senkrecht stehenden Ziegelstege statisch hoch belastbar und gewinnt deshalb das Rennen gegen den Langlochziegel. Die Ziegelscherbe ist noch nicht porosiert, obwohl die Porosierung mit Kohlengrus schon in den zwanziger Jahren bekannt ist.

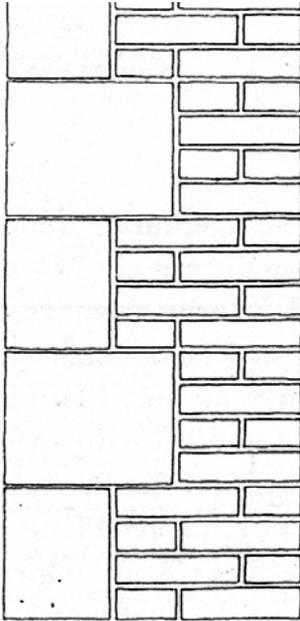
Das Raumgewicht liegt bei 1200-1400 kg/m³, in Einzelfällen auch darüber. Der λ -Wert des Hochlochziegel-Mauerwerks liegt bei 0,52 – 0,68 W/(mK). Für 24 cm dünne Wände wird eine Wärmeleitfähigkeit des HLZ-Mauerwerks von 0,465 W/(mK) gefordert. Die U-Werte orientieren sich am Mindestwärmeschutz der DIN 4108 ab 1952. Energetisch und

hygienisch leider nicht hinreichend, wie wir heute wissen.

U-Wert IST-Zustand	1,41 W/(m²K)
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,27 W/(m²K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m²	86 kWh/m²
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	14,5 °C (11 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	19 °C gedämmt
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	58 % r.F. / 75 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen. (14 cm λ 0,035 W/(mK) bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m³]		[m²K/W]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
HLZ	0,30	1400	0,6	0,500
Außenputz	0,02	1800	1	0,020
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				0,711
U	1,41 W/(m²K)			

Außenwände mit Werksteinverblendung 50 cm, U = 1,46 W/(m²K)



Naturstein- oder Werksteinwände haben meist nur eine Bekleidung aus diesem Material. Reine Natursteinwände sind im Wohnungsbau selten, es waren dann 42 cm Minstdicke vorgeschrieben (Preußen).

Der Werkstein wurde mit Ziegelmauerwerk oder Bimsstein oder Bimsdielen hintermauert. Damit wurde der Wärmeschutz deutlich verbessert. Für Natursteine mit Raumgewicht über 2600 kg/m³ (Granit, Basalt, Marmor), liegt die Wärmeleitfähigkeit λ bei 3,5 W/(mK), für weichere Gesteine unter 2600 kg/m³ bei 1,1 - 2,3 W/(mK), z.B. Sandstein, Kalkstein, siehe DIN EN 12534. LAVA hat die Wärmeleitfähigkeit 0,55 W/(mK). Kunststein: 1,3 W/(mK).

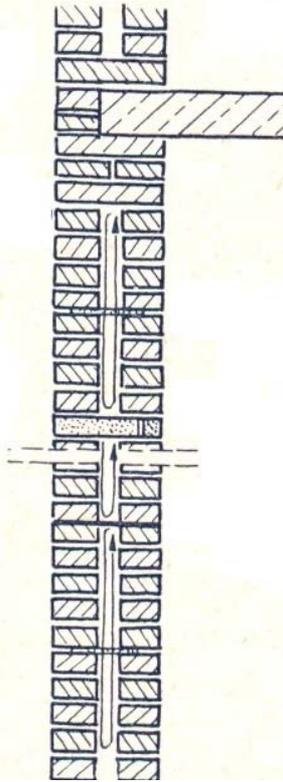
DIN 4701 von 1929 benennt die k-Werte für natursteinverblendete Wände, z.B. für 25 cm Naturstein und

- 24 cm Hintermauerung: 1,48 W/(m²K)
- 38 cm Hintermauerung 1,18 W/(m²K)

U-Wert IST-Zustand	1,46 W/(m²K)
U-Wert 6 cm Innendämmung	0,45 W/(m²K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m²	76 kWh
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	14,4 °C (11 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	19 °C gedämmt
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	57 % r.F. / 75 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Innendämmung 6 cm
Dämmschichtdicke	6 cm innen (Bei KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm Einzelabstimmung gewünscht)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m³]		[m²K/W]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Vollziegel i.M.	0,31	1800	0,81	0,383
Werkstein	0,25	2600	2,3	0,109
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				0,683
U	1,46 W/(m²K)			

Zweischalige Außenwände aus Vollziegeln 30 cm U = 1,64 W/(m²K)



Das zweischalige Mauerwerk gibt es seit der mit der Industrialisierung üblichen Ziegelbauweise. Es wurde als Regenschutz in den Küstenregionen entwickelt. Die klassische Ausführung: 12 cm Vollziegel, 6 cm Luftschicht, 12 cm Vollziegel. Es bekam wegen seiner Luftschicht auch eine wärmeschützende Funktion zugeordnet, die aber nicht bewiesen werden konnte. Der U-Wert liegt bei 1,64 W/(m²K). Der Vollziegel hat einen ungünstigen λ -Wert von 0,81-0,99, wenn er aus Regenschutzgründen härter gebrannt wurde. In der Luftschicht von 6 cm findet eine Rotationsströmung von warmer Mauerwerksseite zu kalter Mauerwerksseite statt, die den Wärmeschutz der Luft zum großen Teil wieder aufhebt.

Auch wird die Luftschicht an den Gebäudeecken (volles Mauerwerk), den Auflagern (3 Schichten volles Mauerwerk) und durch die Bindersteine durchbrochen.

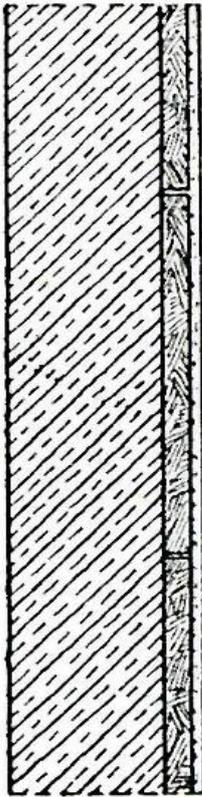
Die Wärmedurchlasswiderstandswerte von Luftschichten gemäß DIN EN ISO 6946: Ab 25 mm: 0,18 m²K/W.

Eine 6 cm dicke Dämmschicht hat mit 1,5 m²K/W einen um 8,3-fach besseren Wärmeschutz. Deshalb findet man zweischaliges Mauerwerk in den zwanziger Jahren auch schon mit Kohलगrus und Schlacke/Sand oder Torfoleumplatten gefüllt. Dies bleiben aber seltenere Ausführungen.

U-Wert IST-Zustand	1,63 W/(m ² K)
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,28 W/(m ² K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m ²	101 kWh/m ²
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	13,6 °C (10 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	18,9 °C gedämmt
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	55 % r.F. / 75 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Kerndämmung erzielt: 0,47 W/(m ² K)
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm Kerndämmung. (14 cm λ 0,035 W/(mK) oder Luftschichtdicke bei KfW CO ₂ -Gebäudesan.)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m ³]		[m ² K/W]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Vollziegel	0,12	1800	0,99	0,121
Luft unbelüftet	0,06	-	-	0,180
Vollziegel	0,12	1800	0,99	0,121
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				0,614
U	1,64 W/(m ² K)			

Stahlbeton-Außenwänden (18 cm) mit Innendämmung U = 1,45 W/(m²K)



Die Betonbauweise benötigte um die Wende zum 20. Jahrhundert die Wärmedämmung für ihren Marktzutritt. Das Innenklima hinter Betonaußenbauteilen wäre sonst im Sommer wie im Winter unerträglich. Die Zementhersteller besaßen deshalb schon in den zwanziger Jahren Dämmstoffwerke.

Ortbeton- oder Schüttbetonwände gab es aus Normal- und aus Leichtbetonen (2400 bzw. 1500 kg/m³). Sie wurden mit vor Ort angebrachtem Wärmeschutz bis in die sechziger Jahre hergestellt.

Die λ -Werte für den armierten Beton liegen zwischen 2,3 und 1,5 W/(mK).

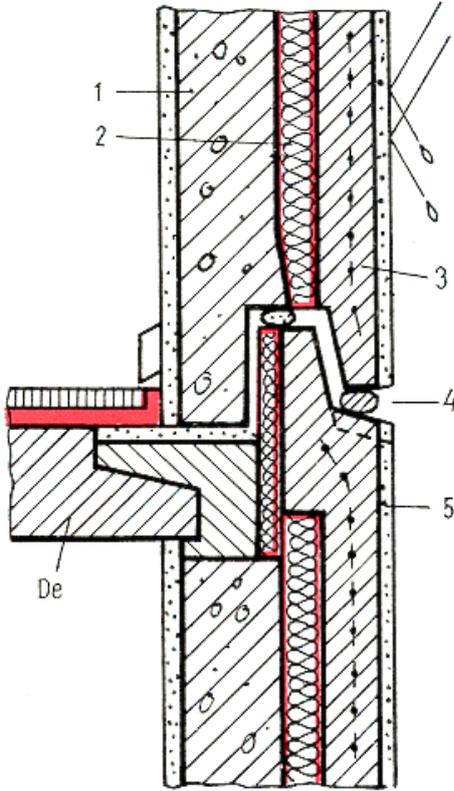
Als Dämmstoffe kamen vor 1945 Torfoleumplatten (0,048 W/(mK)) und Heraklithplatten (0,083 W/(mK)) zum Einsatz. Nach 1945 wurden Heraklithplatten (0,083 W/(mK)) und Polystyrolplatten, weniger auch Mineralfaserplatten (0,04 W/(mK)) verwandt. Die Innenbekleidung bestand überwiegend aus Verputz oder Materialien, die beim Einbau fugendicht wurden, so daß keine Feuchteschäden bekannt geworden sind. In der DIN 4108-3, Kapitel 4.3 sind solche innen gedämmten Wände mit Holzwolleleichtbauplatten ohne Tauwassernachweis zugelassen.

Der U-Wert liegt bei 3,5 cm Heraklithplatte bei 1,45 W/(m²K) in der Nähe des Mindestwärmeschutzes einer 38 cm dicken Vollziegelwand.

U-Wert IST-Zustand	1,45 W/(m²K)
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,27 W/(m²K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m²	89 kWh/m²
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	14,3 °C (11 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	19 °C gedämmt
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	57 % r.F. / 75 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade
Dämmschichtdicke	12 cm außen (14 cm λ 0,035 W/(mK) bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m³]		[m²K/W]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Heraklith	0,035	450	0,083	0,422
Beton	0,18	2300	2,3	0,078
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				0,691
U	1,45 W/(m²K)			

Beton-Außenwände Dreischichtplatte 20 cm, $U = 0,87 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Mit der industriell gefertigten Betonbauweise aus den Betonwerken wurde in Deutschland nach 1960 ein riesiger Beitrag zur Beseitigung der jahrhundertealten Wohnungsnot geleistet. Die „Dreischichtplatte“ mit Kerndämmung wurde der Klassiker und in BRD wie DDR gleichermaßen verarbeitet.

Die Abmessungen je nach Patent:

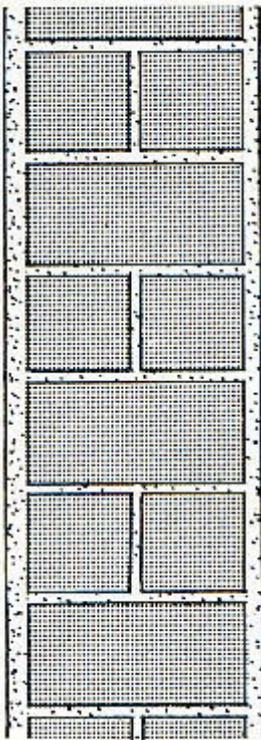
- 10 cm Betoninnenschale
- 4 cm Polystyrol- oder MF-Dämmung
- 6 cm Betonwetterschale

Das Raumgewicht liegt bei $2.300 \text{ kg}/\text{m}^3$, der λ -Wert des Betons bei $2,3 \text{ W}/(\text{mK})$, die Dämmschichten hatten λ -Werte um $0,04\text{-}0,045 \text{ W}/(\text{mK})$. Der U-Wert liegt bei $0,8\text{-}0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, ist jedoch wegen vieler Wärmebrücken ca. um $1/3$ schlechter. Dies wird jedoch nicht in den U-Wert eingerechnet, sondern in der rechnerischen Energiebilanz von Altbauten in einem pauschalen Wärmebrückenzuschlag von $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfasst.

U-Wert IST-Zustand	0,87 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,24 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m^2	47 kWh/m^2
Innen-Oberflächentemperatur bei $-10 \text{ }^\circ\text{C}$	16,6 $^\circ\text{C}$ (14,1 $^\circ\text{C}$ hinter Schränken)
Außentemperatur	19,1 $^\circ\text{C}$ gedämmt
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	65 % r.F. / 76 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen. (14 cm λ 0,035 $\text{W}/(\text{mK})$ bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m^3]		[$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Beton	0,1	2300	2,3	0,043
Dämmung	0,04	35	0,045	0,889
Beton	0,06	2300	2,3	0,026
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				1,150
U	0,87 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$			

Außenwände aus Schwemmsteinen 25 cm $U = 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



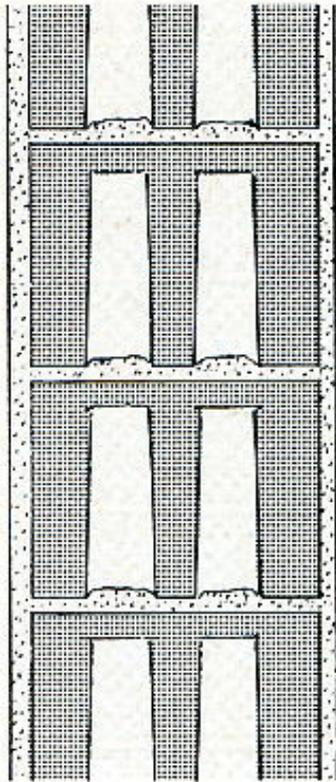
Bimsstein wird ab den zwanziger Jahren verstärkt im Hochbau eingesetzt und zu dieser Zeit mit Zementbindung auch zur Reife entwickelt. Seine Lagerstätten sind auf Koblenz-Neuwied und wenige Vulkangebiete begrenzt (Hessischer Vogelsberg). Als „Rheinischer Schwemmstein“ geht er in den Markt ein. Er bleibt bei einem geringen Marktanteil von 10 % (1938). Der Schwemmstein ist ein Bims-Vollstein in den Abmessungen L: 25 cm B: 12 cm. H: 6,5; 9,5; 10,4; 14,4 cm.

Das Raumgewicht liegt bei 850-1100 kg/m³ und wird vor allem durch die statischen Anforderungen bestimmt. Der λ -Wert des Schwemmstein-Mauerwerks liegt bei 0,52 W/(mK). Obwohl der Stein selbst eine bessere Dämmqualität aufweist, wird die Wand dünner errichtet und orientiert man den U-Wert mit 1,44 W/(m²K) an der „Normalwand“, bzw. später am Mindestwärmeschutz der DIN 4108 ab 1952. In wenigen Fällen findet man auch Villen und größere Einfamilienhäusern mit 38 cm dicken Schwemmsteinwänden und $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

U-Wert IST-Zustand	1,44 W/(m ² K)
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,27 W/(m ² K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m ²	88 kWh/m ²
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	14,4 °C (11 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	19 °C gedämmt
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	57 % r.F. / 75 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen. (14 cm λ 0,035 W/(mK) bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m ³]		[m ² K/W]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Schwemmstein	0,25	1000	0,52	0,481
Außenputz	0,02	1800	1	0,020
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				0,692
U	1,44 W/(m ² K)			

Außenwände aus Bimshohlblocksteinen 30 cm U = 1,2 W/(m²K)



Betonsteine aus Naturbims, sogenannte Bims-Hohlblocksteine wurden nach dem 2. Weltkrieg in den sechziger und siebziger Jahren stark eingesetzt. Ihr Großformat sparte Zeit und Mörtel. Ihre wärmetechnische Qualität war leicht besser als der Hochlochziegel. Die Bims-Hohlblöcke findet man im Geschößwohnungsbau der Wohnungsbaugesellschaften, aber auch bei vielen Reihenhausanlagen aus den sechziger Jahren.

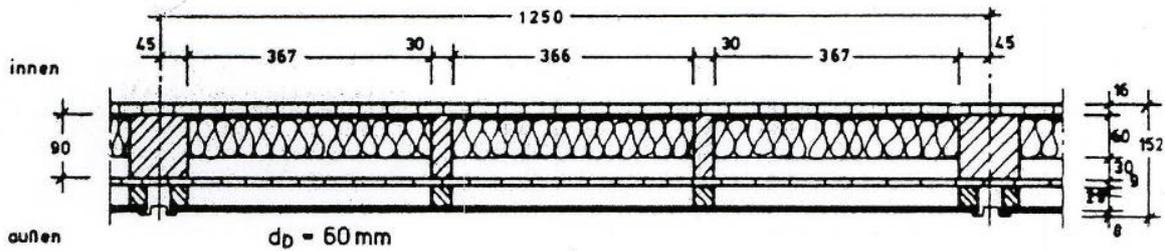
Abmessungen zum Beispiel: L: 49 cm B: 30 cm. H: 23,8 cm.

Das Raumgewicht liegt bei 1000-1400 kg/m³ und wird vor allem durch die statischen Anforderungen bestimmt. Der λ -Wert des Schwemmstein-Mauerwerks liegt bei 0,44-0,52 W/(mK). Zum Einsatz kam bis zur 1. WSVO der Zweikammerstein, heutige Norm-Wärmeleitfähigkeitswerte können deshalb für solche alten Konstruktionen nicht mehr angenommen werden. Nach DIN 4701 von 1959 liegt der U-Wert für 24 cm dicke Bims-Hohlblocksteinwände verputzt bei 1,43 W/(m²K), für 30 cm dicke Wände gleicher Art bei 1,23 W/(m²K).

U-Wert IST-Zustand	1,23 W/(m²K)
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,26 W/(m²K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m ²	73 kWh/m ²
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	15,3 °C (12 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	19 °C gedämmt
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	61 % r.F. / 75 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen. (14 cm λ 0,035 W/(mK) bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m ³]	[W/(mK)]	[m ² K/W]
R _{si}	-	-	-	0,13
Innenputz	0,015	700	0,7	0,021
Bims-Hohlblock	0,3	1200	0,5	0,600
Außenputz	0,02	1800	1	0,020
R _{se}	-	-	-	0,04
R _T				0,811
U	1,23 W/(m²K)			

Außenwände in Holzbauweise (Fertighäuser), $U = 0,5-0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Die Fertighausbauweise setzt sich mit dem Wirtschaftsaufschwung in den sechziger Jahren durch. Das „Neckermann-Haus“ der damaligen Zeit findet viele Nachahmer. Fertighäuser hatten schon immer den besseren Wärmeschutz, da sie ihn zur Abwehr der sommerlichen Temperaturbelastung brauchten. Die dargestellte Konstruktion hatte 1970 – 1985 einen U-Wert von $0,51 - 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ je nach Lage des Hauses im Wärmedämmgebiet II oder III. 60 bis 80 mm Glaswolle kamen zum Einsatz. Fertighäuser bewiesen schon damals, dass gedämmte Konstruktionen einen geringeren Energieverbrauch erzielen. Nur wurde dies nicht zur Kenntnis genommen. Durch den guten Ausgangs-U-Wert sind Zusatzdämmschichten heute nicht ganz wirtschaftlich, aber aus vielen anderen Gründen sinnvoll (verbesserter sommerlicher Wärmeschutz, Schritt zum Haus ohne Heizung).

U-Wert IST-Zustand	0,6 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,21 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m^2	29 kWh/m^2
Innen-Oberflächentemperatur bei $-10 \text{ }^\circ\text{C}$	17,7 $^\circ\text{C}$ (16 $^\circ\text{C}$ hinter Schränken)
Außentemperatur	
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	70 % r.F.
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen. (14 cm λ 0,035 $\text{W}/(\text{mK})$ bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)

	Dicke	Raumgewicht	λ	R
	[m]	[kg/m^3]	[$\text{W}/(\text{mK})$]	[$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
R_{si}	-	-	-	0,13
Holzwerkstoffplatte	0,016	500	0,2	0,080
Dämmstoff	0,06	15	0,04	1,500
Luftschicht	0,03			0,180
Holzwerkstoffplatte	0,009	500	0,2	0,045
Luft	-	-	-	-
Außenbekleidung	-	-	-	-
R_{se}	-	-	-	0,04
R_T				1,975
U		0,51	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ zzgl. Holzanteil 10 %	

Übersicht: Außenwände nach 1945 – Mindestwärmeschutz der DIN 4108 von 1952 ff. $U = 1,5-1,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Steinart der Außenwand	Druckfestigkeit kg/cm ²	Rohwichte kg/dm ³	Wärmeleit- zahl nach DIN 4108 kcal/m h °	Mindestwanddicke in cm im Wärme- dämmgebiet		
				I	II	III
KS-Vollsteine	75/150/250	1,8	0,85	36,5	49	49
Vollziegel	100/150/250	1,8	0,68	36,5	36,5	49
Hüttensteine	100/150	—	0,60	36,5	36,5	36,5
Leichtbeton-Vollsteine	50/75/150	1,6	0,68	30	36,5	49
Voll-, Loch-, Vormauerziegel	100/150/250	1,4 ¹⁾	0,52	24	30	36,5
	100/150/250	1,2 ¹⁾	0,45	24	24	30
KS-Lochsteine	75/150/250	1,4	0,60	24	30	36,5
	50/75/150	1,2	0,48	24	24	30
Leichtbeton-Vollsteine	25/50/75	1,4	0,55	24	30	36,5
	25/50	1,2	0,45	24	24	30
	25/50	1,0	0,40	24	24	24
	25	0,8	0,35	24	24	24
KS-Hohlblocksteine	25/50/75	1,2	0,48	24	24	—
	25/50/75	1,0	0,43	24	24	—
Leichtbeton-Hohlblocksteine	25/50	1,4	0,48	24	24	30
	25/50	1,0	0,38	24	24	24
Gas- u. Schaumbeton-Steine	50	0,8	0,35	24	24	24
	25	0,6	0,30	24	24	24

1) Für Voll- und Lochziegel der Rohwichte 1,0 mit der Wärmeleitzahl 0,40 sind auch im Wärmedämmgebiet III 24 cm dicke Wände zulässig.

Ein Mindestwärmeschutz für die Außenbauteile von Gebäuden wurde mit der DIN 4108 erstmalig 1952 gesetzt. Die Norm galt und gilt für alle Gebäude, die zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen dienen und sollte die Wohngesundheit verbessern helfen. Es galten drei verschiedene Anforderungen in 3 Dämmgebieten. Der U-Wert betrug für das Dämmgebiet II (überwiegender Teil von Deutschland) bis 1974 $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. nach der Energiekrise von 1973 wurde er auf $1,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verbessert. Die Tabelle zeigt, bei wärmetechnisch besseren Baustoffen, wurde nicht der U-Wert verbessert, sondern die Wanddicken wurden so verschlängelt, dass der Mindestwärmeschutz gerade eingehalten wurde.

Die seit 1850 zur „Normalwand“ aufgestiegene 38 cm Vollziegelwand konnte also auch nach 1952 leider nach wie vor gebaut werden.

Die Wärmeleitahlen in kcal/m h °C sind mit 1,163 zu multiplizieren um die heute gültige Einheit W/(mK) zu erhalten.

U-Wert IST-Zustand	1,5 W/(m ² K)
U-Wert Gedämmt 12 cm	0,27 W/(m ² K)
Jahres-Heizwärme-Einsparung pro m ²	92 kWh
Innen-Oberflächentemperatur bei -10 °C	IST: 14 °C (11 °C hinter Schränken)
Außentemperatur	Gedämmt: 19 °C (18 °C hinter Schränken)
Schimmelgefahr ab einer rel. Innenluftfeuchte von	56 % r.F. 75 % r.F
Energiespar-Techniken:	Wärmedämmverbundsystem, Vorhangfassade, Innendämmung.
Dämmschichtdicke	12 cm außen, 6 cm innen (14 cm λ 0,035 W/(mK) bei Förderung durch KfW CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm)