

Die Bewertung von Mauerwerk im Vergleich zu alternativen Wandbaumaterialien aus der Sicht der Energieeinsparung

(Evaluation of brickwork in comparison with different wall building materials under the aspect of energy saving)

Dr.-Ing. Frieder Schwarz

Bauakademie der DDR, Institut für Baustoffe Weimar, DDR

Kurzfassung - In diesem Beitrag werden, ausgehend von den erhöhten Forderungen zum bautechnischen Wärmeschutz infolge der energieökonomischen Entwicklung, die üblichen kleinformatischen Wandbaustoffe hinsichtlich der Erfüllung dieser Forderungen überprüft. Dabei ergibt sich ein differenziertes Bild. Es werden Möglichkeiten zur Verbesserung der wärmetechnischen Eigenschaften aufgezeigt und im Fall des Einsatzes von Dämmörtel bzw. der Erhöhung der Wanddicke quantitativ ausgewiesen.

Abstract - In this contribution the usual-sized wall building materials are evaluated concerning the realization of the increased requirements on heat insulation of buildings, caused by the development of energy economy. Hereby a differentiated figure follows. Possibilities for improving thermic properties are shown and quantitatively proved in case of the use of heat insulation mortar, and increase of wall thickness respectively.

1. Ausgangssituation

Mit der Verbesserung des Wohnkomforts war in der Vergangenheit eine deutliche Zunahme des Heizenergieverbrauches verbunden. Gegenwärtig liegt der Anteil an Gebrauchsenergie für die Beheizung der Gebäude bei 35 - 40 %. Infolge des fortschreitenden Abbaus fossiler Energiequellen und der Verteuerung des Erdöls auf dem Weltmarkt verstärkte sich in den letzten Jahren der Zwang zur Reduzierung der Energieaufwendungen für die Raumheizung immer mehr. In früheren Jahren wurde die wärmetechnische Bemessung von Außenbauwerksteilen vorrangig auf der Basis des Mindestwärmeschutzes vorgenommen, der von der hygienischen Forderung der gesicherten Tauwasserfreiheit auf der inneren Wandoberfläche ausging. Damit blieben energieökonomische Forderungen weitgehend unberücksichtigt.

In der DDR ist seit 1981 ein neuer Standard "Bautechnischer Wärmeschutz" verbindlich, der den energieökonomischen Forderungen durch Einführung des maximalen mittleren Wärmedurchgangswertes $k_{m,max}$ für das Gesamtgebäude Rechnung trägt. Die Festlegung dieses Wertes wurde so vorgenommen, daß gegenüber dem Mindestwärmeschutz eine Senkung des Energieaufwandes von zunächst ca. 13 % und nach 1985 um 20 % durch eine verbesserte Umfassungskonstruktion bewirkt wird.

In Tabelle 1 sind die diesbezüglichen Forderungen ausgewiesen.

Richtwerte für die gebäudegeometrische Einstufung sind in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 1: Maximaler mittlerer Wärmedurchgangswert ($k_{m,max}$)

V/A_u	$k_{m,max}$ in W/m^2K für t_e in $^{\circ}C$			
	-15		-20	
	1981	1985	1981	1985
m				
1,0	0,80	0,70	0,73	0,64
1,5	0,91	0,78	0,91	0,71
2,0	0,99	0,87	0,91	0,80
2,5	1,08	0,95	1,00	0,88
3,0	1,18	1,04	1,10	0,96

Es bedeuten

V = Bauwerksvolumen

A_u = Umfassungsfläche

t_e = rechnerische Wintertemperatur

Tabelle 2: Gebäudegeometrische Einstufung (Richtwerte)

Gebäudetyp	V/A_u in m
Einfamilienhaus	1,0
Reihenhaus, 4 Eingänge	1,5
Wohnhaus, zweigeschossig, 2 Eingänge	1,75
Wohnhaus, fünfgeschossig, 6 Eingänge	3,0

Die drei erstgenannten Typen, auf die sich der Mauerwerksbau vorrangig erstreckt, besitzen aus wärmetechnischer Sicht eine ungünstige Gebäudegeometrie, da die Umfassungsfläche im Vergleich zum Bauwerksvolumen recht hoch liegt. Die Erzielung einer günstigen energieökonomischen Relation ist nur über einen erhöhten Wärmeschutz möglich. Geht man davon aus, daß die schlechteren wärmetechnischen Eigenschaften der Fenster durch die größere Dämmung in der Dachdecke sowie der Bemessung der Kellerdecke in erster Näherung ausgeglichen werden, so entsprechen die Forderungen für die Außenwände etwa den in Tabelle 1 angegebenen Werten. Das bedeutet z.B. für Gebäude im Wärmedämmgebiet 1 mit $t_e = -15^{\circ}C$ $k_{m,max}$ -Werte zwischen 0,8 und 0,95 W/m^2K gegenwärtig und zwischen 0,70 und 0,83 W/m^2K nach 1985. Für Gebäude in strengeren Klimagebieten ($t_e \leq -20^{\circ}C$) erstreckt sich der Bereich nach 1985 sogar bis auf 0,64 W/m^2K .

In diesem Beitrag soll untersucht werden, ob bzw. wie mit Ziegelmauerwerk bzw. alternativen kleinformatigen Wandbaustoffen die erhöhten energieökonomischen Anforderungen erfüllt werden können.

2. Verfahren zur Bewertung von Außenbauwerksteilen

Der vorhandene mittlere Wärmedurchgangswert ($k_{m, \text{vorh}}$) des Gebäudes wird nach Gleichung (1) berechnet

$$k_{m, \text{vorh}} = \frac{1}{A_u} \sum_{j=1}^n A_j \cdot k_j \cdot \psi_j \quad (1)$$

mit

A_j = Einzelfläche der wärmedämmenden Umfassungskonstruktion

k_j = Wärmedurchgangswert der jeweiligen Einzelfläche

ψ_j = Temperaturfaktor nach Gleichung (2)

$$\psi_j = \frac{t_{i,j} - t_{e,j}}{\Delta t_m} \quad (2)$$

$t_{i,j} - t_{e,j}$ = Temperaturdifferenz an den Einzelflächen

Δt_m = mittlere Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und rechnerischer Wintertemperatur

Die Werte A_u , A_j und ψ_j sind durch die Gebäudegeometrie bzw. die Nutzungsbedingungen gegeben. Die Werte k_j können in vielen Fällen mit Hilfe von Kennwerttabellen abgeleitet werden, deren Ursprung die experimentelle Ermittlung des Wärmedurchgangs ist.

Im Institut für Baustoffe Weimar der Bauakademie der DDR werden die wärmetechnischen Kennwerte von Wandbaustoffen und Wandelementen in Klimaprüfkammern an Originalwänden bestimmt. In Bild 1 ist der Schnitt durch die Prüfeinrichtung dargestellt. Die zu prüfende Elementefläche beträgt zwischen 1,5 bis 4 m². Die Prüfung erfolgt im stationären Temperaturgefälle von +20 °C zu -10 °C. Zur Messung des Wärmestroms dienen Wärmestrommeßplatten der Größe 500 x 500 mm² (Bild 2). Die Temperaturen werden mit Kupfer-Konstantan-Thermoelementen gemessen. Im Ergebnis der Messung erhält man den Wärmedämmwert, aus den in der Summe mit den im Standard festgelegten Wärmeübergangswiderständen innen $R_i = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ und außen $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ der k-Wert gebildet wird.

3. Angaben zum Untersuchungsmaterial

Untersucht wurden beidseitig geputzte Wände aus

Mauerziegel

Betonhohlblocksteine (Bild 3)

Kalksandsteine

Holzbetonhandmontagesteine

Gasbetonhandmontagesteine

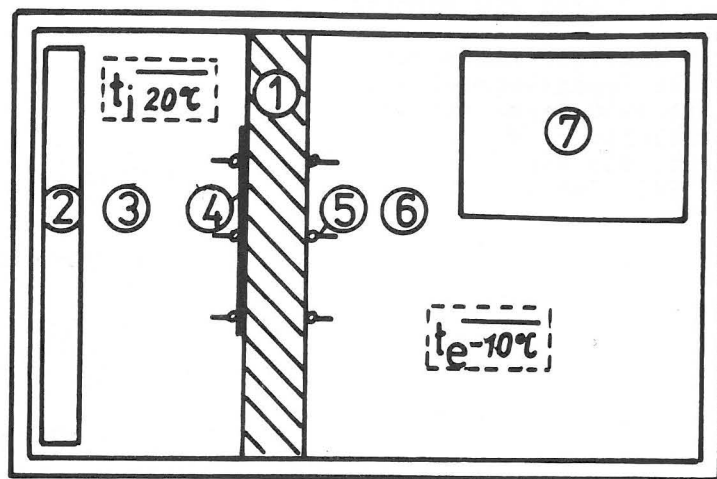


Bild 1: Schnitt durch die Klimaprüfkammer

1 - Prüfelement, 2 - Heizung, 3 - Warmseite,
4 - Wärmeflußmeßplatte, 5 - Temperaturmeßfühler,
6 - Kaltseite, 7 - Kälteaggregat

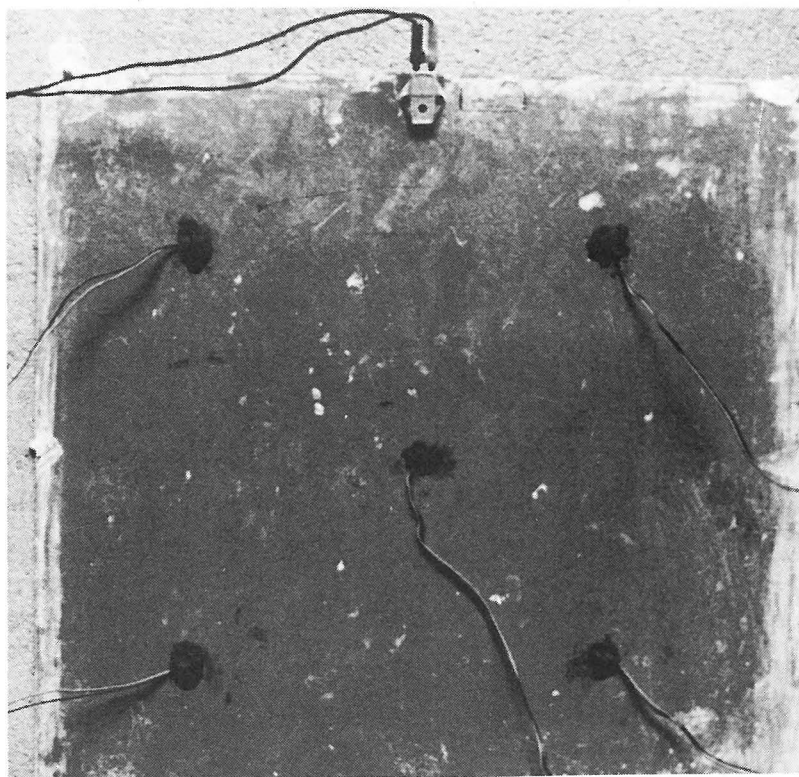


Bild 2: Ansicht des Prüfelementes mit Wärmestrommeßplatte

In Tabelle 3 sind die Formate und die zugehörigen Rohdichtebereiche fixiert. Als Mörtel wurde Kalk-Zement-Mörtel der Rohdichte 1900 kg/m^3 mit einem Wärmeleitwert $\lambda = 1,05 \text{ W/mK}$ verwendet. Die Wanddicken lagen bei 240, 365 und zum Teil bei 300 mm.

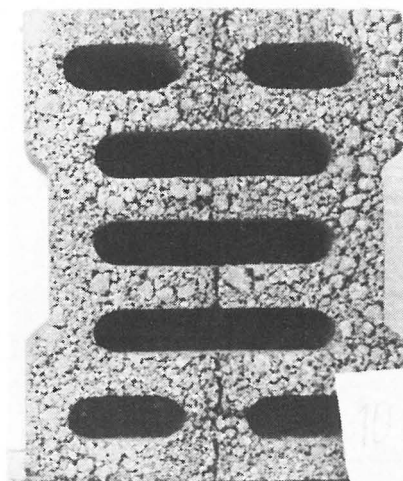


Bild 3: Betonhohlblockstein

Tabelle 3: Rohdichten und Formate der untersuchten Materialien

Material	Rohdichte kg/m^3	Format NF	Abmessung
			mm x mm x mm
Ziegel	800 ... 1000	10,6	238 x 240 x 365
	900 ... 1100	6,9	115 x 240 x 365
	900 ... 1100	5,5	115 x 240 x 365
	1200 ... 1500	1,6	115 x 240 x 113
	1400 ... 1700	1,0	115 x 240 x 71
Betonhohlblocksteine	800 ... 1400		238 x 240 x 365
			238 x 240 x 300
Gasbeton	500 ... 800		200 x 240 x 600
			300 x 240 x 600
Holzbeton	800 ... 1000		120 x 240 x 600

4. Wärmetechnische Einschätzung

Die Grundkenngröße zur wärmetechnischen Bewertung eines Stoffes ist der Wärmeleitwert. An ihn sind keine geometrischen Parameter gebunden, und somit ist ein direkter Vergleich verschiedener Materialien möglich. Da bei der Messung der Wandbaustoff einschließlich Fugenanteil erfaßt wird, wird eine Rückrechnung nach Gleichung (3) vorgenommen.

$$\lambda_B = \left(\frac{A_{ges}}{R_{ges}} - \frac{A_F}{R_F} \right) \frac{s}{A_B} \quad (3)$$

Es bedeuten

- λ_B = Wärmeleitwert des Wandbaustoffs
 A_{ges} = Gesamtfläche
 A_F = Fugenfläche
 A_B = Fläche des Wandbaustoffs
 R_{ges} = Wärmedämmwert der Gesamtfläche
 R_F = Wärmedämmwert der Fuge
 s = Wanddicke

In Bild 4 sind die Wärmeleitwerte in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte des Steins (einschließlich Hohlraumanteil) dargestellt. Die wärmetechnische Reihenfolge, mit dem besten Material beginnend, lautet

- Gasbeton
- Holzbeton
- Ziegel
- Betonhohlblocksteine
- Kalksandsteine

Auch nach der Zuordnung zu den üblichen Wanddicken und der damit vorgenommenen Ermittlung des k-Wertes bleibt diese Rangfolge weitgehend erhalten, wie Bild 5 zeigt. In diesem Bild sind auch die Bereiche der erforderlichen k-Werte für die Zeiträume 1981/85 und nach 1985 eingezeichnet. Es ist zu erkennen, daß die Forderung für den Zeitraum 1981/85 von Gasbeton sowohl der Dicke 240 mm als natürlich auch 300 mm erfüllt wird, ebenso von Holzbeton mit Rohdichten kleiner als 850 kg/m³. Ziegel sind bei Rohdichten unter 1000 kg/m³ teilweise noch einsetzbar, während Hohlblocksteine weitgehend außerhalb der Forderungen liegen. Nach 1985 erfüllen unter den hier zugrundegelegten Bedingungen nur noch Gasbeton 300 mm Dicke die Forderungen. Im Interesse der weiteren Nutzung vorhandener Kapazitäten zur Fertigung kleinformatiger Wandbaustoffe sind wärmetechnische Verbesserungen anzustreben, wofür folgende Möglichkeiten existieren:

- Kombination mit zusätzlichen hochwertigen Dämmstoffen
- Erhöhung des Dämmwertes der anderen Außenbauwerksteile
- Verwendung von Dämmörtel
- Erhöhung der Wanddicke, z.B. auf 490 mm

Bei Kombination mit hochwertigen Dämmstoffen kann durch die variable Bemessung der Dämmstoffdicke quasi jeder beliebige k-Wert erreicht werden. Aus diesem Grunde soll diese Möglichkeit nicht weiter betrachtet werden.

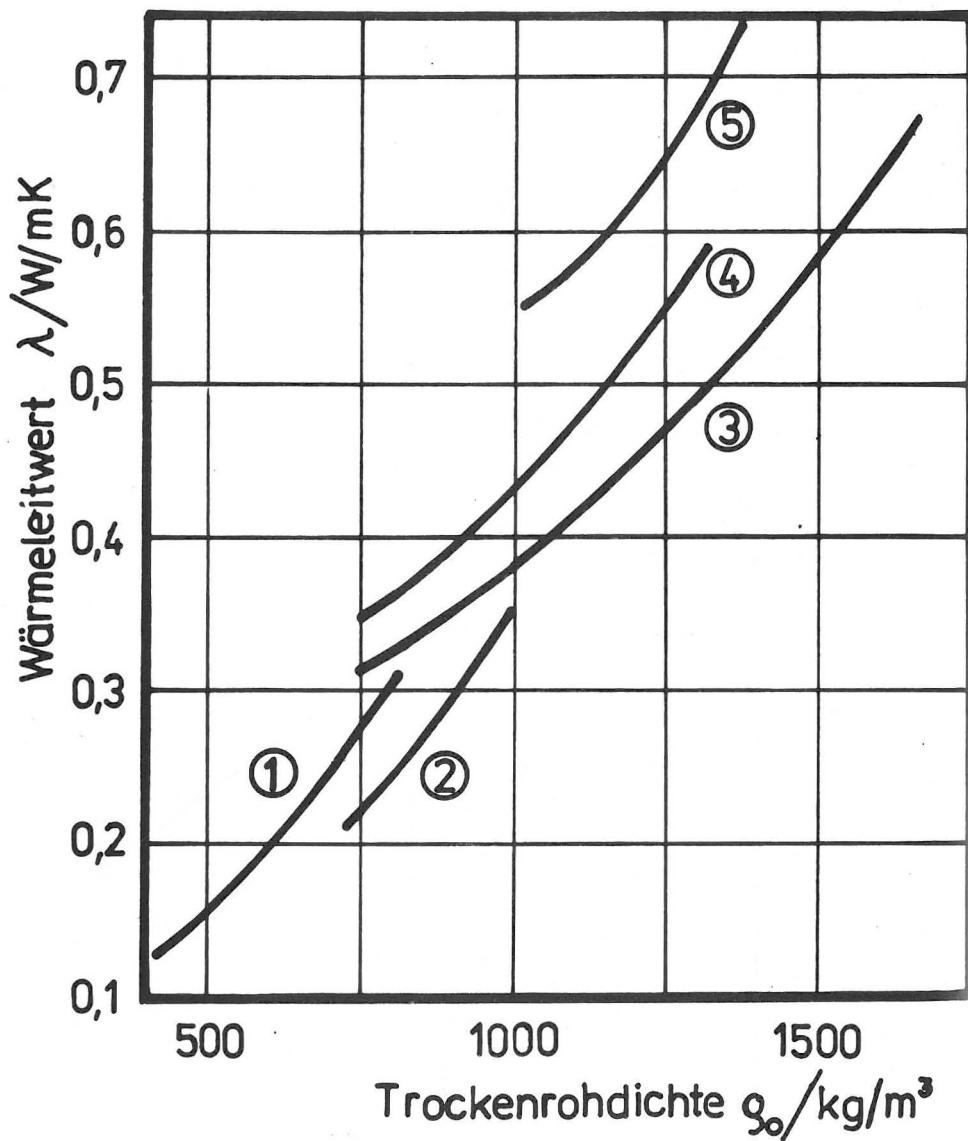


Bild 4: Wärmeleitwerte der Wandbaustoffe

- 1 - Gasbeton, 2 - Holzbeton, 3 - Ziegel,
4 - Betonhohlblocksteine, 5- Kalksandsteine

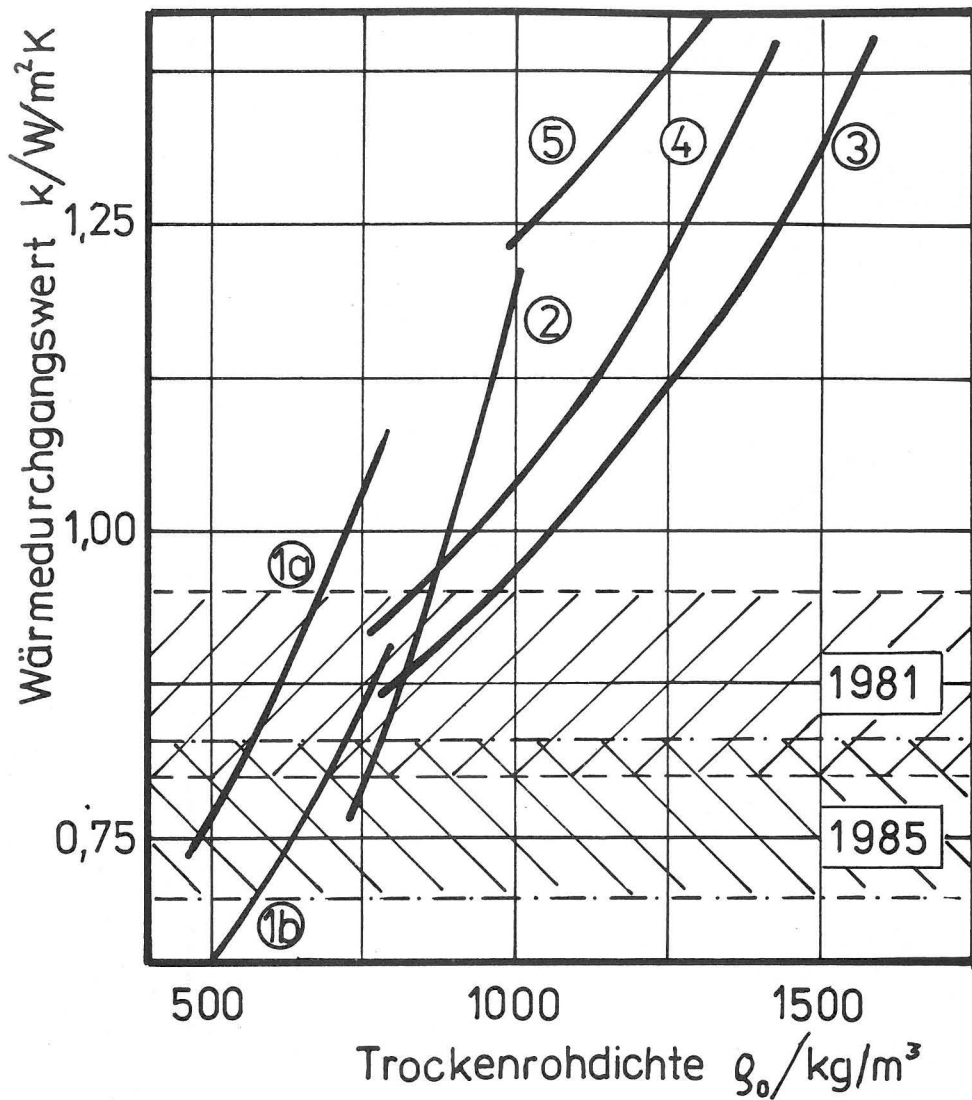


Bild 5: Wärmedurchgangswerte von Wänden mit Kalk-Zement-Mörtel aufgemauert

1a - Gasbeton 240 mm, 1b - Gasbeton 300 mm,
 2 - Holzbeton, 3 - Ziegel, 4 - Betonhohlblockstein,
 5 - Kalksandstein

Ebenso ist es möglich, die Dämmung in der Dach- und Kellerdecke über die geforderten Standardwerte zu erhöhen, oder Fenster mit Dreifachverglasung einzusetzen. Dadurch reduziert sich die Anforderung an den k-Wert der Außenwand und der Einsatz von Wandbaustoffen mittlerer wärmetechnischer Güte wird möglich. Die Mörtelfugen stellen im Mauerwerk Wärmebrücken dar, wenn Zement- oder Kalk-Zement-Mörtel verwendet wird. Der Flächenanteil bei Zugrundelegung üblicher Fugenbreiten (10 ... 12 mm) schwankt für die untersuchten Formate zwischen 9 und 19 %. Durch Verwendung von Dämmmörtel mit einem Wärmeleitwert von $\lambda = 0,35 \text{ W/mK}$ wird die Wärmebrückenwirkung beseitigt. Bei Gasbeton wird gleiches durch den Einsatz von Spezialklebemörtel erreicht. Bild 6 gibt Auskunft über die mögliche wärmetechnische Verbesserung der Wände bei Verwendung von Dämmmörtel. Mit Gasbeton können die Forderungen auch für den Zeitraum nach 1985 bereits mit der 240er Wand weitgehend erfüllt werden. Diese Aussage gilt ebenso für Holzbeton mit Trockenrohdichten unter 850 kg/m^3 . Bei Mauerziegeln wird die Einsatzpalette deutlich erweitert. Die gegenwärtigen Forderungen können mit Steinen der Rohdichte kleiner 1200 kg/m^3 gut erfüllt werden, die Forderungen nach 1985 sind nur teilweise erfüllbar. Mit Hohlblocksteinen wird nur die Erfüllung der gegenwärtigen Forderungen bei Einsatz von Steinen der Rohdichte kleiner 1000 kg/m^3 gewährleistet. Kalksandsteine erfüllen auch bei Verwendung von Dämmmörtel die Forderungen nicht. Die Erhöhung der Wanddicke, als vierte Möglichkeit, läßt sich durch verschiedenartige Kombinationen der Formate erreichen. In Bild 7 sind für Mauerziegel, Hohlblocksteine und Kalksandsteine die durchschnittlichen Abhängigkeiten für die 490er Wand dargestellt. Es ist zu erkennen, daß mit Mauerziegeln die Forderungen deutlich überboten werden. Hohlblocksteine gewährleisten je nach Zuordnung zur Rohdichte ebenfalls die Erfüllung der gegenwärtigen und künftigen Forderungen. Bei Kalksandsteinen wird auch mit der 490er Wand nur der niedrigste Bereich der Forderungen tangiert.

Zusammenfassung

Die aus den energieökonomischen Prämissen abgeleiteten Forderungen zum bautechnischen Wärmeschutz gehen deutlich über die bisherigen Forderungen des hygienisch bedingten Mindestwärmeschutzes hinaus. Die genaue Höhe wird durch die Gebäudegeometrie bestimmt. Die Bewertung vorhandener Wandkonstruktionen im Hinblick auf die Erfüllung der neuen Forderungen wurde auf der Basis von Messungen in Klimaprüfkammern vorgenommen. Untersucht wurden Gasbeton, Holzbeton, Mauerziegeln, Betonhohlblocksteine, Kalksandsteine, die, wie die Messungen ergaben, in der angegebenen Reihenfolge eine abnehmende wärmetechnische Güte besitzen.

Bei Ausführung der Wand in den formatüblichen Dicken unter Verwendung von Kalk-Zement-Mörtel werden die Forderungen nur von Gasbeton, Holzbeton und zum Teil von wärmetechnisch hochwertiger Ziegeln erfüllt. Durch Verwendung von Dämmmörtel erweitern sich die Einsatzmöglichkeiten von Ziegeln. Auch der Einsatz von sehr leichten Hohlblocksteinen wird teilweise möglich. Durch Erhöhung der Wanddicke auf 490 mm werden mit Ziegeln alle und mit Hohlblocksteinen differenziert nach Rohdichten die Mehrzahl der Forderungen erfüllt. Beim Einsatz von Kalksandsteinen muß ausschließlich auf eine Zusatzdämmung orientiert werden.

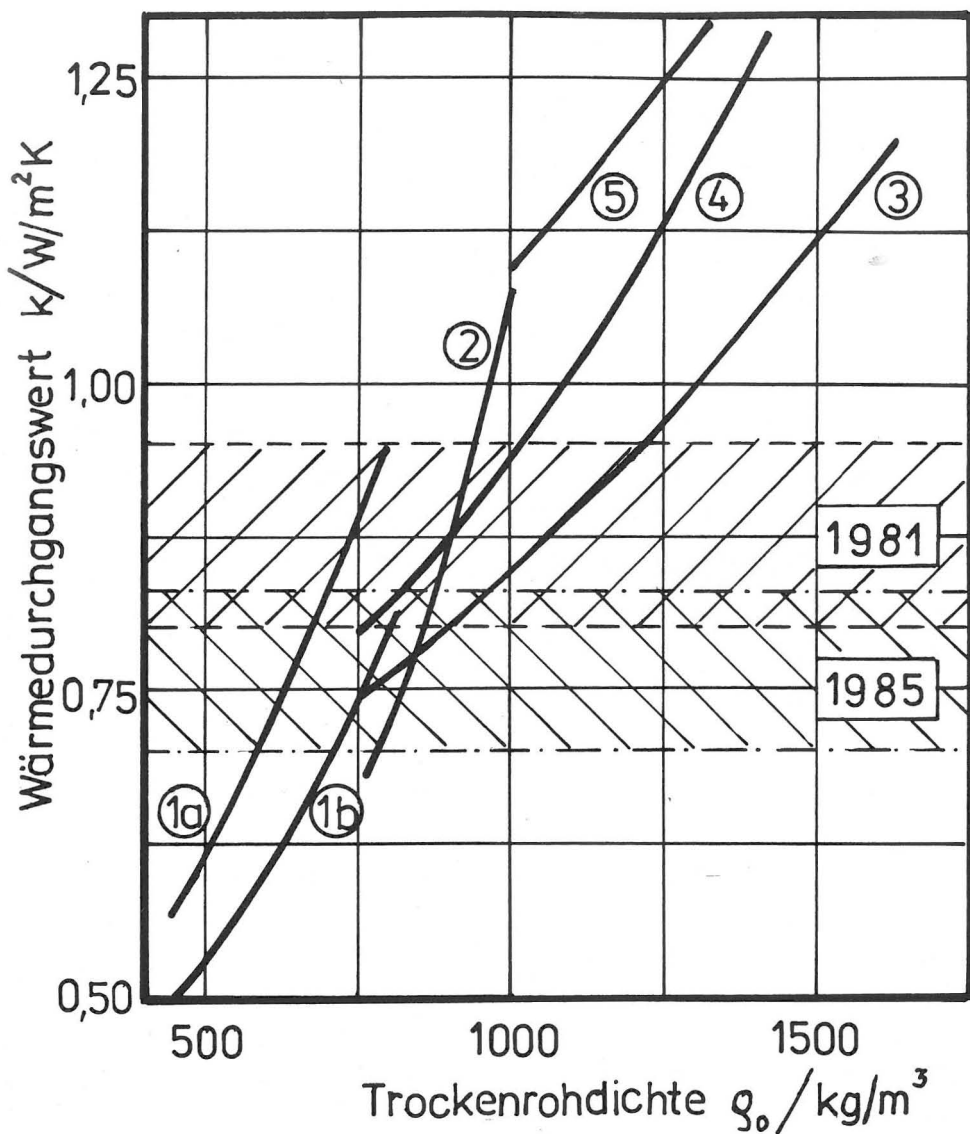


Bild 6: Wärmedurchgangswerte von Wänden, mit Dämmörtel aufgemauert
 1a - Gasbeton 240 mm, 1b - Gasbeton 300 mm,
 2 - Holzbeton, 3 - Ziegel, 4 - Betonhohlblocksteine,
 5 - Kalksandsteine

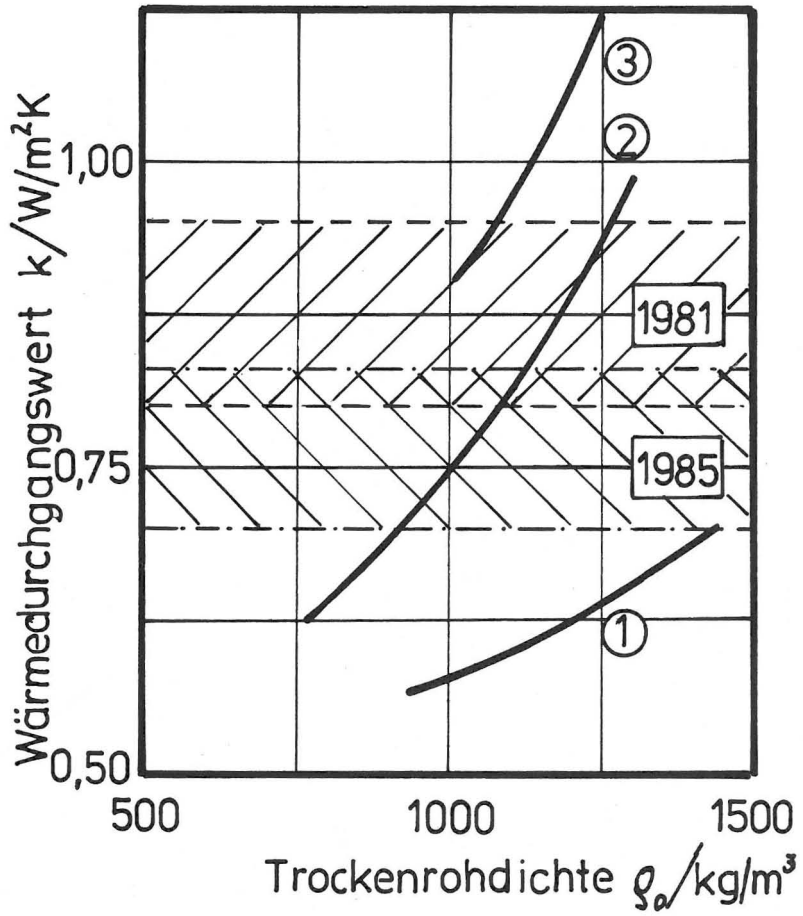


Bild 7: Wärmedurchgangswerte für 490er Wände
(mit Kalk-Zement-Mörtel)

- 1 - Ziegel, 2 - Betonhohlblocksteine,
- 3 - Kalksandsteine