

Die konstruktiven Grundlagen des Wärme- und Kälteschutzes im Wohn- und Industriebau

Von

Dr.-Ing. habil. J. S. Cammerer

Mit 69 Textabbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer
1936

ISBN-13:978-3-642-89603-3

e-ISBN-13:978-3-642-91459-1

DOI: 10.1007/978-3-642-91459-1

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen vorbehalten.

Copyright 1936 by Julius Springer in Berlin.
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1936

Vorwort.

Wer die schweren bautechnischen, hygienischen und wärmeschutztechnischen Fehler kennt, mit denen zahlreiche Großsiedelungen der letzten Jahre behaftet sind, wird darin eine genügende Rechtfertigung für die vorliegende Arbeit sehen. Der Stand der wissenschaftlichen Forschung gibt heute alle notwendigen Unterlagen, um die Möglichkeiten beliebiger Rohstoffe und Konstruktionen ohne kostspielige Experimente wärmeschutztechnisch beurteilen zu können. Was bislang fehlte, ist eine Sammlung dieser Ergebnisse in einer Form, die dem Architekten eine einfache Anwendung ohne alle Spezialkenntnisse ermöglicht. Wenn sich also das vorliegende Buch diese Aufgabe setzt, so ergibt sich daraus beinahe zwangsläufig der gewählte Aufbau:

Der Kern des Buches muß mit Hilfe übersichtlicher Zahlentafeln unter Vermeidung jeder formelmäßigen Rechnung alle erforderlichen Ermittlungen durchführen lassen. Zuvor aber müssen die physikalischen Zusammenhänge, die zuweilen sogar in Veröffentlichungen namhafter wissenschaftlicher Institute in Widerspruch mit den tatsächlichen Verhältnissen dargestellt werden, soweit erörtert werden, daß sich die notwendigen konstruktiven Folgerungen ableiten lassen. Dabei ist der Begriff des Wärmeschutzes auf jegliche Beeinflussung des Wärmestromes in einen Bauteil ausgedehnt, umfaßt also auch z. B. das Problem der Wärmedehnung von Baukonstruktionsteilen.

Auf diese Weise unterscheidet sich das Buch von dem so verdienstvollen älteren Werk von K. Hencky: „Die Wärmeverluste durch ebene Wände“ (München: R. Oldenbourg 1921), das in der Aufrollung der Probleme vorbildlich ist und die Forschung ungemein befruchtet hat, das aber gerade deswegen für die heutigen Bedürfnisse der Baupraxis zu viele rechnerische Betrachtungen enthält und in den Zahlenwerten naturgemäß überholt ist. Ebenso auch von neueren kleineren Zusammenstellungen, die den Stoff bei weitem nicht erschöpfen.

Selbstverständlich ist es äußerst wünschenswert, daß der Architekt sich wenigstens mit den wichtigsten Formeln vertraut macht, weshalb diese in einem dritten Teil ergänzend gebracht werden, ohne daß sie jedoch für den Gebrauch des Buches erforderlich wären.

Wenn auch nach dem Gesagten davon abgesehen werden muß, das Buch auf alle Unterlagen auszudehnen, die für eine Bemessung von Heizungsanlagen interessieren, so wird doch auch der Heizungsingenieur in ihm eine wichtige Ergänzung seiner eigenen Handbücher (z. B. der

„Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden“ des Verbandes der Zentralheizungsindustrie oder „Rietschels Leitfaden der Heiz- und Lüftungstechnik“, Berlin: Julius Springer) finden, da es ihm die einfache Berechnung der Wärmedurchgangszahl beliebiger Baukonstruktionen zeigt, während jene sich auf die üblichen Konstruktionen beschränken müssen und viele wichtige Ergebnisse der Forschung auf dem Gebiet des Wärmeschutzes nur sehr flüchtig streifen können. Der in diesem Buch gegebene Überblick über das Gesamtgebiet des Wärmeschutzes im Bauwesen wird sogar der Forschung selbst manchen Hinweis für eine systematische Weiterarbeit geben.

Der größte Teil des Buches konnte nur dadurch geschaffen werden, daß seit 1929 systematisch Versuche, meist an ausgeführten Bauten, vorgenommen wurden. Eingeleitet wurde dieses Forschungsprogramm mit Unterstützung der ehemaligen Reichsforschungsgesellschaft für Wirtschaftlichkeit im Bau- und Wohnungswesen e. V., Berlin. Die konsequente Durchführung bis zum Abschluß dieses Buches ermöglichte die Stiftung zur Förderung von Bauforschungen, Berlin. So ist es das Verdienst dieser Stellen, wenn allmählich jene Lücken ausgefüllt werden konnten, die die Praxis am stärksten behinderten und über die sie sich mit Recht seit langer Zeit beklagte. Der Verfasser fühlt sich den zuständigen Referenten, den Herren Dr.-Ing. Kammler, bzw. Dipl.-Ing. Kramer zu besonderem Dank verbunden. Die Arbeitsgemeinschaft für Brennstoffersparnis e. V., Berlin, hat viele Anträge des Verfassers wirksam befürwortet. Eine erhebliche Erleichterung bei den erforderlichen umfangreichen Bibliotheksstudien verdankt er der Verwaltung des Deutschen Museums in München, die ihm ein Forscherzimmer zur Verfügung stellte.

In besonderem Maße ist der Verfasser auch der Vereinigten Korkindustrie A. G., Berlin-Wilmersdorf, verpflichtet, die ihm die für dieses Buch erforderliche Art der Tätigkeit verständnisvoll ermöglicht hat. Ferner dem Leiter des Forschungsheims für Wärmeschutz e. V., München, Herrn Dr.-Ing. E. Raisch, für die Aussprache über eine Reihe von Problemen, sowie der Philipp Holzmann A. G., Niederlassung Berlin, und der Deutschen Heraklith A. G., Simbach a. Inn (Bayern), für die Unterstützung bei wichtigen Teiluntersuchungen. Wenn das Buch sich also zu einem so erheblichen Teil auf eigene Forschungen des Verfassers beziehen kann, so wäre dies bei seiner mannigfachen beruflichen Inanspruchnahme unmöglich gewesen, hätte er nicht in Herrn Dipl.-Ing. W. Dürhammer einen Mitarbeiter von solch persönlicher und wissenschaftlicher Eignung gefunden.

Leutstetten (Oberbayern), Juni 1935.

Dr.-Ing. habil. J. S. Cammerer.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Die physikalischen Zusammenhänge	1
1. Die Aufgaben des Wärme- und Kälteschutzes im Bauwesen . . .	1
2. Der Wärmeaustauschvorgang und die zahlenmäßige Kennzeichnung des Wärmeschutzes	1
3. Die Grundtypen der Wärmeschutzstoffe und deren hauptsächlichste Eigenschaften.	6
4. Die Feuchtigkeitserscheinungen bei Wänden	10
a) Die Ursachen des Feuchtigkeitsgehaltes von Wänden	10
b) Die Schwitzwasserbildung	11
c) Das Wandern der Feuchtigkeit mit dem Wärmestrom und die Folgerungen für Metall- und Luftschichtbauweisen	12
d) Der in Bau- und Isolierstoffen verbleibende Feuchtigkeitsgehalt	17
5. Der Wärmeschutz von festen Stoffen	22
a) Die Wärmeleitzahl von Bau- und Wärmeschutzstoffen in völlig trockenem Zustand	22
b) Die Wärmeleitzahl von Bau- und Wärmeschutzstoffen bei der praktischen Verwendung	26
6. Der Wärmeschutz von Luft	32
a) Der Wärmeschutz von Luftschichten	35
b) Der Wärmeschutz von Hohlsteinen	37
c) Der Wärmeübergangswiderstand an den Oberflächen einer Wand	41
d) Der Wärmeschutz von Dachräumen	42
7. Der Wärmeschutz von Schnee auf Dächern	43
8. Die praktische Bedeutung der Wärmespeicherefähigkeit einer Wand	45
a) Der Einfluß der Wärmespeicherung auf den Anheizvorgang . .	46
b) Die nächtliche Auskühlung von Wohnräumen.	47
c) Die Erwärmung von Wohnräumen im Sommer	50
9. Die Wärmestrahlung der Sonne auf Bauten	54
10. Der Luftaustausch durch Wände, Fenster und Türen	59
11. Die Wärmeableitung durch Fußböden.	63
12. Die experimentelle Bestimmung des Wärmeschutzes von Wänden .	65
II. Die wärmeschutztechnisch richtige Bemessung von Baukonstruktionen . .	69
13. Der Wärmeschutz der Vollziegelwand	69
14. Zahlentafeln zur Ermittlung des Wärmeschutzes beliebiger Bau- konstruktionen	71
a) Die Berechnung der gleichwertigen Vollziegelstärke	71
b) Die Berechnung der Wärmedurchgangszahl	79
15. Die Bemessung der Wandstärke	80
a) Der notwendige Mindestwärmeschutz	80
b) Die wirtschaftlichste Wand- und Isolierstärke.	83

	Seite
16. Die Temperaturverteilung in einer Baukonstruktion und deren praktische Bedeutung	91
a) Die Schwitzwasserbildung in Räumen mit hoher Luftfeuchtigkeit	92
b) Die Wärmespeicherung von Baukonstruktionen	94
c) Wärmedehnungen unter dem Einfluß der Sonnenbestrahlung. . .	96
17. Wärmebrücken	100
a) Mörtelfugen	100
b) Wärmebrücken in Wandkonstruktionen.	103
18. Der Einfluß der Grundrißgestaltung auf den Wärmebedarf eines Gebäudes	104
a) Der Einfluß der Gebäudegröße	105
b) Der Einfluß der Grundrißform	105
III. Die wichtigsten Rechenformeln	109
IV. Literatur-Zusammenstellung.	119

I. Die physikalischen Zusammenhänge.

1. Die Aufgaben des Wärme- und Kälteschutzes im Bauwesen.

Die wärmeschutztechnischen Aufgaben des Bauwesens sind:

1. Schaffung hygienischer Bedingungen für den Menschen durch:
Zuträgliche Temperaturen im Sommer und Winter,
Trockene Räume,
Vermeidung von Luftzug.
2. Wirtschaftlichkeit des Wohnbetriebes durch:
Erzielung des günstigsten Verhältnisses zwischen Baukosten und laufendem Heizbedarf,
Vermeidung von Schwitzwasser und damit von Durchfeuchtung, Korrosionen, Schimmel und Schwamm.
3. Erfüllung besonderer betriebstechnischer Forderungen im Industriebau.

Die wärmewirtschaftliche Bedeutung des Wärmeschutzes im Wohnungsbau ist aus der Tatsache zu entnehmen, daß im Jahre 1913 11% der geförderten Kohlenmenge, das sind 20 Millionen Tonnen, auf den Hausbrand entfielen. Die Wichtigkeit der hygienischen Gesichtspunkte und der Bewahrung der Baustoffe vor Zerstörung ist zahlenmäßig nicht zu erfassen, aber keinesfalls geringer.

Zur Zeit der Kohlennot nach dem Kriege wurden mit Recht jene Baustoffe bevorzugt, die einen möglichst geringen Kohlenaufwand zu ihrer Herstellung erforderten. Unter den heutigen Verhältnissen interessiert der Kohlenaufwand nur mehr in Form des Gestehungspreises. In gleicher Weise pflegte man damals wärmewirtschaftlichen Gesichtspunkten den Vorzug vor allen anderen, z. B. vor ästhetischen einzuräumen. Auch hier wird man heute oft entgegengesetzt entscheiden, doch kann dies nur dann sinnvoll geschehen, wenn man die verursachten laufenden Heizaufwendungen genau abgewogen hat.

2. Der Wärmeaustauschvorgang und die zahlenmäßige Kennzeichnung des Wärmeschutzes.

Zwischen zwei Körpern von verschiedener Temperatur findet unvermeidlich ein Wärmeaustausch statt, der mit keinem Mittel gänzlich verhindert, sondern nur in seiner Stärke beeinflußt werden kann. Aufgabe der Wärmeschutztechnik ist es, durch Schichten von entsprechenden

physikalischen Eigenschaften, die man zwischen die beiden Körper bringt, den Wärmestrom überall da möglichst herabzumindern, wo er unerwünscht ist.

Soll also ein Raum dauernd eine höhere Temperatur als die Umgebung besitzen, so muß ihm ununterbrochen die Wärmemenge zugeführt werden, die durch die Wände abfließt. Ist diese Heizung nicht vorhanden, so kühlt der Raum allmählich auf die Umgebungstemperatur aus, ist sie stärker, als der gerade vorhandenen Raumtemperatur entspricht, so wärmt sich der Raum an.

Man hat also grundsätzlich zwei Arten von Wärmeaustauschzuständen zu unterscheiden: den

„Dauerzustand der Wärmeströmung“.

und den

„nichtstationären Zustand der Wärmeströmung“.

Für fast alle Ermittlungen, die im Bauwesen interessieren, genügt es, den erstgenannten Zustand zugrunde zu legen, der leicht rechnerisch erfaßt werden kann. Anheiz- und Auskühlvorgänge können, soweit überhaupt bautechnisch eine Berücksichtigung nötig ist, nach allgemeinen Richtlinien berücksichtigt werden, ohne genauere Berechnungen, die sehr umständlich sein würden.

Das Wesen der beiden Wärmeaustauscharten ist durch die Abb. 1 und 2 erläutert, in denen die Temperaturverteilung im Querschnitt

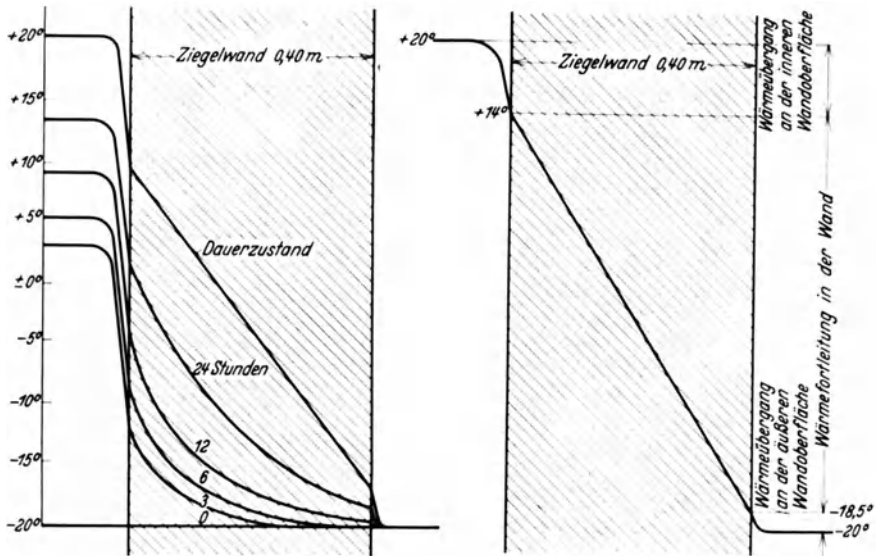


Abb. 1. Anwärmevergange bei einer 1 1/2 Stein starken Ziegelwand.

Abb. 2. Wärmeaustausch durch eine 1 1/2 Stein starke Ziegelwand im Dauerzustand der Wärmeströmung.

einer Ziegelwand dargestellt ist. Beim Anwärmevergang der Abb. 1¹ herrscht anfangs sowohl in der Wand wie in der Raumluft die Temperatur der freien Umgebung (-20° C). Bei Inbetriebnahme der Heizung erhöht sich zunächst die Raumtemperatur, der die Wandtemperaturen langsam folgen, bis schließlich jener Gleichgewichtszustand erreicht ist, in welchem vom Heizkörper an die Innenluft ebensoviel Wärme abgegeben wird, wie von dieser durch die Wand an das Freie. Die dann herrschende Temperaturverteilung des Dauerzustandes, die an allen Stellen zeitlich unveränderlich bleibt, solange die Heizung währt, ist in Abb. 2 nochmals für sich herausgezeichnet, um die drei Teilvorgänge zu kennzeichnen, aus denen der Gesamtvorgang besteht:

1. Der Wärmeübergang von der Innenluft an die Wand².
2. Die Wärmeableitung von der inneren Oberfläche der Wand bis an deren äußere Oberfläche.
3. Der Wärmeübergang von der äußeren Oberfläche an die umgebende Luft.

Die Wärmeaustauschvorgänge, an denen Luft beteiligt ist, also der Wärmeübergang an Oberflächen und der Wärmedurchgang durch Luftschichten und Hohlräume in Wänden, bestehen ihrerseits wieder aus einer dreifachen Art der Wärmeübertragung:

durch Wärmeleitung,
durch Konvektion,
durch Strahlung.

Unter Leitung versteht man die unmittelbare Weitergabe der Wärme von Teilchen zu Teilchen der Luft, die hierbei als ruhend gedacht wird. Dieser Vorgang entspricht der Wärmeleitung in festen Körpern.

Durch Konvektion können die leicht beweglichen Teilchen der Luft selber Wärme transportieren, indem sie die in ihnen aufgespeicherte Wärmemenge durch Ortsänderung mit sich führen. Diese Ortsänderung kann natürliche Konvektion sein, d. h. durch den Auftrieb der warmen leichteren Luftteilchen gegenüber benachbarten kälteren Luftteilchen hervorgerufen werden, also aus dem Wärmeaustauschvorgang selbst entstehen, oder sie kann künstlich aufgezungen sein, wie etwa bei Windanfall. Der Vorgang der Konvektion wird durch Abb. 3 sehr deutlich gemacht³.

Strahlung findet zwischen zwei Körpern verschiedener Temperatur stets statt, sobald sie durch ein strahlungsdurchlässiges Medium, wie dies Luft ist, getrennt sind. Die Wärme wird hierbei an der Oberfläche des

¹ Nach E. Schmidt: Vgl. Zitat der Fußnote auf S. 46.

² Dieser Wärmeübergang ist je nach den Temperaturen und der Luftbewegung etwas verschieden. Die Temperatur der inneren Wandoberfläche liegt deshalb etwa zwischen den beiden in Abb. 1 u. 2 verschieden eingezeichneten Werten.

³ Mit Genehmigung des Autors (Professor E. Schmidt, Danzig) aus dem Aufsatz entnommen: „Luftbewegung an warmen Körpern in streifendem Licht“ Forschg. Ing.-Wes. 1932 H. 4.

strahlenden Körpers in strahlende Energie verwandelt, durchsetzt die strahlungsdurchlässige Schicht und wird beim Auftreffen auf den zweiten, nicht durchlässigen Körper teils wieder in Wärme verwandelt, „absorbiert“ oder als Wärmestrahlung zurückgeworfen, „reflektiert“. Die durch Strahlung übertragene Wärme ist nicht nur bei glühenden Körpern von Belang, sondern auch schon bei den Temperaturen des Bauwesens.

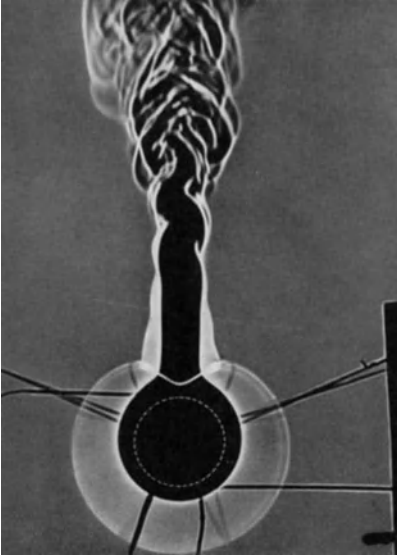


Abb. 3. Luftkonvektion an einem heißen Rohr. (Nach E. Schmidt.)

Die zur Beschreibung der einzelnen Vorgänge erforderlichen physikalischen Konstanten werden im theoretischen Teil erwähnt. Für den Praktiker genügt es im allgemeinen, die zahlenmäßige Kennzeichnung des Wärmeschutzes einer Wand zu beherrschen. Man hat dafür drei Größen aufgestellt:

die gleichwertige Vollziegelstärke,
die Wärmeleitzahl,
die Wärmedurchgangszahl.

Die gleichwertige Vollziegelstärke

ist die Angabe jener Ziegelwandstärke, die den gleichen Wärmeschutz wie die betrachtete Wandkonstruktion bietet. Sie ist die für den Praktiker anschaulichste Darstellung des Wärmeschutzes einer

Wand, weil sie auf den gebräuchlichsten Baustoff zurückgreift. Sie läßt deshalb bei Neukonstruktionen ohne weiteres erkennen, ob diese wärmeschutztechnisch ausreichend bzw. günstig sind. Es muß jedoch betont werden, daß diese Vergleichsgröße ausschließlich für den Dauerzustand der Wärmeströmung gilt, also nichts über das Verhalten einer Wand bei Anwärme- und Auskühlvorgängen aussagt. Denn für diese ist unter anderem das Gewicht der Wand wichtig, das für den Wärmeschutz im Dauerzustand gleichgültig ist. So sind beispielsweise 2 cm starke gute Korkplatten von etwa 3 kg/m^2 Gewicht 50 cm Vollziegelmauerwerk gleichwertig, die 900 kg/m^2 wiegen, wenn es sich um die Verhältnisse bei laufender Heizung handelt. Für die Kühllhaltung von Räumen im Sommer aber ist die Ziegelmauer selbstverständlich weit überlegen.

Die gleichwertige Vollziegelstärke wird in Zentimeter angegeben. Über den Absolutwert des Wärmeschutzes von Vollziegelwänden vgl. Abschnitt 13, S. 69.

Die Wärmeleitzahl

ist die maßgebende physikalische Stoffeigenschaft und daher für die Erforschung der Zusammenhänge, für genaue formelmäßige Berechnungen, für Messungen und Garantien unentbehrlich. Sie ist deshalb auch in diesem Buche den Betrachtungen über die Materialien zugrunde gelegt. Als Wärmeleitzahl wird jene Wärmemenge, gemessen in kcal¹, bezeichnet, die in der Zeiteinheit zwischen zwei gegenüberliegenden Flächen eines Würfels aus dem betreffenden Stoff mit einer Kantenlänge von 1 m ausgetauscht wird, wenn die Temperatur dieser Gegenflächen sich um 1°C unterscheidet. Dabei ist angenommen, daß die übrigen Flächen des Würfels gegen Wärmeabgabe vollkommen geschützt sind. Die Dimension der Wärmeleitzahl ist

$$\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}.$$

In Formeln wird sie stets mit dem griechischen Buchstaben λ bezeichnet.

Zahlentafel 1. Die Wärmeleitzahl von Stoffen.

Material	Wärmeleitzahl in kcal/mh °C
Metalle:	
Kupfer	330
Aluminium	175
Eisen und Stahl	35—70
40% Nickelstahl	9
Natürliche Gesteine	2,0 — 3,5
Feuerfeste Steine	0,6 — 12
Baustoffe	0,15 — 2,5
Wärmeschutzmaterialien	0,028— 0,15
Luft	0,02

Vorstehende Zahlentafel 1 zeigt die Größenordnung der Wärmeleit- zahl für die wichtigsten Stoffe.

Die Wärmedurchgangszahl

wird für heiztechnische und wirtschaftliche Berechnungen benötigt, da sie jene Wärmemenge angibt, die in der Stunde pro 1 m² Wandfläche verloren geht, wenn zwischen der Raumluft und dem Freien 1° C Temperaturunterschied herrscht. Sie schließt also nicht nur die jeweilige Wandstärke und das Wärmeschutzvermögen des Baustoffes in sich wie die gleichwertige Vollziegelstärke, sondern auch die Wärmeübergangs- verhältnisse an den Oberflächen gegenüber der Luft. Die Dimension der Wärmedurchgangszahl ist demgemäß

$$\text{kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}.$$

Abb. 4 erläutert noch einmal schematisch diese drei bedeutungsvollen Grundgrößen des Wärmeschutzes.

Indirekt ist auch noch das Raumgewicht eines Materials wärme- schutztechnisch wichtig, da für alle Bau- und Wärmeschutzstoffe (aus-

¹ Eine Kilokalorie ist bekanntlich jene Wärmemenge, die einen Liter Wasser von 14,5 auf 15,5° C erwärmt. Hierbei ist das sog. technische Maßsystem zugrunde gelegt. Das physikalische Maßsystem geht von der Grammkalorie, vom Zentimeter und der Sekunde aus. Die im physikalischen Maßsystem angegebene Wärmeleit- zahl wird durch Multiplikation mit 360 in das technische Maßsystem übergeführt.

genommen die Metalle) ein enger Zusammenhang zwischen Raumgewicht und Wärmeleitzahl besteht. Die Angabe des Raumgewichts stellt daher nicht nur eine genauere Qualitätsbezeichnung dar — die deshalb notwendig ist, weil unter einem handelsüblichen Namen z. B. Ziegel,

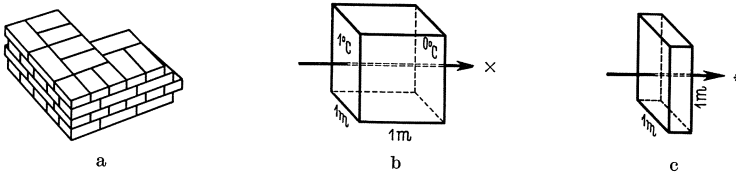


Abb. 4. Kennzeichnung des Wärmeschutzes von Wänden.

- a Gleichwertige Ziegelwandstärke. Für den Praktiker bildhafteste Darstellung.
 b Wärmeleitzahl in kcal/mh °C. Maßgebende physikalische Größe. Grundlage für Rechnung, Messung und Garantie. x Wärmemenge, die durch zwei Gegenseiten eines Würfels von 1 m Kantenlänge pro Stunde bei 1° C Temperaturdifferenz der Oberflächen geht.
 c Wärmedurchgangszahl in kcal/m²h °C. Berechnungsgröße des Heizbedarfs. * Wärmemenge, die pro 1 m² Wand pro 1 Stunde und pro 1° C Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft verloren geht.

Schlackenbeton usw. Materialien sehr verschiedener Dichte und daher sehr verschiedener Wärmeschutzfähigkeit verstanden werden können — sondern sie gestattet auch die Wärmeleitzahl eines bestimmten Materials ohne direkte Messung mit guter Genauigkeit abzuschätzen (vgl. Abschnitt 5).

3. Die Grundtypen der Wärmeschutzstoffe und deren hauptsächlichste Eigenschaften.

Es ist für den Praktiker, der nicht über Erfahrung mit den verschiedensten Wärmeschutzmitteln verfügt, nicht leicht, aus der Fülle der auf dem Markt befindlichen Materialien und den Angaben der Prospekte ein einwandfreies Bild für seine Entscheidungen zu gewinnen. Im Gegensatz zum Wärmeschutz in der Industrie fehlen hier anerkannte Güterrichtlinien. Das Studium der nachfolgenden Abschnitte ermöglicht in wärmeschutztechnischer Hinsicht ein genügend selbständiges Urteil. Zu einem Gesamtbild der Vor- und Nachteile der verschiedenen Materialarten sind jedoch auch noch die allgemeinen technologischen Eigenschaften nötig, die vorerst behandelt werden sollen, weil dann die späteren Ausführungen verständlicher werden.

Grenzt man das Gebiet der Wärmeschutzstoffe gegen das der eigentlichen Baustoffe (Ziegel, Beton, Gips, Holz usw.) durch die Wärmeleitzahl 0,15 kcal/mh °C ab, so lassen sich vier Haupttypen von Wärmeschutzmaterialien unterscheiden:

Platten aus Holzwolle, die mit einem mineralischen Überzug versehen sind, wie die Heraklithplatte mit Magnesit (völlig chlormagnesiumfrei, Abb. 5), Tekton mit Gips und Torfotekt mit Zement.

Platten aus Kork oder Torf, die den höchst gesteigerten Wärmeschutz erreichen lassen (Abb. 6 und 7).

Mattenartige Wärmeschutzmaterialien aus Pflanzenfasern, z. B. die Telamatte aus Kokosfasern oder die Arkimatte aus Seegrass (Abb. 8).

Pappeartige Verkleidungsplatten mit glatter Oberfläche wie Celotex aus Zuckerrohrfaser oder Kapag und Insulite aus Holzschliff bzw. Holzfasern.

Wie diese Aufführung zeigt, sind alle diese Wärmeschutzmaterialien des Bauwesens aus organischen Stoffen¹ hergestellt, weil nur diese eine genügende Elastizität besitzen, um bei hoher Porosität noch die erforderliche Festigkeit erreichen zu lassen. Entscheidend für die Verwendbarkeit eines organischen Rohstoffes ist sein Verhalten gegen Feuchtigkeit und Mikroorganismen. Stroh z. B. hat sich bisher nicht bewährt. Günstig dagegen ist die natürliche Struktur von Kork, dessen Zellwände sich fast lückenlos zusammenschließen, für Feuchtigkeit und Gase sehr schwer durchlässig sind und wenig Substanzen enthalten, die für Mikroorganismen verwertbar sind. Kork ist daher für viele Verwendungszwecke nicht zu ersetzen. Doch hat man immerhin schon beträchtliche Erfolge mit Ersatzmaterialien zu verzeichnen. Erwähnt sei von den neuesten Produkten die Patexplatte aus imprägniertem Zellstoff, die wie Korkplatten aus einzelnen pechummantelten Körnern zusammengesetzt ist (vgl. Abb. 9)².

Holzwoollplatten werden durch Überziehen und Verbinden der Holzwohle mit Magnesit³, Zement oder Gips hergestellt und besitzen eine verhältnismäßig hohe Festigkeit. Sie können daher in Formaten bis zu $0,5 \times 4$ m hergestellt und zur selbständigen Wandbildung verwendet werden. Das ist für die Aufstellung von Leichtwänden sehr vorteilhaft, begrenzt aber den Wärmeschutz.

Kork- und Torfplatten lassen den höchsten Wärmeschutz verwirklichen. Der dazu erforderliche Porositätsgrad läßt sie aber im allgemeinen nur als Zusatzschicht auf den eigentlich tragenden Wandbestandteil verwenden. Ihr Format ist gewöhnlich $0,25-0,5 \times 1$ m. Torfplatten werden gegen Wasseraufnahme und vielfach auch gegen Entflammbarkeit imprägniert, Korkplatten werden aus Korkschrot hergestellt, das mit Pech, einer Ton-Teeremulsion oder auch mit den eigenen Harzen, zu einem festen Gefüge gebunden wird.

¹ Materialien wie Zellenbeton, Gasbeton, Porenbeton werden zwar im Bauwesen viel verwendet, jedoch aus Festigkeitsgründen hauptsächlich mit Raumgewichten über 800 kg/m^3 geliefert, sind also zu den Leichtbaustoffen zu zählen.

² Die Abbildungen wurden dankenswerterweise von folgenden Firmen zur Verfügung gestellt: Abb. 5 von der Deutschen Heraklith A. G., Simbach/Inn (Bayern), Abb. 6 und 9 von der Vereinigten Kork-Industrie A. G., Berlin-Wilmersdorf, Abb. 7 von den Torfoleum-Werken Eduard Dyckerhoff, Poggenhagen (Hannover), Abb. 8 von der Emil Zorn A. G., Berlin-Heinersdorf.

³ Magnesit ist wie Zement ein anderen Baustoffen gegenüber völlig neutrales Material.

Bei den Wärmeschutzmatten wird die Füllung aus Kokosfasern oder Seegras durch eine Steppung verbunden und durch eine beiderseitige

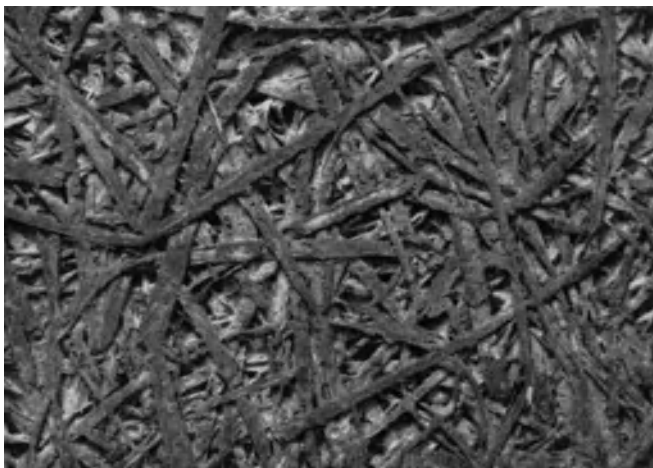


Abb. 5. Ansicht einer Heraklithplatte (1 : 1).

Schicht aus Asphaltpapier u. dgl. möglichst vor Feuchtigkeitseinflüssen geschützt. Die Breite der Matten ist etwa 1 m, die Länge bis 26 m.

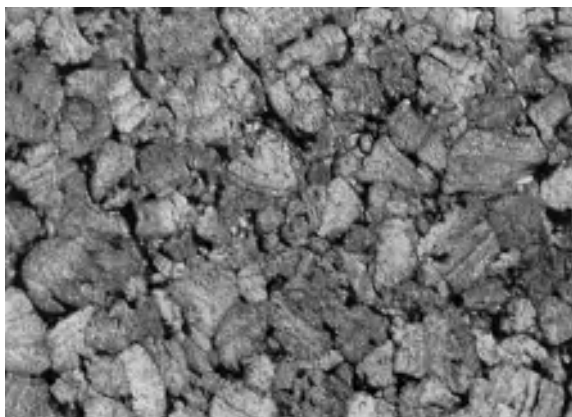


Abb. 6. Oberfläche einer pechgebundenen Korkplatte (1 : 1).

Sie können nur zwischen festen Begrenzungsschichten verwendet werden, sind aber in der Anbringung bequem. Dort, wo sie nicht völlig frei von einer Druckbeanspruchung gehalten werden können,

ist die Stärkeverminderung und die Abnahme des Luftgehaltes zu berücksichtigen¹.

Während die vorgenannten drei Materialtypen einen Verputz oder eine sonstige Oberflächenabdeckung erhalten müssen², ist dies bei den wärmeschützenden Verkleidungsplatten, wie Celotex, Insulite, Kapag, Enso usw. nicht der Fall. Sie können unmittelbar gestrichen oder tapeziert werden oder auch unbearbeitet bleiben. Die Plattengröße beträgt etwa zwischen $0,5 \times 2$ bis $1,5 \times 4$ m. Mit Rücksicht auf den Preis werden sie meist nur 6—13 mm stark gewählt, so daß sie dann nicht den gesamten Wärmeschutz einer Wand übernehmen können.

Neben der Wärmeschutzwirkung, der Festigkeit, der Feuchtigkeitsbeständigkeit, den montage-technischen und konstruktiven Eigenschaften ist für die Auswahl natürlich auch der Preis maßgebend. Über das Verhalten gegen Feuchtigkeit vgl. S. 21.

¹ Bei einer Arkimatte von $66 \text{ kg/m}^3 = 22 \text{ mm}$ Dicke betrug die Wärmeleitzahl bei 0°C 0,034. Durch Zusammenpressung auf 16 mm = 91 kg/m^3 stieg zwar die Wärmeleitzahl nur auf 0,038, also um 12%, der Wärmeschutz nimmt aber unter Berücksichtigung der Stärkeverminderung von 49 cm gleichwertige Ziegelstärke auf 32 cm ab, also um 35%. (Watzinger, A. u. Einar E. Kindem: Om Bygningsmaterialers Varmsisolering. Trondheim Kommissionsverlag F. Bruns. 1935.)

² Doch gibt es auch Wärmeschutzplatten, die wie Torfoleum „P“ durch eine Pappauflage eine Oberflächenbehandlung wie die Verkleidungsplatten erfahren können.



Abb. 7. Schnitt durch eine Torfoleum-Leichtplatte (1 : 1).

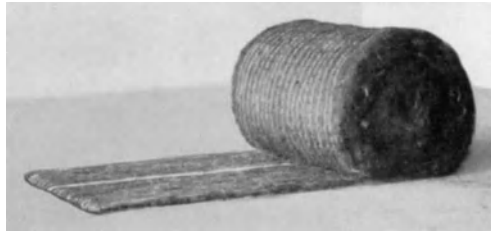


Abb. 8. Telamatte.



Abb. 9. Ansicht einer Patexplatte (1 : 1).

4. Die Feuchtigkeitserscheinungen bei Wänden.

a) Die Ursachen des Feuchtigkeitsgehaltes von Wänden.

Alle Wände enthalten auch im „ausgetrockneten Zustand“ dauernd erhebliche Feuchtigkeitsmengen, die nicht nur zur Vermeidung von Zerstörungerscheinungen berücksichtigt werden müssen, sondern die auch die Wärmeschutzwirkung der Baustoffe stark herabsetzen. Für die richtige Konstruktion von Gebäudewänden sind daher die nachstehend beschriebenen Feuchtigkeitserscheinungen von größter Bedeutung.

Die in Wänden dauernd verbleibende Feuchtigkeit kann fünf Ursachen haben:

- Hygroskopische Feuchtigkeitsaufnahme aus der Luft,
- Schlagregen auf die äußere Oberfläche,
- Baufeuchtigkeit,
- Aufsteigende Bodenfeuchtigkeit,
- Schwitzwasserbildung auf der inneren Oberfläche.

Der hygroskopische Feuchtigkeitsgehalt stellt die Mindestfeuchtigkeit dar, die ein Baustoff besitzt und ist von der relativen Feuchtigkeit der umgebenden Luft abhängig. Er beträgt bei Beton, Leichtbeton, Gips usw. etwa 3 Vol.-%, bei Ziegel etwa 0,2 Vol.-%¹.

Das Eindringen von Schlagregen in eine Mauer hängt weitgehend von der Porosität der Oberfläche, meist also von der Art des Verputzes ab. Völlig regendichte Oberflächen, zu denen vor allem Bleche zu rechnen sind, sind aber keineswegs vorteilhaft, da sie leicht Schäden durch die Einwirkung der übrigen Feuchtigkeitsarten verursachen, denen sie keine Austrocknungsmöglichkeit geben. Der ideale Witterungsschutz besteht in einer Abdeckung der Wände mit Dachziegeln, Schindeln, Schiefer u. dgl., d. h. mit regendichten Schichten, die durch Luftzwischenräume eine Verdunstungsmöglichkeit der Wand offen halten.

Die bei der Herstellung in die Wände getragene Baufeuchtigkeit ist nach allgemeiner Ansicht im wesentlichen nach einem Jahr ausgetrocknet. Trotzdem kann sie bei Wänden größerer Stärke vermutlich noch auf längere Zeit eine gewisse Rolle spielen, doch fehlen hierüber einwandfreie Beobachtungen.

Die aufsteigende Bodenfeuchtigkeit kommt bei neueren Bauten nicht mehr in Betracht, da es eine Selbstverständlichkeit ist, sie durch eingelegte Feuchtigkeitsdichtungen über den Fundamenten abzuhalten.

¹ Verlässige Untersuchungen hierüber existieren nicht. Die meisten Angaben beruhen nur auf Messungen während Tagen oder Wochen. Der Verfasser hat aber beobachtet, daß eine Lehmprobe in feuchtigkeitsgesättigter Luft noch nach 8 Monaten den Endzustand nicht erreicht hatte, obwohl die aufgenommene Feuchtigkeit bereits über 8 Vol.-% betrug.

Von größter Bedeutung für das Bauwesen ist dagegen die Schwitzwasserbildung, die deshalb in den folgenden Abschnitten eingehend besprochen werden muß.

b) Die Schwitzwasserbildung.

Luft besitzt stets einen gewissen Feuchtigkeitsgehalt, der sehr verschieden sein, jedoch einen bestimmten Höchstwert nie überschreiten kann. Dieser Sättigungswert ist um so größer, je höher die Temperatur ist. Man nennt ihn die „absolute Feuchtigkeit“ der Luft.

Der tatsächlich vorhandene Feuchtigkeitsgehalt, ausgedrückt in Prozent des höchstmöglichen Wertes wird als „relative Feuchtigkeit“ der Luft bezeichnet. Kühlt man ungesättigte Luft ab, so nimmt die relative Feuchtigkeit zu, weil bei tieferen Temperaturen der absolute Feuchtigkeitsgehalt geringer ist, die vorhandene Feuchtigkeitsmenge also einen höheren Prozentsatz des möglichen Höchstbetrages darstellt. Wird schließlich die Abkühlung soweit getrieben, daß die ursprüngliche Feuchtigkeit die für die betreffende Temperatur geltende absolute Feuchtigkeit übersteigt, so fällt Feuchtigkeit in Form feiner Tröpfchen aus. Man spricht von Schwitzwasser- oder Taubildung.

Zahlentafel 2. Feuchtigkeitsgehalt und Taupunkt der Luft.

Lufttemperatur in °C	Maximale Feuchtigkeits- menge pro 1 m ³ Luft in g/m ³	Zulässige Abkühlung der Luft in °C bis zur Taubildung bei einer relativen Luftfeuchtigkeit in %						
		30	40	50	60	70	80	90
—20	0,90	—	—	—	—	—	—	—
—15	1,41	—	—	—	5,6	4,0	2,5	1,2
—10	2,17	—	—	8,0	5,9	4,2	2,6	1,3
— 5	3,27	14,1	10,8	8,2	6,2	4,4	2,7	1,3
± 0	4,84	14,7	11,3	8,7	6,5	4,6	2,9	1,4
2	5,56	15,0	11,7	9,0	6,8	4,8	3,0	1,5
4	6,36	15,3	12,1	9,3	7,1	5,1	3,2	1,5
6	7,26	15,7	12,5	9,7	7,3	5,3	3,3	1,6
8	8,27	16,0	12,9	10,1	7,6	5,4	3,4	1,6
10	9,40	16,4	13,3	10,4	7,8	5,5	3,5	1,7
12	10,66	16,8	13,6	10,7	8,0	5,6	3,5	1,7
14	12,06	17,1	13,9	10,9	8,1	5,7	3,6	1,8
16	13,63	17,5	14,2	11,1	8,3	5,8	3,7	1,8
18	15,36	17,9	14,5	11,3	8,4	5,9	3,7	1,9
20	17,29	18,3	14,7	11,5	8,5	6,0	3,8	1,9
25	23,1	19,2	15,3	11,9	8,8	6,2	3,9	1,9
30	30,4	20,1	15,9	12,3	9,1	6,5	4,1	2,0
35	39,4	21,0	16,5	12,7	9,6	6,8	4,2	2,0
40	50,7	21,9	17,2	13,2	9,9	7,0	4,4	2,1
45	64,5	22,9	17,8	13,6	10,2	7,3	4,6	2,1
50	82,3	23,8	18,4	14,0	10,5	7,5	4,7	2,2

Zahlentafel 2 gibt den möglichen Höchstwert der Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur sowie die zulässige Abkühlung bis

zur Taubildung, die um so größer sein darf, je geringer die relative Luftfeuchtigkeit ist.

Beispiel: Luft von 20° C, deren absolute Feuchtigkeit 17,29 g/m³ beträgt, enthält bei einer relativen Feuchtigkeit von 70% $0,70 \times 17,29 = 12,1$ g/m³ Wasser. Dieser Feuchtigkeitsbetrag ist der Höchstbetrag für die Temperatur von 14° C. Sind also in einem Raum die Oberflächen der Fenster oder der Wände kälter als 14° C, so muß die sie berührende Luft Feuchtigkeit an ihnen ausscheiden.

Die Schäden derartiger Niederschläge für die Gesundheit der Bewohner und den Bestand des Bauwerks sind bekannt. Der Wärmeschutz einer Wand muß daher so groß sein, daß die innere Oberflächentemperatur auch bei großer Kälte über dem Taupunkt der Raumluft liegt¹. Doch genügt es, wenn dies für die durchschnittliche Luftfeuchtigkeit von bewohnten Räumen zutrifft. In Küchen und Bädern kann die Luftfeuchtigkeit zeitweise so groß sein, daß dort ein Niederschlag unvermeidlich ist. Eine Bemessung der Wand für normale Verhältnisse bewirkt jedoch, daß dann auch die Wände in den genannten Räumen eine genügende Gelegenheit zur Wiederaustrocknung besitzen. Das gleiche gilt von dem Niederschlag nachts bei Stilllegung der Heizung, der ebenfalls nicht vermieden werden kann. Einzelheiten hierüber vgl. Abschnitt 8b, S. 47 und Abschnitt 15a, S. 80. Abweichend davon müssen die Verhältnisse behandelt werden, die in gewerblichen und industriellen Räumen auftreten und die in Abschnitt 16a, S. 92 behandelt sind.

Selbstverständlich müssen alle Teile einer Wand den zur Vermeidung von Schwitzwasser notwendigen Mindestwärmeschutz aufweisen. Es genügt also nicht, wenn etwa bei einem Skelettbau die Ausfachung einen besonders hohen Wärmeschutz aufweist, während das Gerippe Kältebrücken darstellt (vgl. Abb. 59, und Abschnitt 17b, S. 103).

c) Das Wandern der Feuchtigkeit mit dem Wärmestrom und die Folgerungen für Metall- und Luftschichtbauweisen.

Eine in der Praxis wenig bekannte, aber oft folgenschwere Erscheinung ist das Wandern der Feuchtigkeit in Baustoffen mit dem Wärmestrom. Die physikalische Ursache dieser Erscheinung ist aus dem Vorgang der Schwitzwasserbildung leicht abzuleiten.

In den Poren eines Materials, die von Wandungen mit einem gewissen Feuchtigkeitsgehalt umgeben sind, kann sich bei Vorhandensein eines

¹ Die Oberflächentemperatur hängt auch von der Luftbewegung im Raum ab, da bewegte Luft die Wärme besser an die Wand überträgt als ruhende. Man verhindert deshalb an Schaufenstern Schwitzwasserniederschlag dadurch, daß man die Raumluft von einem Ventilator an die Scheibe blasen läßt. Umgekehrt tritt Schwitzwasserbildung am ehesten hinter Möbeln und in den Raumecken auf, weil dort die Luft stagniert und an sich schon kühler als in der Mitte einer freien Wandoberfläche ist. Gleichzeitig ist an diesen Stellen die Möglichkeit einer Wiederaustrocknung am schlechtesten, so daß sich hier besonders leicht Schimmel bildet.

Wärmestroms nie eine völlige Sättigung der Luft ausbilden, wie dies in einem gleichmäßig temperierten Baustoff der Fall ist. Denn noch bevor die Luftfeuchtigkeit den der Temperatur auf der wärmeren Seite der Pore entsprechenden Höchstbetrag erreicht, überschreitet sie den Sättigungswert für die kältere Seite, so daß dort Wasser ausfällt. Die Porenluft nimmt also eine mittlere relative Feuchtigkeit an, für die sich die Wasserverdunstung an der wärmeren und der Niederschlag an der kälteren Seite die Waage halten. Dieser Vorgang pflanzt sich im Sinne des Wärmestroms von Pore zu Pore fort, indem die in einer Pore ausfallende Feuchtigkeitsmenge von der Porenwandung aufgenommen wird, in der nächstfolgenden Pore auf der wärmeren Seite wieder verdunstet, auf der kälteren niedergeschlagen wird usw.

Diese Feuchtigkeitswanderung wirkt sich verschieden aus, je nachdem, ob die kalte Oberfläche der Wand verdunstungsfähig oder abgedichtet ist, wie letzteres bei Stahllamellenbauweisen oder Kühl-

räumen mit Fliesenbelag der Fall ist. Abb. 10 und 11 gibt davon ein sinnfälliges Bild durch Darstellungen von Untersuchungen an Gipsplatten mit diesen beiden Oberflächenarten¹. Die Platten wurden zu Beginn der Versuche mit einer gleichmäßig verteilten Feuchtigkeit von etwa 15 Vol.-% versehen und dann einem Temperaturgefälle von etwa 0,6 bis 1° C auf den Zentimeter Wandstärke ausgesetzt.

In Abb. 10 und 11 sind² nun zeitliche Strömungslinien der Feuchtigkeit über den Wandquerschnitt eingezeichnet und zwar derart, daß

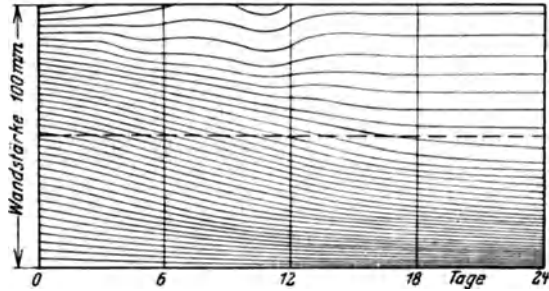


Abb. 10. Dichte Oberfläche.

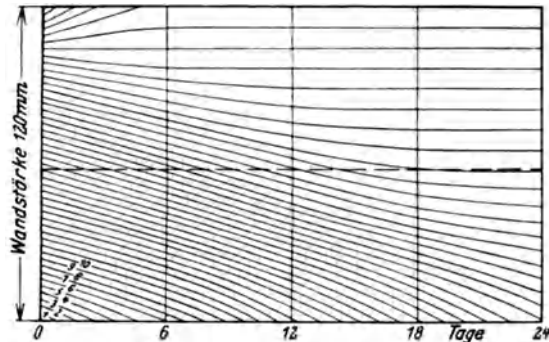


Abb. 11. Verdunstungsfähige kalte Oberfläche.

Abb. 10 u. 11. Feuchtigkeitswanderung mit dem Wärmestrom bei Gips.

¹ Cammerer, J. S.: Die Feuchtigkeitswanderung infolge eines Temperaturgefälles in Baukonstruktionsteilen. Forsch. Ing.-Wes. 1932 S. 175.

² Nach einer Anregung von H. Krause.

sich zwischen zwei benachbarten Linien jeweils 400 g/m^2 Feuchtigkeit befinden. Am Beginn der Versuche, also zur Zeit 0, haben alle diese Linien gleiche Abstände. Im Laufe der Tage verschieben sie sich bis auf einige wenige, welche die Verdunstung auf der warmen Oberfläche darstellen, nach der kalten Seite zu. Dort staut sich im Falle der abgedichteten Oberfläche die Feuchtigkeit bis zur Porensättigung an, während sie an der freien Oberfläche verdunstet. Wenn in Abb. 11 die Linie 6 nach 6 Tagen die kalte Oberfläche erreicht, so bedeutet dies, daß die ganze zwischen ihr und der Oberfläche ursprünglich vorhandene Feuchtigkeit, also $6 \times 400 = 2400 \text{ g/m}^2$, in dieser Zeit verdunstet ist. Zieht man in beiden Abbildungen die Mittellinie, so erkennt man, daß in beiden Fällen durch die Plattenmitte in 24 Tagen 11 Teilmengen, also 4400 g gewandert sind. Die größte Feuchtigkeitsverschiebung durch einen Querschnitt beträgt bei dem angegebenen Temperaturgefälle etwa $240\text{—}300 \text{ g/m}^2$ je Tag, solange noch „freie“ Feuchtigkeit auf der wärmeren Seite des Querschnitts vorhanden ist, also mehr als dem hygroskopischen Betrag entspricht und der Wanderung auch keine allzu starke Stauung auf der kälteren Seite entgegenwirkt. In den ausgetrockneten Partien verbleibt schließlich nur mehr die hygroskopische Feuchtigkeit, die $5\text{—}6 \text{ Vol.-%}$ beträgt. Nachdem also auf der warmen Oberfläche nur sehr wenig Feuchtigkeit verdunstet, so bedeutet das praktisch, daß die Austrocknung von Wänden durch Heizung des Raumes nur dann möglich ist, wenn die Erwärmung solange fortgesetzt wird, daß die Feuchtigkeit bis an die äußere Oberfläche getrieben wird.

In Wirklichkeit kommen Außenwände im allgemeinen nicht auf ihren hygroskopischen Feuchtigkeitsgehalt, weil das Temperaturgefälle im Sommer und Winter seine Richtung wechselt und immer neue Feuchtigkeit von außen durch Schlagregen, von innen durch Schwitzwasserbildung hinzutritt.

Aus dem Gesagten folgt, daß bei Bauweisen mit metallischen Außenflächen folgende konstruktive Gesichtspunkte eingehalten werden müssen, wenn eine Anstauung der Feuchtigkeit unter der Blechhaut vermieden werden soll.

1. Entlüftete Luftschicht unter der äußeren Metallhaut zur Schaffung einer Verdunstungsfähigkeit für die inneren Wandteile.
2. Verwendung von Bau- und Isolierstoffen ohne Montagefeuchtigkeit und mit geringer Hygroskopizität (z. B. von Korkplatten).
3. Schaffung eines überreichlichen Wärmeschutzes der Wand zur möglichsten Herabsetzung zeitweise unvermeidlicher Schwitzwasserbildung (bei Auskühlung während der Nacht bzw. in Küchen und Bädern).
4. Verwendung einer genügend porösen Innenverkleidung zur Aufnahme kurzzeitiger Schwitzwasserniederschläge.

Die meisten der Stahlhautbauweisen, die man versucht hat, verstoßen gegen mehrere dieser Forderungen, so daß die entstandenen Fehlschläge wohl erklärlich sind. Natürlich trägt die ventilerte Luftschicht unter der Stahlhaut nichts mehr zum Wärmeschutz bei, da sie ja bei Windanfall ausgeblasen wird. Doch kann man unschwer darauf verzichten und gewinnt dafür eine nützliche Kühlwirkung im Sommer.

Die Erscheinung des Wanderns der Feuchtigkeit mit dem Wärmestrom ist auch für die Frage der Bewährung von Luftschichten im Mauerwerk maßgebend. Man hat geglaubt, durch entsprechende Bemessung der Begrenzungswände eine Temperaturverteilung in der Wand erzielen zu können, bei der Schwitzwasserniederschlag in der Luftschicht unmöglich sein würde. Wie aber in Wirklichkeit die Verhältnisse liegen, geht aus Zahlentafel 3 hervor, welche Luftfeuchtigkeitsmessungen in einem Zwischenraum zwischen der Zimmerdecke und der Dachhaut eines Flachdaches wieder gibt. Bei ungeheizten Zimmern ist die Luft in der Zwischenschicht nahezu völlig gesättigt,

Zahlentafel 3. Luftfeuchtigkeit in einer Luftschicht.

Datum des Versuchs	Temperatur in der Luftschicht in °C	Mittlere relative Luftfeuchtigkeit in %	Zustand des darunter liegenden Zimmers
2. 3.— 4. 3.	etwa + 3	etwa 92	ungeheizt
6. 3.— 9. 3.	„ + 4	„ 73	geheizt
13. 3.—16. 3.	„ + 5	„ 92	ungeheizt
30. 3.—31. 3.	„ +12	„ 75	geheizt
6. 4.—12. 4.	„ + 7,5	„ 87	ungeheizt

weil sie eben allseitig von Materialien mit einem gewissen Feuchtigkeitsgehalt umgeben ist. Sobald jedoch durch Heizung ein Temperaturgefälle in der Luftschicht entsteht, sinkt die Feuchtigkeit auf etwa 75%¹, weil nunmehr an der kälteren Begrenzungsfläche dauernd das Wasser niedergeschlagen wird, das die wärmere verdunstet. Dieser Feuchtigkeitsniederschlag ist also bei Luftschichten zwischen normalen Baustoffen unvermeidlich und es kann sich nur darum handeln, ihn gering bzw. unschädlich zu halten.

Da im Winter oft lange Zeit hindurch die Außenfläche der Wand gefroren ist, also keine Feuchtigkeit verdunsten kann, so ist es zweckmäßig, wenn die äußere Begrenzungsschicht genügend porös ist und eine ausreichende Stärke hat, um die hinzuwandernde Feuchtigkeit wenigstens bis zu einem gewissen Grade speichern zu können. Diese Notwendigkeit hat sich in dem strengen Winter 1928/29 gezeigt, wo sich an einer Ziegelwand aus zweimal $\frac{1}{2}$ Stein mit Luftschicht, die sonst keinen Grund zur Beanstandung gab, die Luftschicht allmählich mit Eis zusetzte, so daß Feuchtigkeitsflecken auf der inneren Wandfläche

¹ Die Einstellung eines Gleichgewichtszustandes von unbeheiztem Zimmer auf beheiztes Zimmer dauerte etwa 2 Tage, in der umgekehrten Reihenfolge etwa 3—4 Tage. Näheres vgl. J. S. Cammerer: Heizungs- und wärmeschutztechnische Untersuchungen an Siedlungsbauweisen. Gesundh.-Ing. 1932 S. 559.

die Folge waren. Zusammenfassend lassen sich folgende Gesichtspunkte für die Konstruktion von Luftschichtwänden ableiten.

1. Die Luftschicht soll beiderseits von porösen Baustoffen begrenzt werden (bezüglich der Notwendigkeit von Ventilationsöffnungen in Blechabdeckungen vgl. oben, über Holzbauweisen die folgenden Ziffern 5 und 6).

2. Beide Begrenzungsflächen sollen unter normalen Winterverhältnissen (mittlere Tagestemperatur etwa -10° C) über oder unter 0° C aufweisen. Im ersten Fall muß die äußere Begrenzungsschicht, die Gefrierzone abgerechnet, noch eine speicherfähige Schicht für den Wasserniederschlag besitzen (vgl. z. B. Abb. 37 und 38, S. 75 und 76).

3. Der Anteil der Luftschicht am Gesamtwert des Wärmeschutzes soll sich auf etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ beschränken.

4. In Luftschichten sollen nur feuchtigkeitsbeständige Materialien (z. B. Zementmörtel statt Kalkmörtel) verwendet werden. Eisenträger sollten Luftschichten im Mauerwerk nicht durchsetzen.

5. Holzbegrenzte Luftschichten mit äußerem feuchtigkeitsdichtem Abschluß (etwa bei Flachdächern) müssen ventiliert sein¹.

6. Jede Verbindung der Luftschicht mit der warmen Innenluft durch Risse, Fugen u. dgl. muß sorgfältig vermieden werden, um erhöhten Schwitzwasserniederschlag zu vermeiden. Bei Holzwänden daher beiderseits Pappeinlagen.

7. Horizontale Unterteilungen senkrechter Luftschichten etwa in Stockwerkshöhe sind als Sicherheitsmaßnahme gegen Ausblasen bei Rissebildung zweckmäßig².

8. Die Unterteilung von Luftschichten darf selbstverständlich keine Kältebrücken darstellen, die zu örtlicher Schwitzwasserbildung an der Innenfläche der Wand führen könnte.

Von mancher Seite wird gefordert, Luftschichten stets mit losen Füllstoffen auszufüllen, da auf diese Weise Rissebildungen im Mauerwerk unschädlich gemacht³ und gleichzeitig auch die Wärmeschutzwirkung

¹ W. Matschinsky errechnet bei entlüfteten Hohlschichten in Holzdächern eine Erhöhung der Wärmedurchgangszahl bei kleinen Ventilationsöffnungen um 14 %, bei voller seitlicher Öffnung um 25 %. Messungen liegen aber nicht vor. *Gesundh.-Ing.* 1933 S. 361.

² Nach neueren Untersuchungen von Mull und Reiher vermindern derartige Unterteilungen jedoch nicht die Luftkonvektion, wie sich vermuten ließe (näheres vgl. Abschnitt 6, S. 32).

³ In Wirklichkeit läßt sich aber Rissebildung bei handwerksgerecht ausgeführtem Mauerwerk ohne weiteres verlässlich vermeiden im Gegensatz zu diesbezüglichen Ansichten vieler Aufsätze. Im Auftrage der Reichsforschungsgesellschaft für Wirtschaftlichkeit im Bau- und Wohnungswesen, Berlin hat Bangert-Berlin in ganz Deutschland Wohnungen besichtigt, die vor etwa 10 Jahren in den verschiedensten Hohlbauweisen ausgeführt waren. Erhebliche Bauschäden haben sich nirgends gezeigt. Die Ersparnisse an der Gesamtbausumme gegenüber 38 cm verputzter Vollziegelwand betragen allerdings nur 2—3 %.

verbessert würde. Richtig angewandte Luftschichten sind aber eine einfache, billige und nützliche Verbesserung der Wärmeschutzwirkung einer Wand und gestatten Materialersparnisse. Geeignete lose Füllstoffe stehen auch zu genügend billigen Preisen durchaus nicht an allen Orten zur Verfügung. Kesselschlacke kann z. B. unangenehme Gerüche ausstrahlen oder Ausblühungen hervorbringen. Organische Füllstoffe wie Torfmüll, Hobelspäne, Stroh, sollten mit Rücksicht auf ihre Hygrokopizität bzw. Vermoderungsgefahr in den Außenwänden normaler Bauten niemals Verwendung finden. Im allgemeinen ist es daher richtiger, an Stelle von Füllstoffen, deren Einbringung auch oft Schwierigkeiten macht, Leichtbau- oder Wärmeschutzplatten zu verwenden, wenn man von Luftschichten absehen will.

In der Kältetechnik, also bei Kühlhäusern, Kühlräumen usw. sollen Luftschichten allerdings grundsätzlich vermieden werden, da die hier in Frage kommenden Temperaturen leicht zu starker Durchfeuchtung führen und die ohnehin vorhandenen Kälteschutzplatten schon durch 1 cm Verstärkung die Wirkung einer Luftschicht mehr wie ersetzen.

d) Der in Bau- und Isolierstoffen verbleibende Feuchtigkeitsgehalt.

Man pflegt die Vorstellung zu haben, daß die Wände eines Hauses nach einer gewissen Austrocknungszeit nur mehr eine sehr geringe Feuchtigkeit besitzen, „lufttrocken“ seien. In Wirklichkeit ist aber in vielen Fällen der dauernd verbleibende Feuchtigkeitsgehalt überraschend hoch und von großem Einfluß auf die Wärmeschutzwirkung.

Der Feuchtigkeitsgehalt von Mauern hängt von folgenden Größen ab:

Baustoffart,	Wandstärke,
Wandkonstruktion,	Stockwerk,
Art der Raumbenutzung,	Baualter.
Himmelsrichtung,	

Der Einfluß der zuletzt genannten drei Größen tritt praktisch wenig in Erscheinung unter der selbstverständlichen Voraussetzung eines Mindestbaualters von einem Jahr und unter Vermeidung von Grundfeuchtigkeit.

Hinsichtlich der Himmelsrichtung beobachtete der Verfasser bei Bimsbeton für Südwände eine um etwa 2 Vol.-%, für Ostwände um 1 Vol.-% niedrigere Feuchtigkeit als bei Nord- und Westwänden. Der Unterschied ist also angesichts des hohen normalen Feuchtigkeitsgehaltes von Bimsbeton (etwa 13 Vol.-%, vgl. unten Zahlentafel 4) nicht groß.

Von entscheidendem Einfluß dagegen ist die Raumbenutzung, d. h. ob das Zimmer beheizt oder unbeheizt ist und ob es sich um Räume mit zeitweiser hoher Luftfeuchtigkeit handelt, wie bei Küchen oder Bädern u. dgl.

Über die Auswirkung der Wandkonstruktion ist nur bekannt, daß Mauern aus Hohlsteinen oder mit Luftschichten eine Feuchtigkeit aufweisen, die an der unteren Grenze liegt, die für den betreffenden Baustoff in Frage kommt (vgl. unten Zahlentafel 4).

Trotz dieser verwickelten Verhältnisse lassen sich für die verschiedenen Materialien wenigstens kennzeichnende Werte des Feuchtigkeitsgehaltes zusammenstellen, wie dies in Zahlentafel 4 geschehen ist. Es ergeben sich vier deutlich voneinander unterschiedene Gruppen:

Ziegel und Kalksandsteine (hohl, porös und massiv),
Gips und Betone jeder Art und Form,
Lehm,
Bimsbeton.

Am niedrigsten ist der Feuchtigkeitsgehalt von Ziegeln, während Bimsbeton infolge der starken Saugkraft seiner Körner durchschnittlich sehr hohe Werte annimmt. Natürlich ist damit nicht gesagt, daß nicht auch Ziegelwände aus schlechtem Material, mit unverputzter Außenfläche und unzumutbarer Verfugung sehr feucht sein können (beobachteter Höchstwert 17 Vol.-%). Umgekehrt wird die Brauchbarkeit von Bimsbeton durch vorstehende Feststellung keineswegs beeinträchtigt. Nach Angaben der Praxis gelangen Räume mit Bimsbetonwänden sogar schneller in einen wohnlichen Zustand als etwa solche mit Schlackenbetonwänden, weil eben weniger von der vorhandenen Baufeuchtigkeit an die Wohnräume abgegeben wird. Man hat aber bei der Festlegung des praktischen Wärmeschutzwertes von Bimsbeton den durchschnittlich höheren Feuchtigkeitsgehalt zu berücksichtigen¹.

Zahlentafel 4. Feuchtigkeitsgehalt von Baustoffen in Vol.-%.
(Nach J. S. Cammerer.)

Materialgruppe	Gesamtzahl der beobachteten Fälle	Beobachtetes Feuchtigkeitsgebiet Vol.-%	Normaler Feuchtigkeitsbereich Vol.-%	Häufigster Wert Vol.-%
Ziegel- und Kalksandsteine beliebiger Konstruktion ²	22	0,2— 3,0	0,2—1,0	0,5
Beton jeder Art und Porosität, Gips	21	3,0—17,0	4—10	7
Bimsbeton	19	3,4—24,0	5—17	13
Lehm	17	4,2—14,5	4—10	7

¹ Gegenüber dieser Feststellung, die auf Versuchen von O. Knoblauch, H. Reiher, H. Knoblauch, München, G. Hofbauer, Wien und vielen Messungen des Verfassers aufgebaut sind, finden sich von interessierter Seite sehr niedrige Zahlen angegeben, die unter besonders günstigen Umständen (Wohnungszwischenwände, Schwemmsteine hinter Klinkern, trockengelagerte Einzelsteine usw.) gemessen wurden (z. B. H. Hart: Der Feuchtigkeitsgehalt und Wärmeschutz des Mauerwerks aus Bimsbaustoffen. Baumarkt 1934 H. 52). Diese Zahlen sind in diesem Zusammenhang nicht verwertbar.

² Die Werte gelten für die Steine allein. Für Mauerwerk etwa 20% Zuschlag, da Mörtel und Verputz feuchter als die Steine sind.

Zahlentafel 4 sei noch durch Abb. 12 verdeutlicht, in der die sämtlichen in der deutschen Literatur bekannt gewordenen Meßwerte in sog. „Häufigkeitskurven“ für die vier Baustoffgruppen aufgetragen sind, d. h. es ist für bestimmte, gleichmäßig gestaffelte Feuchtigkeitsbereiche (bei Ziegel für „Intervalle“ von 0,6 Vol.-%, bei den übrigen Baustoffen von 6 Vol.-%) angegeben, wieviel Prozent der Gesamtversuche in diese Bereiche fallen. Wenn also z. B. für Bimsbeton eine Häufigkeit von 15% für eine Feuchtigkeit von 20 Vol.-% zu entnehmen ist, so bedeutet dies, daß man mit dieser Wahrscheinlichkeit von 15% einen Feuchtigkeitsgehalt von 17—23 Vol.-% erwarten kann. Auch aus dieser Abbildung geht der besondere Charakter von Bimsbeton hervor, für den sehr verschiedene Feuchtigkeitsgehalte mit beinahe gleicher Wahrscheinlichkeit auftreten können.

Wie wertvoll Zahlentafel 4 bzw. Abb. 12 für die Ermittlung des charakteristischen Wärmeschutzwertes bestimmter Wandkonstruktionen ist, zeigt folgender Fall aus der Meßpraxis¹. In zwei Versuchen des Laboratoriums für technische Physik an der

Technischen Hochschule München war gefunden worden, daß der Wärmeschutzwert eines Bimsbetons 3,5mal so groß war wie der einer Vollziegelwand. Rechnet man mit den wahrscheinlichsten Feuchtigkeitswerten der Zahlentafel 4, so ist im Durchschnitt nur die 1,6fache Wirkung zu erwarten. Es wurden deshalb 7 Monate nach Abschluß der Versuche an gleichgelegenen Häusern derselben Siedlung nochmals Proben entnommen und die jetzt gefundene Feuchtigkeit ließ für den Bimsbeton nur mehr die 1,9fache Wirkung errechnen. Dieses Ergebnis kommt also den Normalwerten wesentlich näher und zeigt die Notwendigkeit der ständigen Heranziehung der angegebenen statistischen Werte auch bei unmittelbaren Messungen.

Bei organischen Stoffen läßt sich der durchschnittliche Feuchtigkeitsgehalt der Praxis genauer bestimmen als bei anorganischen. So haben Cammerer und Dürhammer² an Korkisolierungen in Groß-

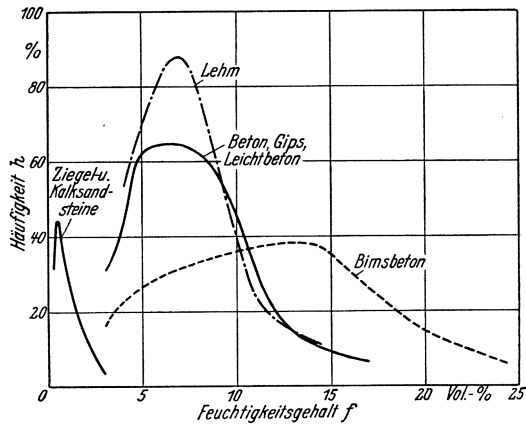


Abb. 12. Die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Feuchtigkeitsgehaltes bei verschiedenen Baustoffen.

¹ Vgl. J. S. Cammerer und A. Hesse: Die grundsätzliche Beurteilung des Wärmeschutzwertes bestimmter Baumaterialien. Die Wohnung 1932 S. 39.

² Cammerer, J. S. u. W. Dürhammer: Einfluß von Feuchtigkeit auf Kühlraumisolierungen. Arch. Wärmewirtsch. 1932 H. 1.

und Kleinkühlräumen eine deutliche Abhängigkeit des Feuchtigkeitsgehaltes vom Raumgewicht nach Abb. 13 festgestellt, ganz gleichgültig,

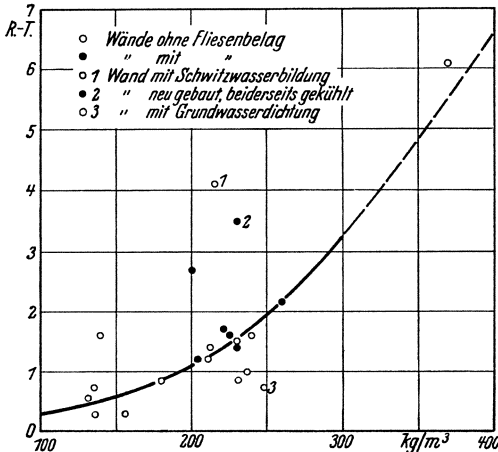


Abb. 13. Feuchtigkeitsgehalt von Korkplatten in Kühlräumen.

ob es sich um Innen-, Außen- oder Zwischenwände oder um Wände mit oder ohne Fliesenbelag handelte (vgl. auch Zahlentafel 6). Einige größere Abweichungen sind in der Abbildung besonders begründet¹.

Auch für Hölzer läßt sich eine einfache Gesetzmäßigkeit des Feuchtigkeitsgehaltes angeben. Hier ist allein die hygroskopische Feuchtigkeit maßgebend, d. h. der Wassergehalt ist von der relativen Feuchtigkeit der umgebenden Luft abhängig. Es scheint also, daß der Wassergehalt in Gewichtsprozent ausge-

drückt unabhängig von der Holzart ist bzw. in Vol.-% berechnet mit dem Raumgewicht wie bei Korkplatten zunimmt². Zahlentafel 5 gibt

Zahlentafel 5. Feuchtigkeitsgehalt von Holz in Gew.-%. (Nach A. Koehler und Rolf Thelen.)

Relative Luftfeuchtigkeit in %	20	40	60	80	100
Holzfeuchtigkeit bei 20° C in Gew.-%	4	7	11	17	33
Nach Fr. Kollmann:					Feuchtigkeit
Holz in geschlossenen Räumen					Gew.-%
Bauholz, Fensterstöcke, Haustüren					6—8
Holz, ausschließlich im Freien benutzt					11—13
					13—15

diese Abhängigkeit nach A. Köhler und R. Thelen. Im Bauwesen finden sich nach Fr. Kollmann durchschnittlich Feuchtigkeitsmengen, die demgemäß eine Luftfeuchtigkeit in der Praxis von 40—70% voraussetzen, was den Tatsachen entspricht.

An Holzleisten in der Luftschicht einer Bimsbetonwand fand der Verfasser einen Feuchtigkeitsgehalt von 6 Vol.-%, was bei dem vorhandenen Raumgewicht von 500 kg/m³ eine mittlere Luftfeuchtigkeit in der Luftschicht von etwa 65% andeutet und damit ebenfalls mit

¹ Bei schweren Montagefehlern (vorzeitiges Isolieren auf baufeuchten Mauern) können sich auch die bestimpregnierten Korkfabrikate, wenn sie unter Fliesen liegen, voll Wasser saugen.

² Die Umrechnung von Gew.-% in Vol.-% erfolgt durch Multiplikation mit dem Raumgewicht und Division durch 1000.

direkten Messungen der Feuchtigkeit in Luftschichten (vgl. S. 15) übereinstimmt.

Für manche Berechnungen aus der Wärmeschutz- und Heiztechnik ist die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs wichtig und damit auch dessen Feuchtigkeitsgehalt. Wenn auch je nach Witterung und Abflußverhältnissen bei ein und derselben Bodenart ein unterschiedlicher Wassergehalt vorkommen kann, so läßt sich doch allgemein sagen, daß

sandige Böden etwa 4—14 Vol.-%

tonige Böden etwa 23—28 Vol.-%

Wasser aufweisen¹.

Für andere organische Baustoffe kann man aus den Werten für Kork und Holz gewisse Rückschlüsse ziehen. Für Torfplatten bester Imprägnierung hat man mindestens mit der Feuchtigkeit wie bei Kork zu rechnen (nicht imprägnierte Torfmaterialien können im Bauwesen wegen ihrer großen Feuchtigkeitsaufnahme-fähigkeit nicht verwendet werden). Für Leichtbauplatten aus mineralisierter Holzwolle und für Verkleidungsplatten aus Holzstoff läßt sich die Feuchtigkeit nach Zahlentafel 6 abschätzen.

In der Propaganda vieler Firmen finden sich oft Versuche angegeben, die ein besonders günstiges Verhalten gegen Feuchtigkeit beweisen sollen, die aber der tatsächlichen Beanspruchung in der Praxis nicht gerecht werden.

So findet sich häufig als Beweis der feuchtigkeitsabweisenden Eigenschaften von Wärmeschutzplatten monatelanges Schwimmen auf Wasser angegeben. Ferner werden Tauchversuche vorgenommen unter Messung der Wasseraufnahme. Am ähnlichsten kommt aber den praktischen Verhältnissen ein Einschlagen in ständig feucht gehaltene Tücher. Die Ergebnisse führen dann allerdings zu allzu ungünstigen Absolutwerten, geben aber trotzdem das Verhalten verschiedener Materialien im Vergleich miteinander am besten wieder.

Natürlich ist hinsichtlich des Verhaltens gegen Feuchtigkeitsbeanspruchung nicht allein die Aufnahme von Wasser in Vol.-% wichtig, sondern auch die Beeinflussung der Festigkeit und die Anfälligkeit für Schimmelbildung. Auch hierüber gibt das Einschlagen in feuchte Tücher den besten Aufschluß.

¹ Vgl. z. B. die Zusammenstellung in der Arbeit von O. Krischer, die in Fußnote 1 auf S. 26 zitiert ist.

Zahlentafel 6. Feuchtigkeitsgehalt von Wärmeschutzmaterialien in der Praxis. (Nach J. S. Cammerer und W. Dürhammer.)

Raumgewicht in kg/m ³	Feuchtigkeitsgehalt in Vol.-%		
	Kork- und Torfplatten	Platten aus mineralisierter Holzwolle wie Heraklith	Verkleidungsplatten aus organischen Fasern wie Celotex (auf Rauminnenseite)
100	0,3	—	—
200	1,1	3	2
300	3,3	4,5	3
400	6,6	6	4
500	—	7,5	5
600	—	9	6

5. Der Wärmeschutz von festen Stoffen.

Man hat lange Zeit das Wärmeschutzvermögen von Bau- und Isolierstoffen falsch eingeschätzt, weil man die Größe und den Einfluß des dauernd verbleibenden Feuchtigkeitsgehaltes verkannte. Alle Untersuchungen auf Wärmeleitfähigkeit müssen daher vor allem diesem Gesichtspunkt Rechnung tragen (vgl. Abschnitt 12, S. 65). Für eine möglichst genaue Schätzung des Wärmeschutzvermögens eines Baustoffes hat sich als bester Weg gezeigt, vom Wärmeschutz in völlig trockenem Zustande auszugehen, den in Frage kommenden Feuchtigkeitsgehalt zu bestimmen und aus diesen beiden Größen den praktischen zutreffenden Wärmeschutz zu ermitteln.

Demgemäß sind zunächst die Gesetzmäßigkeiten für den völlig trockenen Zustand darzulegen. Dabei ist der Wärmeschutz durch die Wärmeleitzahl zu charakterisieren (vgl. S. 5), da es sich um die Aufdeckung der physikalischen Zusammenhänge handelt. Erst bei der praktischen Anwendung der Ergebnisse kann an ihre Stelle die gleichwertige Vollziegelstärke treten.

a) Die Wärmeleitzahl von Bau- und Wärmeschutzstoffen im völlig trockenen Zustande.

Alle Bau- und Wärmeschutzstoffe, mit Ausnahme sehr dichter natürlicher Gesteine und der Metalle, sind poröse Körper mit einem erheblichen

Zahlentafel 7. Raumgewicht und Porosität bei Bau- und Isolierstoffen.

Raumgewicht in kg/m ³	Beispiel einschlägiger Baustoffe	Porenvolumen in Vol.-%
Anorganische Materialien:		
400	Gebrannte Kieselgursteine	85
800	Bimsbeton	70
1200	Schlackenbeton	54
1600	Ziegel, Kalksandsteine	39
1800	Klinker, Kiesbeton	31
2200	Dichter Kiesbeton	15
Organische Materialien:		
100	Leichtkorkplatten	93
250	Balsaholz	84
500	Fichtenholz	67
900	Eichenholz	40

Luftgehalt. Das spezifische Gewicht der festen Bestandteile schwankt für Materialien aus anorganischen bzw. organischen Rohstoffen in verhältnismäßig engen Grenzen und beträgt bei

anorganischen Materialien
2400—2800 kg/m³
organischen Materialien
1450—1560 kg/m³ ¹.

Aus diesem Grunde ist das Raumgewicht eines Baustoffes, also das Gewicht der Volumeneinheit einschließ-

lich der Lufteinschlüsse, ein ziemlich genaues Maß des Porenvolumens. Zahlentafel 7 zeigt den zahlenmäßigen Zusammenhang.

¹ Für Hölzer wird 1560 kg/m³ angegeben, für Korkstaub 1450 kg/m³.

Die Wärmeleitzahl der festen Bestandteile der anorganischen Baustoffe liegt zwischen 2,0 bis 3,5 kcal/mh °C (bei Quarzit 5,2). Als guten Mittelwert kann man die Wärmeleitzahl von Marmor mit etwa 2,8 betrachten. Dabei ist amorpher Zustand vorausgesetzt, bei kristalliner Struktur ist die Wärmeleitzahl wesentlich höher (etwa 4—6 kcal/mh °C bei 0° C senkrecht zur Kristallachse, bis 12 kcal/mh °C parallel dazu). Für die organische Substanz dürfte der Wert etwa 0,25—0,35 betragen.

Das Wärmeleitvermögen der Luft in den Poren beträgt unter Berücksichtigung der Strahlungsübertragung je nach der Porengröße 0,020—0,050 kcal/mh °C, ist also nur etwa 1% der Wärmeleitzahl der festen Bestandteile von anorganischen Stoffen. Je größer also die Porosität ist, um so mehr nähert sich die Wärmeleitzahl eines Baustoffes jener der Luft, im umgekehrten Fall der der festen Bestandteile. Mit anderen Worten: Die Wärmeleitzahl eines Baustoffes nimmt mit dem Raumgewicht ab.

Neben dieser Hauptgesetzmäßigkeit gibt es noch eine Reihe von Nebeneinflüssen, wie die Porengröße, die Temperatur, die chemische Zusammensetzung, die molekulare Struktur

Zahlentafel 8. Wärmeleitahlen von Baustoffen im völlig trockenem Zustand zwischen 0 und 20° C. (Nach J. S. Cammerer.)

Von den nachstehenden Durchschnittswerten der Wärmeleitahlen können Abweichungen bis etwa ± 20% vorkommen. Noch stärkere Abweichungen, ausschließlich nach oben, können bei Gips und Kalksandsteinen (kristalliner Einfluß), blasigen Leichtbetonen unter 800 kg/m³ (grobe Porosität) und bei Beton mit starker Kiesbeimischung (porenlose Einschlüsse) auftreten.

Raumgewicht in kg/m ³	Wärmeleitahl in kcal/mh ° C			
	feste Baustoffe aller Art	Hölzer senkrecht zur Faser	lose Füllstoffe nicht pulverförmig (Sand, Schlacke)	lose Füllstoffe pulverförmig (Kieselgur, Steinmehl)
200	0,057	0,05	0,08	0,040
400	0,070	0,08	0,10	0,057
600	0,10	0,11	0,12	0,075
800	0,14	0,14	0,14	0,10
1000	0,19	0,17	0,16	0,13
1200	0,24	—	0,18	0,16
1400	0,30	—	0,21	0,19
1600	0,37	—	0,25	—
1800	0,46	—	0,31	—
2000	0,60	—	0,37	—
2200	0,82	—	0,45	—
2400	1,12	—	—	—

Zahlentafel 9. Wärmeleitahlen von Wärmeschutzmaterialien im völlig trockenem Zustand zwischen 0 und 20° C. (Nach J. S. Cammerer.)

Streuung von Einzelwerten gegenüber nachstehenden Durchschnittswerten:
bei Korkplatten etwa . . . ± 15%
bei den übrigen Materialien. ± 25%

Bei Holzwoollplatten ist vor allem die Stärke der Holzwole (Größe der Zwischenräume) sowie die Lage der Faser zum Wärmestrom (regellos oder senkrecht) von Bedeutung. So besaß z. B. eine Heraklithplatte von 450 kg/m³ eine W. L. Z. von 0,058.

Raumgewicht in kg/m ³	Wärmeleitahl in kcal/mh ° C		
	Platten aus Kork und Torf	Platten aus mineralisierter Holzwole wie Heraklith	Verkleidungsplatten aus organischen Fasern wie Celotex
50	0,029	—	—
100	0,032	—	—
200	0,040	0,050	0,038
300	0,048	0,056	0,040
400	0,055	0,067	0,044
500	0,062	0,083	0,050
600	—	0,106	0,060
700	—	0,130	0,073

und die Art der Verbindung der festen Bestandteile, doch braucht hier nicht weiter darauf eingegangen zu werden, wenn man die Raumgewichtsabhängigkeit der Wärmeleitzahl für die einzelnen Stoffgruppen gesondert

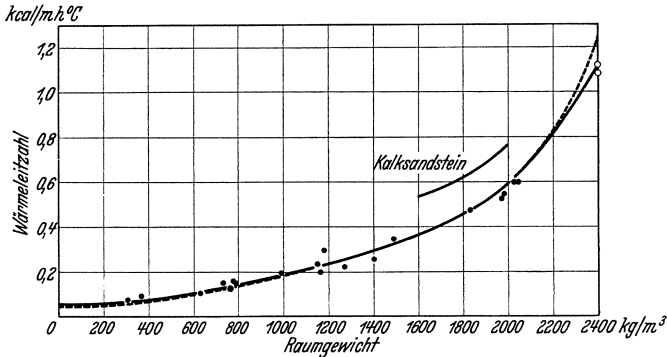


Abb. 14. Abhängigkeit der Wärmeleitzahl vom Raumgewicht bei völlig trockenen Baustoffen².

festgestellt. In Zahlentafel 8 ist dies für Baustoffe, in Zahlentafel 9 für Wärmeschutzstoffe geschehen, unter Zugrundelegung der verlässlichsten Mes-

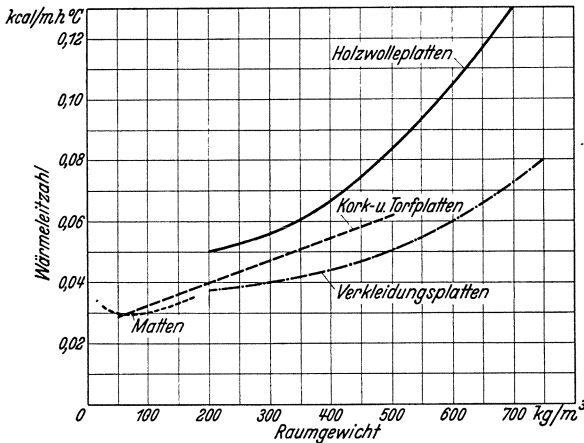


Abb. 15. Abhängigkeit der Wärmeleitzahl vom Raumgewicht bei Leichtbau- und Wärmeschutzplatten².

sungen in- und ausländischer Forscher¹. Die Angabe, wie weit Einzelwerte von diesen Durchschnittswerten abweichen können, ist jeweils beigelegt. Außerdem sind beide Zahlentafeln durch die Abb. 14 u. 15

¹ Es interessiert, diese wichtige Grundlage mit einer Kurve zu vergleichen, die Watzinger und Kindem neuerdings aufgestellt haben. Die Gegenüberstellung weist eine überraschend genaue Übereinstimmung auf.

Die maßgebenden deutschen Forscher sind: K. Hencky, Osc. Knoblauch, O. Krischer, E. Raisch, H. Reiher, E. Schmidt. Auch viele Meßwerte des Verfassers sind in den Durchschnittswerten verarbeitet.

² Über die Möglichkeit besserer oder ungünstigerer Werte vgl. Vorbemerkung zu Zahlentafel 8 und 9.

Raumgewicht kg/m ³	Wärmeleitzahl in kcal/mh ° C	
	J. S. Cammerer	Watzinger und Kindem
200	0,057	0,059
500	0,085	0,095
1000	0,19	0,18
1500	0,34	0,33
2000	0,60	0,60

anschaulich gemacht. Man ersieht daraus, welch großen Einfluß schon eine geringe Porosität hat und daß die Wärmeleitfähigkeit einer bestimmten Stoffgruppe für ein gewisses Raumgewicht um so höher liegt, je grobporöser die Struktur ist (vgl. z. B. lose Füllstoffe pulverförmig und grobkörnig oder mineralisierte Holzwollplatten und Kork- oder Torfplatten).

Die möglichen Abweichungen der tatsächlichen Werte von den Durchschnitzzahlen erscheinen auf den ersten Blick beträchtlich, sind aber für die Benützung nicht störend, da das gesuchte Endergebnis, nämlich der praktische Wärmeschutzwert mit Rücksicht auf die Unsicherheit des

Zahlentafel 10. Wärmeleitfähigkeit und Raumgewicht verschiedener Stoffe in völlig trockenem Zustand (bei 0—20° C).

Material	Raumgewicht in kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit in kcal/mh °C	Material	Raumgewicht in kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit in kcal/mh °C
Metalle			Kies	1850	0,29
Aluminium	2700	173	Sägemehl (lufttrocken)	190—215	0,050—0,060
Blei	11340	31	Hobelspäne (lufttrocken)	95—140	0,050—0,055
Bronze, Rotguß	7400—8900	55	Strohfasern	140	0,039
Eisen, Gußeisen	7250	43±25%	Sonstige Stoffe		
Schmiedbares Eisen	7800	48±30%	Eis, bei 0° C	880—920	1,92
Stahl	7850	35±30%	" " — 50° C	—	2,39
Kupfer, techn. rein	8930	331	Gummi, vulkanisiert	etwa 1200—950	—
Messing	8300—8700	75—100	Gummigehalt 38%	—	0,25
Zink	7100	95	" " " 50%	—	0,19
Zinn	7300	56	" " " 100%	—	0,115
Hilfsbaustoffe			Leder	etwa 1000	0,14—0,15
Asbestschiefer	1900	0,30	Porzellan	2200—2500	0,72—0,9
Asphalt	2100	0,60	Schnee, je nach Struktur bei 0° C	—	—
Bitumen	1050	0,15	100	100	0,04
Dachpappe, Pappe	1000—1200	0,12—0,20	200	200	0,09
Glas	2400—3200	0,5—0,9	300	300	0,20
Hartpappe	790	0,13	500	500	0,55
Holzfilz	etwa 350	0,045—0,07	900	900	1,9
Korkmentlinoleum	535	0,069	Steinzeug	2200—2470	0,90—1,35
Linoleum	1180	0,16	Maschinenöl	900—930	0,1—0,15
Schilfbretter	—	0,35—0,40	Wasser, bei 0° C	1000	0,477
Zementholz	715	0,12	" " " 30° C	996	0,530
Trockene Füllstoffe			" " " 100° C	958	0,586
(vgl. auch Zahlentafel 8)			Gesteine		
Bims Kies, gewöhnlich	600	0,15	Gneis	2400—2700	2,9—3,4
Rhein. Isolierbims	300	0,075	Granit	2500—3050	2,7—3,5
Hochofenschlackschlacke:			Kalkstein, amorph	2550	1,05
Korngröße 2—5 mm	360	0,09	Marmor	2500—2850	1,8—3,0
" " 30 mm	360	0,12	Nagelfluh	—	2,0
Synthoporit			Quarzit	—	5,2
0—30 mm	700	0,14	Sandstein	2200—2500	1,1—1,6
Kesselschlacke	750	0,13	Schiefer | Schichtung	2650—2700	1,3—1,7
Koksgrus bis 15 mm	1000	0,12	|| Schichtung	—	2,0—2,9
Korkschat	55	0,029			
Sand	1500	0,26			
Sand	1740	0,28			

vorhandenen Feuchtigkeitsgehaltes doch entsprechend vorsichtige Annahmen in den Zuschlägen verlangt. Man kann also oft mit großem Nutzen eine Messung der Wärmeleitzahl durch eine einfache Raumgewichtsbestimmung an Materialproben ersetzen. Die Proben brauchen auch bei der Raumgewichtsermittlung nur lufttrocken zu sein.

Die Raumgewichtsabhängigkeit der Wärmeleitzahl hat zur Folge, daß sich die beiden Haupteigenschaften eines Baustoffes, Festigkeit und Wärmeschutzvermögen in ihren Voraussetzungen widersprechen. Denn jede Porositätserrhöhung, welche das Wärmeschutzvermögen steigert, vermindert die Festigkeit. Das führt dazu, daß der Wärmeschutz einer bestimmten Materialart, je nach ihrer Verwendung, eine gewisse Grenze nicht überschreiten kann und daß man oft zweckmäßig die notwendige statische Festigkeit und den Wärmeschutz einer Wand durch getrennte Konstruktionsglieder verwirklicht. In dieser Hinsicht sind zwei Systeme zu unterscheiden, je nachdem, ob die festen Teile der Wand und die Wärmeschutzschicht im Sinne des Wärmeschutzes nebeneinander oder hintereinander liegen. Zu der ersteren Form gehören die Fachwerkbauten, bei denen die Füllwände lediglich den Witterungsschutz zu übernehmen haben, also aus Baustoffen von sehr geringer Festigkeit bestehen können. Zur zweiten Ausführungsform gehören Wände, die beispielsweise aus einer äußeren tragenden Kiesbetonschicht und einer inneren isolierenden Schicht aus Bimsbeton bestehen. Die konstruktiven Möglichkeiten sind heute in dieser Beziehung sehr groß, da es eine Reihe von Baustoffen gibt, deren Wärmeschutz und Festigkeit sich in weiten Grenzen ändern läßt. Ein Beispiel hierfür sind die Leichtbetone, die unter Zusatz von Schlacke, Bims u. dgl. oder nach Art von Gas- und Zellenbeton durch Erzeugung bzw. Beimischung von Gasbläschen hergestellt werden.

Zahlentafel 10 gibt noch ergänzend die Wärmeleitzahl und das Raumgewicht von Metallen, Hilfsbaustoffen, Gesteinen und einigen anderen hier interessierenden Stoffen.

b) Die Wärmeleitzahl von Bau- und Wärmeschutzstoffen bei der praktischen Verwendung.

Jeder Feuchtigkeitsgehalt muß das Wärmeschutzvermögen stark herabsetzen, weil das Wärmeleitvermögen des Wassers rund 0,5 kcal/mh⁰C beträgt, also etwa 12—25mal so hoch ist als das Wärmeleitvermögen der Luft in den Poren. Der Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes und des Raumgewichtes auf die Wärmeleitzahl in Abhängigkeit von der Porosität läßt sich nach Abb. 16 darstellen, die von O. Krischer¹ für Quarzsand

¹ Vgl. O. Krischer: Der Einfluß von Feuchtigkeit, Körnung und Temperatur auf die Wärmeleitfähigkeit körniger Stoffe. (Die Leitfähigkeit des Erdbodens.) Beihefte zum Gesundh.-Ing. Reihe I 1934 Heft 33. Ferner J. S. Cammerer:

nach einem vom Verfasser angegebenen Schema aufgestellt wurde. Die untere der beiden stark ausgezogenen Kurven gilt für den völlig trockenen Zustand, entspricht also der Kurve der Abb. 14 für feste Baustoffe, nur

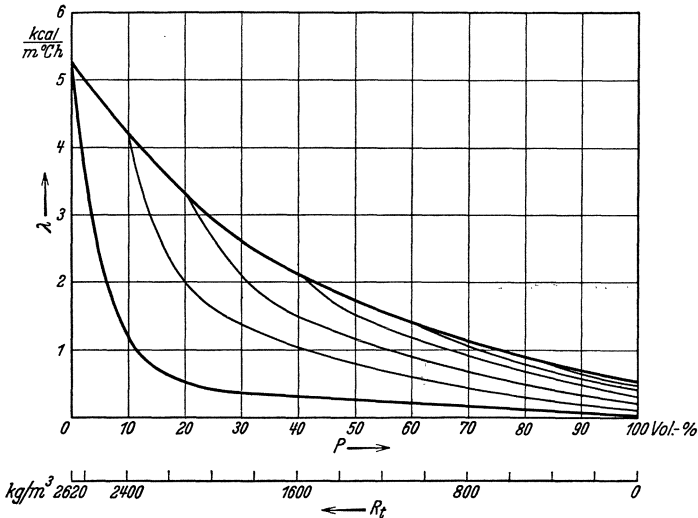


Abb. 16. Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von Raumgewicht und Feuchtigkeit bei Quarzsand. (Nach O. Krischer.)

daß hier für das Porenvolumen 0 eine Wärmeleitfähigkeit von 5,2 einzusetzen ist, entsprechend der Wärmeleitfähigkeit von Quarzit. Die obere Kurve gilt für den Fall, daß die Luft zwischen den Quarzkörnern vollständig durch Wasser ersetzt ist. Sie beginnt also gemeinsam mit der unteren Kurve für ein Porenvolumen 0 bei der Wärmeleitfähigkeit 5,2, endigt aber für ein Porenvolumen von 100% mit der Wärmeleitfähigkeit des reinen Wassers von 0,5. Dazwischen liegen die Kurven verschiedenen prozentualen Feuchtigkeitsgehaltes dergestalt, daß sie in die Kurve der völligen Sättigung bei jenem Porenvolumen einmünden, das dem Wassergehalt entspricht.

Man ist geneigt anzunehmen, daß der Einfluß eines bestimmten Feuchtigkeitsgehaltes geringer sein müsse als eine gleichgroße prozentuale Dichtigkeitssteigerung. Denn im letzteren Fall ist der entsprechende Luftgehalt durch feste Bestandteile ersetzt, die ungefähr die sechsfache Leitfähigkeit wie Wasser haben (im Falle des Quarzsandes die zehnfache). Es hat sich jedoch gezeigt, daß überraschenderweise der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit erheblich größer ist als man nach diesen Überlegungen schätzen würde. Man führt dies darauf zurück,

Über den Zusammenhang zwischen Struktur und Wärmeleitfähigkeit bei Bau- und Isolierstoffen und dessen Beeinflussung durch einen Feuchtigkeitsgehalt. Heft 4 der Mitteilungen aus dem Forschungsheim, 1924.

daß infolge der Kapillaritätsgesetze das Wasser stets die feinsten, also wirksamsten Poren erfüllt und an den Berührungspunkten zwischen den einzelnen Körnern des Materials Wärmebrücken schafft. Nach Abb. 17 a und b¹ müßten daher Unterschiede bestehen, wenn die Hohlräume nicht zwischen sich berührenden Körnern liegen, sondern im festen Material eingeschlossen sind. Meist dürfte aber die erstere Annahme verwirklicht sein, so daß zu folgern ist, daß die prozentuale Änderung der Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes durch einen Feuchtigkeitsgehalt mit der Größe des Feuchtigkeitsgehaltes abnimmt, weil dann die besonders gefährlichen Stellen schon mit Wasser ausgefüllt sind, so daß nur mehr die weniger wirksamen, größeren Poren ausgefüllt werden. Das bedeutet, daß ein bestimmter Feuchtigkeitsbetrag die Wärmeleitfähigkeit um

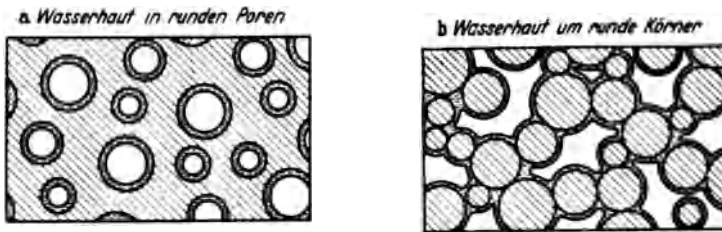


Abb. 17 a und b. Wasserhaftung in den Poren.

so mehr verschlechtert, je gleichmäßiger er im Körper verteilt ist, je geringer also die Wasserkonzentration ist. Im Erdreich, wo die Feuchtigkeit unter den Verhältnissen des Bauwesens sehr gleichmäßig verteilt bleibt, ist der Feuchtigkeitseinfluß am größten, während er bei einseitig abgedichteten Wänden, die eine Verdunstung an der kälteren Seite nicht zulassen, am geringsten sein muß. Bei normalem Mauerwerk zeigen sich mittlere Verhältnisse dergestalt, daß geringe Feuchtigkeitsmengen einen Einfluß wie bei gleichmäßiger Verteilung hervorrufen, höhere Wassermengen jedoch eine Wirkung wie bei einseitiger Feuchtigkeitsverteilung ausüben.

Die Richtigkeit dieser Darlegungen wird durch Zahlentafel 11—13 erwiesen. Zahlentafel 11 gibt den Einfluß der Feuchtigkeit bei Erdreich nach O. Krischer, Zahlentafel 12 bei Gebäudewänden nach Angaben des Verfassers, während Zahlentafel 13 eine Versuchsreihe des Laboratoriums für technische Physik an der Technischen Hochschule München umfaßt, die im Poensgenschen Plattenapparat gewonnen wurde. Bei dieser Apparatur liegen die Prüfmateriale zwischen Metallplatten, so daß die Feuchtigkeit eine ganz extreme Verlagerung wie in Abb. 10 erfährt, so daß die Ergebnisse der Wirklichkeit nicht entsprechen und viel zu

¹ Nach O. Krischer, vgl.: Neuere Forschungsarbeiten des Wärmetechnischen Institutes der Technischen Hochschule Darmstadt. Arch. Wärmewirtsch. 1934 S. 132.

günstig sind. Für alle anorganischen Bau- und Wärmeschutzstoffe dürfen die Werte der Zahlentafel 12 als die für die Praxis

Zahlentafel 11. Der Feuchtigkeitseinfluß auf die Wärmeleitzahl von Erdreich (nach O. Krischer).

Raumgewicht in kg/m ³	Zunahme der Wärmeleitzahl in % pro 1 Vol.-% Feuchtigkeit bei einem Feuchtigkeitsgehalt von	
	10 Vol.-%	20 Vol.-%
Seesand — Reiner Quarzsand		
1200	37,6	38,3
1600	29,7	23,0
2000	26,5	22,6
Normal verunreinigte Sand-, Lehm- und Tonböden		
800	29,0	22,5
1200	21,2	16,8
1600	19,6	15,4
2000	24,4	17,0

Zahlentafel 12. Der Einfluß eines Feuchtigkeitsgehaltes auf die Wärmeleitzahl von Baustoffen und Wärmeschutzmaterialien bei Wänden. (Nach J. S. Cammerer.)

Feuchtigkeitsgehalt in Vol.-%	Zuschlag in % auf die Wärmeleitzahl im trockenen Zustand	
	für 1 Vol.-% Wasser	Gesamtzuschlag
1	etwa 30	etwa 30
2,5	22	55
5	15	75
10	10,8	108
15	8,8	132
20	7,7	155
25	7	175

richtigsten bezeichnet werden, wenn sie auch manche Nebeneinflüsse, die zu vermuten sind, wie z. B. das Raumgewicht, noch nicht in Erscheinung treten lassen.

Unter diesen Verhältnissen müssen auch neuere Veröffentlichungen stets darauf geprüft werden, inwieweit die Versuche bei einer Feuchtigkeitsverteilung in den Prüfkörpern vorgenommen wurden, die der Praxis entspricht. So kann man z. B. der Vermutung von Watzinger und Kindem nicht ohne weiteres beipflichten, wenn sie in einer neueren Veröffentlichung¹, die im übrigen sehr wertvolles Material enthält, von dem in diesem Buche mehrfach Gebrauch gemacht wird, angeben, daß nur bei gebrannten Baustoffen, also bei Ziegelwänden, der

Zahlentafel 13. Einfluß der Feuchtigkeit bei Leichtbetonuntersuchungen im Plattenapparat. (Nach einem der Reichsforschungsgesellschaft für Wirtschaftlichkeit im Bau- und Wohnungswesen Berlin erstatteten Gutachten des Laboratoriums für technische Physik, München.)

Raumgewicht in kg/m ³	Wärmeleitzahl völlig trocken in kcal/mh °C	Zuschlag a. d. Wärmeleit. in % je 1 Vol.-% Feuchtigkeit bei einem Wassergehalt in % von			
		5	10	15	20
900	0,24	4,6	4,6	4,6	4,6
1330	0,40	5,0	5,0	5,0	—
1450	0,45	8,4	8,4	8,4	—
1490	0,32	3,4	3,4	3,4	3,4
1510	0,42	3,8	3,3	3,0	2,9
1780	0,43	2,1	2,1	2,1	—
1800	0,43	3,3	3,3	3,3	—
2080	0,76	7,3	6,9	6,5	—

Feuchtigkeitseinfluß der Zahlentafel 12 entspreche, während für Kalksandsteinmauern und Leichtbeton anfänglich nur ein schwacher Einfluß festzustellen sei, der sich erst bei höherem Wassergehalt steigert. Denn

¹ Vgl. Zitat der Fußnote 1 auf S. 9.

auch diese Versuche wurden im Plattenapparat vorgenommen, und hierbei wirkt sich die Versuchsschnelligkeit in nicht zu übersehender Weise aus, dergestalt, daß die Feuchtigkeitsverteilung zuweilen derjenigen wirklicher Wände entspricht, meist aber, wie erwähnt, stark einseitig verlagert ist.¹

Nach Versuchen von W. Jürges² gilt Zahlentafel 12 auch für Korkplatten. Für andere organische Wärmeschutzmaterialien und für Holz scheint aber eine andere Abhängigkeit der Wärmeleitzahl vom Feuchtigkeitsgehalt vorzuliegen, was Watzinger und Kindem sehr überzeugend damit begründen, daß die Feuchtigkeit unterhalb des Fasersättigungspunktes nicht wie bei den anorganischen Stoffen eine Strukturänderung (durch Schaffung von Wärmebrücken zwischen den Körnern und Ausfüllen der kleinsten Poren) hervorruft, sondern nur eine Änderung der Wärmeleitzahl der Fasersubstanz.

Zahlentafel 14. Die Wärmeleitzahl von Hölzern nach F. B. Rowley bei 24° C senkrecht zur Faser.

Raumgewicht in kg/m ³	Wärmeleitzahl in kcal/mh ° C		Zunahme der Wärmeleitzahl in % je 1 Vol.-% Wasser
	völlig trocken	12 Gew.-% Wasser	
200	0,048	0,056	6,9 (extrapoliert)
300	0,064	0,072	3,5
400	0,079	0,089	2,7
500	0,095	0,106	2,1
600	0,111	0,123	1,5
700	0,127	0,140	1,23
800	0,143	0,156	0,95
900	0,159	0,173	0,84
1000	0,175	0,190	0,72

Diese Unsicherheit ist sehr störend, da Holz als Material für Außenwände eine sehr große Rolle spielt. So wohnen nach Kollmann in den Vereinigten Staaten 59% der Einwohner in Holzhäusern.

Die in der Literatur vorliegenden Untersuchungen an Holz³, soweit sie die notwendige Angabe des Feuchtigkeitsgehaltes enthalten, sind leider ausschließlich in Plattenapparaten gewonnen. Immerhin geben sie einen gewissen Anhaltspunkt, da eben bei Holz

die Verhältnisse anders gelagert sind. Die besten Messungen³ sind jene von F. B. Rowley⁴ — Zahlentafel 14 — der 26 Platten von sechs typischen Holzsorten untersuchte. Rechnet man seine Ergebnisse wie vorstehend sinngemäß der Zahlentafel 12 um, so findet man für die deutschen Holzsorten etwa 0,8—3% Änderung der Wärmeleitzahl für

¹ Auf derartige Zusammenhänge deuten auch Versuchsergebnisse an zwei Ziegelsteinen von 1820 und 2190 kg/m³ Raumgewicht hin, die trocken und feucht fast dieselben Wärmeleitzahlen hatten, wobei aber der fragliche Feuchtigkeitsgehalt 10,8 bzw. 2,1 Vol.-% war.

² Jürges, W.: Bau- und Isoliertechnisches von Kühlräumen. Gesundh.-Ing. 1928 S. 650.

³ Einige deutsche Messungen von Voigt und Ramspeck ergeben offenbar zu hohe Werte, Versuche der Engländer Griffiths und Kaye entsprechen ungefähr den Ergebnissen von Rowley.

⁴ Rowley, F. B.: Heating Piping Bd. 5 (1933) S. 313.

1 Vol.-% Wassergehalt. Das ist also nur ein Bruchteil des Einflusses bei anorganischen Stoffen¹.

Während nach Rowley die Wärmeleitzahl mit der Feuchtigkeit linear zunimmt, haben Watzinger und Kindem an Celotexpplatten (aus Zuckerrohrfaser) und an Masoniteplatten (aus Holzfaser) einen erst langsamen, dann steilen Anstieg gefunden, wie die Zahlentafel 15 zeigt. Im übrigen entsprechen diese Werte der Größe nach denen von Rowley.

Der praktische Wärmeschutzwert eines Baustoffes schwankt nach dem Gesagten nicht nur je nach seinem Raumgewicht, sondern vor allem nach dem vorhandenen Feuchtigkeitsgehalt. Abb. 18 gibt einen guten Überblick über die Wärmeleitzahlen, die für die hauptsächlichsten Baustoffe in Frage kommen. Es ist dort für ein bestimmtes Raumgewicht die obere und untere Grenze der Wärmeleitzahl eingezeichnet, entsprechend den Extremwerten der beobachteten Feuchtigkeit nach Zahlentafel 4.

Zahlentafel 15.
Der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitzahl von Masonite (355 km/m³) und Celotex (241 kg/m³) bei 20°C nach Watzinger und Kindem.

Feuchtigkeit in Vol.-%	Wärmeleitzahl in kcal/mh °C	Änderung der Wärmeleitzahl in % für 1 Vol.-% Feuchtigkeit
0	0,046	—
5	0,049	1,3
10	0,056	2,2
20	0,082	3,9
30	0,114	4,9

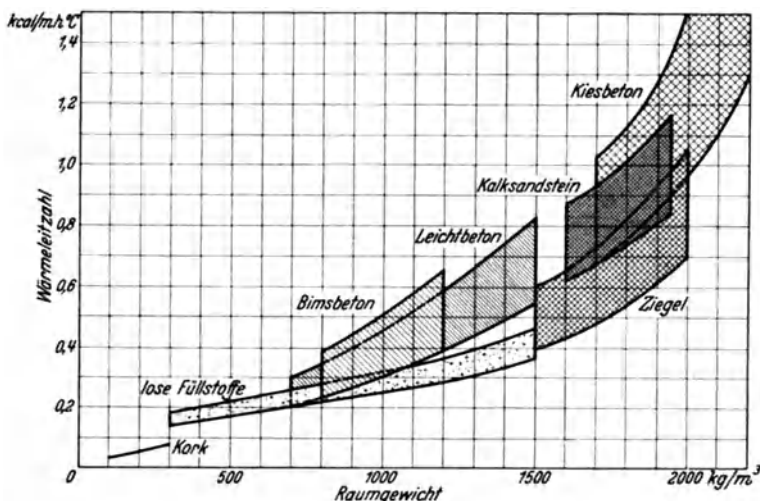


Abb. 18. Die möglichen Wärmeleitzahlen der wichtigsten Baustoffe unter praktischen Verhältnissen.

Es entstehen für jedes Material in dem Diagramm Flächen, innerhalb derer die möglichen Wärmeleitzahlen liegen.

¹ Zur endgültigen Klärung dieser bedeutsamen Frage sind dem Verfasser von der Stiftung zur Förderung von Bauforschungen Berlin bereits Mittel zur Verfügung gestellt.

Folgendes Beispiel möge die Ermittlung der Wärmeleitzahl eines anorganischen Baustoffes nach den gegebenen Erfahrungswerten zeigen:

Beispiel 1. Das Raumgewicht eines Schlackenbetons sei an einer Probe zu 1350 kg/m^3 festgestellt. Nach Zahlentafel 8 beträgt dann die Wärmeleitzahl in völlig trockenem Zustand rund $0,28 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$. Der zu erwartende Feuchtigkeitsgehalt der Wand wird mit 10 Vol.-% angenommen, also nach Zahlentafel 4 mit dem oberen Grenzwert des normalen Feuchtigkeitsbereiches, da man einen verlässigen Wert erhalten will. Dann ist nach Zahlentafel 12 ein Feuchtigkeitszuschlag von 108% auf die Wärmeleitzahl von $0,28$ zu machen, so daß die praktische Wärmeleitzahl des vorgesehenen Schlackenbetons $0,58 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ beträgt.

Vielfache Nachprüfungen dieses Ermittlungsganges an Hand von Messungen auch durch andere Forscher¹ haben gezeigt, daß man im allgemeinen eine Genauigkeit der Schätzung von 10% erreicht und das ist kaum schlechter, als sich bei einer wirklichen Messung erreichen läßt.

Da der Feuchtigkeitsgehalt von Wänden zeitlich schwankt, also selbst durch Messungen für ein bestimmtes Objekt nur mit einer gewissen Annäherung festgestellt werden kann, so ist es unnötig, die Zunahme der Wärmeleitzahl mit der Temperatur im Bauwesen zu berücksichtigen, die im Wärmeschutz für die Industrie bei den dort in Frage kommenden hohen Temperaturen eine bedeutungsvolle Rolle spielt.

Um für durchschnittliche Verhältnisse die tatsächliche Wärmeleitzahl ohne gesonderte Ermittlungen entnehmen zu können, ist in Teil II in Zahlentafel 44 (Berechnungstabelle des Wärmeschutzes von Baustoffen) auch eine Rubrik der praktischen Wärmeleitzahlen aufgenommen, die unter den hier entwickelten Gesichtspunkten aufgestellt ist und nur dort besser durch eine besondere Rechnung nach obigem Beispiel ersetzt wird, wo man genauere Annahmen über den tatsächlichen Feuchtigkeitsgehalt in einem bestimmten Falle machen kann.

6. Der Wärmeschutz von Luft.

Es finden sich in der Patentliteratur viele Beispiele dafür, daß man aus der niedrigen Wärmeleitzahl der Luft folgerte, Luftschichten müßten einen unübertrefflichen Isoliereffekt aufweisen. In der Tat kann die Wärmeleitzahl von Luft von keinem Material erreicht werden, wie aus den Überlegungen auf S. 23 hervorgeht². Aber in Luftschichten kommt zur reinen Wärmeleitung noch die Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion. Vgl. S. 3.

¹ So fand G. Hofbauer, Wien, an Zellenbeton eine Übereinstimmung des hier entwickelten Rechnungsganges mit einer tatsächlichen Messung von 1%. (Hofbauer, G.: Der Wärmeschutz von Gebäudewänden. Sparwirtsch. 1930 S. 507.)

² Doch gilt dies nur für atmosphärischen oder höheren Druck. Im Vakuum können nach A. Smoluchowski von feinen Pulvern Wärmeleitzahlen bis herab zu 0,001 erreicht werden.

Ohne auf die genauen Berechnungsformeln näher einzugehen, seien folgende Angaben über die drei Teilvorgänge gemacht:

Die reine Wärmeleitfähigkeit der Luft beträgt bei

0° C	0,0204 kcal/mh° C
50° C	0,0233 kcal/mh° C
100° C	0,0259 kcal/mh° C

Die Wärmeübertragung durch Luftkonvektion nimmt mit der Dicke der Luftschicht zu. Sie beträgt nach den Versuchen von Mull und Reiher¹ bei einer Schichtstärke von 20 cm angenähert das Hundertfache gegenüber einer solchen von 1 cm.

Sie ist ferner bei horizontaler Lage der Luftschicht anders als bei senkrechter Anordnung, weil sich der Auftrieb der warmen Luftteilchen jeweils verschieden auswirkt. Geht die Wärme in einer horizontalen Schicht von oben nach unten, so bildet sich überhaupt keine Konvektion, da die warmen Teilchen ja ihre höchste Lage bereits einnehmen. Die naheliegende Annahme, daß die Konvektion in einer senkrechten Schicht mit der Höhe der Schicht zunimmt, trifft nach Mull und Reiher nicht zu, sondern sie bleibt praktisch unabhängig davon. Man kann sie in einer Konvektionszahl ausdrücken, die in Formeln (vgl. Teil III) zur Wärmeleitfähigkeit addiert werden kann. Zahlenwerte sind in Tafel 16 zusammengestellt.

Zahlentafel 16. Konvektionszahlen von ebenen Luftschichten.
(Nach W. Mull und H. Reiher.)

Temperaturdifferenz in °C	Höhe der Luftschicht in m	Konvektionszahl λ_k in kcal/m h bei einer Stärke der Luftschicht in cm von			
		2	5	10	20
Vertikale Luftschichten					
Mitteltemperatur 0° C					
10	0,50	0,010	0,045	0,123	0,302
	1,00	0,009	0,043	0,115	0,280
50	0,50	0,022	0,091	0,227	—
	1,00	0,020	0,085	0,204	—
Mitteltemperatur 50° C					
10	0,50	0,007	0,040	0,109	0,270
	1,00	0,006	0,038	0,102	0,249
50	0,50	0,016	0,080	0,203	—
	1,00	0,015	0,075	0,187	—
Horizontale Luftschichten					
Mitteltemperatur 0° C					
10	—	0,022	0,073	0,16	0,32
50	—	0,048	0,131	0,28	—
Mitteltemperatur 50° C					
10	—	0,019	0,068	0,14	0,30
50	—	0,042	0,122	0,26	—

Während Wärmeleitung und Luftkonvektion proportional der Temperaturdifferenz zwischen der wärmeren und der kälteren Begrenzungsfläche sind, nimmt die durch Strahlung übertragene Wärme proportional der Differenz der vierten Potenz der absoluten Temperaturen zu. Dies bewirkt, daß sie bei den Temperaturen, wie sie in der Industrie in Frage kommen, außerordentlich hohe Beträge annehmen kann, so daß Leitung und Konvektion

¹ Mull, W. u. H. Reiher: Der Wärmeschutz von Luftschichten. Beiheft 28 Reihe I zum Gesundh.-Ing. 1930.

Zahlentafel 17. Strahlungszahl verschiedener Oberflächen in kcal/m²h (° abs.)⁴. Zusammen- gestellt nach Versuchen von E. Schmidt¹, ergänzt durch Einzelwerte nach M. Werner, We. Koch sowie H. Schmidt und E. Furthmann. (Hinreichend genau gültig von 0—200° C.)

Material und Zustand der Oberfläche	Strahlungs- zahl C
Absolut schwarzer Körper	4,96
Metalle, hochglanz poliert	
Edle Metalle	0,08—0,25
Nicht edle Metalle	0,13—0,35
Metalle im technischen Zustand	
Aluminium, roh	0,35—0,43
Blei, grau oxydiert	1,4
Eisenblech, roh mit Walzhaut oder Gußhaut	3,7—4,0
„ frisch abgeschmirgelt bzw. abgedreht	1,2—2,2
„ ganz rot verrostet	3,4
„ matt verzinkt	0,43
„ verzinkt	1,1—1,4
Kupfer, geschabt	0,46
„ schwarz oxydiert	3,9
Messing, rohe Walzfläche	0,34
„ frisch geschmirgelt	1,0
„ brüniert	2,1
Anstriche	
Aluminiumlack	1,7—2,1
Emallelack, schneeweiß	4,5
Spirituslack, schwarz glänzend	4,1
Schmelzemaille, weiß	4,5
Beliebige Ölfarben (auch weiß), Litho- pone	4,4—4,8
Ruß-Wasserglas (Rubens-Hoffmann 100°)	4,76
Verschiedene Körper	
Asbestschiefer, rauh	4,8
Eichenholz, gehobelt	4,4
Dachpappe	4,5
Gips	4,5
Glas, glatt	4,7
Gummi, weich	4,3
Kachel, weiß glasiert	4,3
Kohle	4,0
Hartgummi, glatt, schwarz	4,6
Marmor, hellgrau, poliert	4,2
Öl	4,6
Papier	4,7
Porzellan, glasiert	4,6
Ziegelstein, rot, rauh	4,6—4,7

völlig in den Hinter- grund treten. Aber auch schon bei den Temperaturen des Bauwesens werden etwa 50—70% der durch eine Luft- schicht wandernden Wärme durch Strah- lung übertragen. Die- ser Anteil ist um so höher, je dicker die Luftschicht ist, und ist außerdem abhängig von der Emissionsfähigkeit, der sog.

Strahlungszahl der Begrenzungsflächen. Zahlentafel 17 gibt diese Strahlungszahl für eini- ge Oberflächen, um das relative Verhältnis des Strahlungsvermögens zu kennzeichnen. Über die rechnerische Anwen- dung vgl. Teil III. Be- merkt sei hier folgendes:

1. Die höchstmögliche Strahlungszahl besitzt dersog. absolut schwarze Körper, der alle auf ihn treffenden Wärmestrah- len absorbiert und in Wärme umsetzt. Alle übrigen Oberflächen re- flektieren einen gewis- sen Prozentsatz wieder. Dieser höchstmögliche Betrag der Strahlungs- zahl beträgt

4,96 kcal/m²h (° abs.)⁴.

¹ Schmidt, E.: Wärmestrahlung technischer Oberflächen bei gewöhnlichen Temperaturen. Beiheft 20 Reihe 1 zum Gesundh.-Ing. München u. Berlin: R. Oldenbourg 1927.

2. Die Strahlungszahlen der normalen Baustoffe kommen der des absolut schwarzen Körpers bis auf etwa 90—95% nahe.

3. Auch glänzende Lackanstriche mit hellen Farben, die dem Auge als Gegenteil des absolut schwarzen Körpers erscheinen, und Glas besitzen fast dieselben hohen Strahlungszahlen wie die übrigen Baustoffe.

4. Dagegen weisen blanke Metallflächen sehr geringe Werte auf.

5. Rauhe Oberflächen erhöhen die Strahlungszahl, doch ist dieser Einfluß nur bei Metallen wesentlich.

Die Strahlungszahlen der Zahlentafel 17 gelten nur bis etwa 200° C, also im nicht sichtbaren Gebiet der Wärmestrahlung, wie dies für Luftschichten und Hohlräume in Wänden und für die Wärmeabgabe von Heizkörpern und Wänden zutrifft. Über die Verhältnisse bei Sonnenbestrahlung vgl. dagegen S. 57. Die Erhöhung der Schutzwirkung von Luftschichten durch blanke metallische Begrenzungsflächen hat im Bauwesen keine praktische Bedeutung erlangen können, weil dadurch die Feuchtigkeitswanderung im Mauerwerk behindert wird und das einzige unedle Metall, Aluminium, das an Luft eine niedrige Strahlungskonstante beibehält, unter den Einflüssen anderer Baustoffe leicht korrodiert.

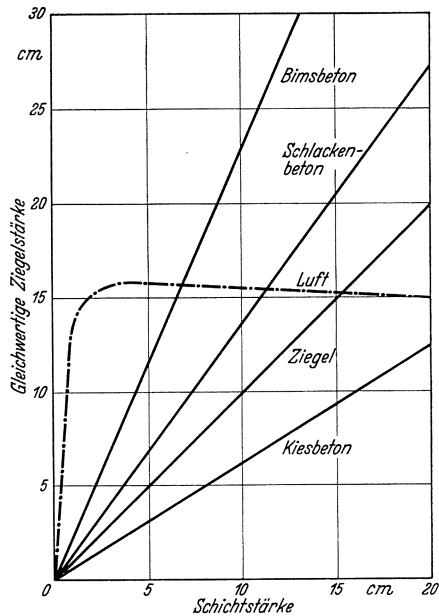


Abb. 19. Wirkung der Schichtstärke bei Luft und bei besten Stoffen.

a) Der Wärmeschutz von Luftschichten.

Die anders geartete Schutzwirkung von Luftschichten gegenüber der von festen Stoffen geht aus Abb. 19 hervor, in der die gleichwertige Ziegelstärke einiger Baustoffe und einer senkrechten Luftschicht in Abhängigkeit von der Stärke eingetragen ist. Während der Wärmeschutz der Baustoffe verhältnismäßig mit der Stärke zunimmt, bedingt die Zunahme der Strahlungs- und Konvektionsübertragung bei wachsender Stärke, daß oberhalb 4—5 cm eine weitere Verstärkung der Luftschicht nichts mehr nützt. Es gibt daher für jeden Baustoff eine bestimmte Luftschichtstärke, die in dem Diagramm durch die Schnittpunkte der Luftschichtlinie mit der des Baustoffes gegeben ist, oberhalb derer der

Baustoff selbst einen höheren Wärmeschutz aufweist als eine in ihm enthaltene Luftschicht. Das ist etwa bei

Leichtbeton (800 kg/m ³)	7 cm
Schlackenbeton (1300 kg/m ³)	11 cm
Ziegel (1750 kg/m ³)	16 cm
Kiesbeton (2000 kg/m ³).	24 cm

Vgl. auch das im folgenden über Hohlsteine auf S. 39 Gesagte.

Im einzelnen gibt Zahlentafel 18 den Wärmeschutzwert für verschiedene Lagen und Stärken von Luftschichten, und zwar sowohl in gleichwertiger Ziegelstärke als in Form der sog. „äquivalenten Wärmeleitfähigkeit“. Man hat nämlich diese, der Wärmeleitfähigkeit fester Stoffe nachgebildete Rechnungsgröße, zur Durchführung genauer Berechnungen aufgestellt, die die Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung zusammenfaßt, d. h. die Wärmeleitfähigkeit jenes gleichwertigen Stoffes angibt, der, an die Stelle der Luftschicht gebracht, den Wärmedurchgang nicht ändert. Diese Rechnungsgröße ist aber keine physikalische Konstante mehr, sondern wie Zahlentafel 18 zeigt, abhängig von der Schichtstärke und der Lage zum Schwerfeld der Erde. Einzelheiten vgl. Teil III.

Zahlentafel 18. Die Wärmeschutzwirkung von Luftschichten zwischen normalen Baustoffen (Nichtmetallen, Strahlungszahl = 4,6).

a) Gleichwertige Vollziegelwandstärke.

Lage der Luftschicht	Wärmeschutzwert ausgedrückt in cm gleichwertiger Vollziegelwandstärke bei einer Luftschichtstärke in cm von							
	1	2	4	6	8	10	15	20
Senkrecht	13	15	16	16	16	15	15	15
Horizontal, Wärmedurchgang von unten nach oben . . .	13	13	14	14	14	14	14	14
Horizontal, Wärmedurchgang von oben nach unten . . .	14	17	19	20	20	20	21	21

b) Äquivalente Wärmeleitfähigkeit.

Lage der Luftschicht	Äquivalente Wärmeleitfähigkeit in kcal/mh ° C bei einer Luftschichtstärke in cm von							
	1	2	4	6	8	10	15	20
Senkrecht	0,056	0,099	0,190	0,286	0,385	0,485	0,740	1,00
Horizontal, wärmere Seite unten	0,057	0,113	0,217	0,319	0,423	0,530	0,785	1,04
Horizontal, wärmere Seite oben	0,055	0,091	0,161	0,231	0,301	0,370	0,543	0,72

Aus Tafel 18 läßt sich ableiten:

1. Die Wärmeschutzwirkung einer senkrechten Luftschicht ist bei 4—5 cm am größten und nimmt bei höheren Stärken wieder ab. Auch bei horizontalen Luftschichten bringt eine Verstärkung der Schicht oberhalb 5 cm keinen merklichen Vorteil mehr.

2. Da sich demnach die Wirkung einer Luftschicht durch eine Verstärkung über 5 cm nicht erhöhen läßt, so muß man, wenn man einen

größeren Raum möglichst wirksam ausnützen will, diesen in mehrere Schichten, die im Sinne des Wärmestromes hintereinander liegen, unterteilen. Nach Zahlentafel 18 beträgt die gleichwertige Ziegelstärke einer 10 cm starken senkrechten Luftschicht 15 cm, während derselbe Raum auf fünf Schichten von 2 cm Stärke unterteilt, $5 \times 15 = 75$ cm Vollziegel gleichwertig ist.

3. Ein bestimmtes Luftvolumen in einem porösen Körper ist wärmetechnisch um so wirksamer, je feiner die Verteilung ist.

4. Es gibt für jedes Baumaterial eine bestimmte Luftschichtstärke, bei der die Luft keine Erniedrigung der Gesamtwärmeleitzahl der Konstruktion mehr herbeiführt, sondern eine Verschlechterung. Trotzdem können natürlich aus anderen Gründen Luftschichten von größeren Stärken konstruktiv gerechtfertigt sein, beispielsweise unter dem Gesichtspunkt der Material- oder Gewichtsersparnis.

In konstruktiver Hinsicht mit Rücksicht auf die Wanderung der Feuchtigkeit mit dem Wärmestrom, auf Ausblasen bei Windanfall usw. sind die auf S. 16 angegebenen Punkte zu beachten.

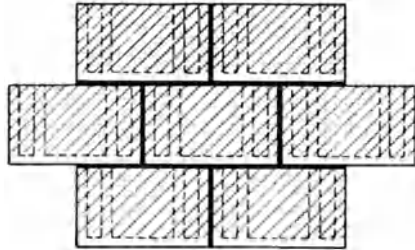


Abb. 20. Berechnungsfläche nach Zahlentafel 19 und 20.

b) Der Wärmeschutz von Hohlsteinen.

Die nachstehenden Tabellen¹ sollen die richtige Konstruktion und Beurteilung von Hohlsteinen ohne umfangreiche Rechnung ermöglichen. Sie umfassen Steinstärken von 20—30 cm, können aber genügend genau noch auf etwas geringere oder größere Stärken angewandt werden. Sie beziehen sich jedoch lediglich auf den Teil der Hohlsteine, der die Hohlräume enthält, da es sich hier allein um dessen richtige Ausbildung handelt, umfassen also nicht die Wirkung eines durchgehenden Bodens oder Deckels und der Mauerfugen, jedoch natürlich den der Stege und Trennwände zwischen den Hohlräumen. Abb. 20 zeigt durch die schraffierte Fläche, was gemeint ist. Die Berechnung des Wärmeschutzes der Gesamtwand kann nach Beispiel 4—6, Abschnitt 14 erfolgen.

Da die Hohlräume vielfache Form haben können, ist es notwendig, sie gemäß Abb. 21 auf Grundformen zurückzuführen:

Abb. 21a besagt, daß mehrere Hohlräume, die im Sinne des Wärmestromes nebeneinander liegen, wie ein zusammenhängender Hohlraum der gleichen Stärke und mit einer Breite gleich der Summe der Breite der einzelnen Hohlräume betrachtet werden kann.

¹ Vgl. J. S. Cammerer u. W. Christian: Die Wärmeschutzwirkung von Luftschichten und Hohlräumen in Gebäudewänden. Gesundh.-Ing. 1933 S. 229 und 1934 S. 54.

Zahlentafel 19. Berechnung der Wärmeleitfähigkeit von Hohlsteinen aus der Wärmeleitfähigkeit des festen Materials (Steinstärke 25 cm).

Flächenanteil der Hohlräume am Gesamtquerschnitt in %	Anteil der Breite der Hohlräume an der Gesamtbreite in %	Multiplikationsfaktor zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit des Gesamtquerschnittes bei einer Wärmeleitfähigkeit des festen Materials in kcal/mh °C von				Flächenanteil der Hohlräume am Gesamtquerschnitt in %	Anteil der Breite der Hohlräume an der Gesamtbreite in %	Multiplikationsfaktor zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit des Gesamtquerschnittes bei einer Wärmeleitfähigkeit des festen Materials in kcal/mh °C von				
		$\lambda =$	$\lambda =$	$\lambda =$	$\lambda =$			$\lambda =$	$\lambda =$	$\lambda =$	$\lambda =$	
		0,25	0,5	0,75	1,0			0,25	0,5	0,75	1,0	
a) 1 Reihe von Hohlräumen												
10	40	1,06	0,94	0,89	0,85	60	80	1,40	0,94	0,72	0,60	
	60	0,98	0,88	0,80	0,74		100	1,22	0,81	0,60	0,48	
	80	0,94	0,82	0,73	0,65	80	100	1,63	0,98	0,70	0,54	
	100	0,90	0,76	0,66	0,58		c) 4 Reihen von Hohlräumen					
20	40	1,16	1,04	0,96	0,90	10	40	0,86	0,75	0,71	0,64	
	60	1,09	0,95	0,86	0,79		60	0,79	0,65	0,57	0,51	
	80	1,04	0,89	0,78	0,69	80	0,72	0,56	0,46	0,40		
	100	0,99	0,82	0,70	0,61	100	0,67	0,48	0,38	0,31		
40	40	2,18	1,49	1,24	1,10	20	40	0,90	0,76	0,69	0,64	
	60	1,50	1,20	1,04	0,92		60	0,80	0,64	0,55	0,49	
	80	1,33	1,08	0,92	0,80	80	0,72	0,53	0,43	0,37		
	100	1,24	0,99	0,82	0,70	100	0,65	0,44	0,33	0,26		
60	60	2,94	1,79	1,38	1,15	40	60	0,91	0,68	0,57	0,50	
	80	1,94	1,42	1,14	0,97		80	0,79	0,55	0,44	0,37	
	100	1,66	1,24	0,99	0,82	100	0,70	0,44	0,32	0,26		
	80	80	3,93	2,13	1,52	1,21	60	80	0,93	0,60	0,46	0,38
100		2,50	1,67	1,25	1,00	100		0,81	0,48	0,34	0,27	
10		40	0,98	0,84	0,78	0,73	10	40	0,77	0,67	0,61	0,57
		60	0,88	0,75	0,67	0,60		40	0,76	0,65	0,59	0,55
	80	0,83	0,68	0,58	0,50	20	60	0,65	0,51	0,44	0,39	
	100	0,78	0,61	0,50	0,42		80	0,53	0,37	0,30	0,26	
20	40	1,03	0,89	0,81	0,75	40	100	0,45	0,27	0,20	0,15	
	60	0,95	0,79	0,69	0,62		60	0,64	0,50	0,43	0,38	
	80	0,88	0,70	0,58	0,51	80	0,53	0,36	0,29	0,24		
	100	0,82	0,61	0,49	0,41	100	0,42	0,24	0,17	0,13		
40	60	1,20	0,92	0,77	0,67	60	80	0,54	0,36	0,28	0,24	
	80	1,07	0,80	0,65	0,55		100	0,43	0,23	0,16	0,12	
	100	0,98	0,69	0,54	0,44	80	100	0,45	0,23	0,16	0,12	
	d) 10 Reihen von Hohlräumen											

Abb. 21 b gibt an, daß jedoch eine Unterteilung nacheinander (in Richtung des Wärmestromes) nicht zusammengezogen werden darf, weshalb die obige Zahlentafel 19 entsprechende Angaben enthält.

Nach Abb. 21 c können verschieden starke, hintereinander geschaltete Hohlräume wie gleich starke Hohlräume desselben Flächenmaßes behandelt werden. Nach Abb. 21 b und c muß ein und derselbe Stein, je nach seiner Lage zum Wärmestrom, verschieden berechnet werden, wenn dadurch die Anzahl der Reihen „hintereinander“ geändert wird.

Abb. 21d versinnbildlicht, daß man kreisrunde oder ovale Querschnitte in flächengleiche quadratische bzw. rechteckige Querschnitte verwandeln muß.

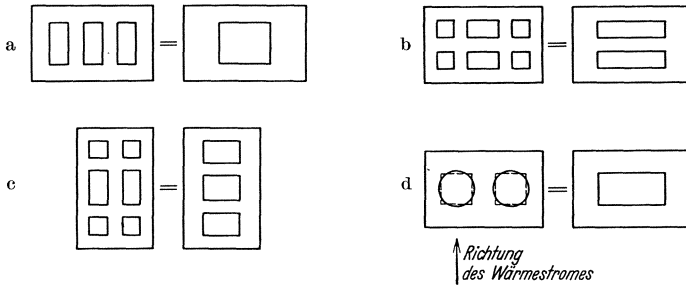


Abb. 21. Umwandlung beliebiger Hohlraumformen auf die Grundform der Berechnung.

Nimmt man diese Verwandlungen vor, so kann man in der Berechnungstafel 19 für beliebige Formen aus dem prozentualen Flächenanteil und Breitenanteil der Hohlräume am Querschnitt den Multiplikationsfaktor entnehmen, mit dem man die Wärmeleitfähigkeit des Steinmaterials zu vervielfachen hat, um die mittlere Wärmeleitfähigkeit des Gesamtquerschnittes zu erhalten. Die Tabelle gilt für eine Steinstärke von 25 cm, für Stärken von 20 bzw. 30 cm ist das Ergebnis noch mit dem Korrekturfaktor der Zahlentafel 20 zu multiplizieren.

Zahlentafel 20. Korrekturfaktor für 20 bzw. 30 cm Steinstärke.

Steinstärke in cm	Reihen- zahl der Hohl- räume	Flächenanteil der Hohlräume in % an der Gesamtfläche				
		10	20	40	60	80
20	1	0,94	0,93	0,91	0,88	0,85
20	2—10	0,93	0,92	0,89	0,85	0,82
30	1	1,05	1,06	1,08	1,11	1,14
30	2—10	1,06	1,07	1,10	1,14	1,17

Es ergibt sich daraus:

1. Ein bestimmter Flächenanteil von Hohlräumen ist um so nützlicher, in je mehr Reihen hintereinander man ihn auflöst.
2. Es ist vorteilhaft, dem gewählten Flächenanteil eine möglichst große Breite einzuräumen.
3. Es gibt eine obere Grenze, oberhalb derer der Hohlstein ungünstiger als der Vollstein ist. Sie wird durch den Multiplikationsfaktor 1,0 in Zahlentafel 19 angegeben.
4. Für eine bestimmte Breite und Reihenzahl gibt es einen günstigsten Flächenanteil der Hohlräume, der nach Möglichkeit eingehalten werden soll. Doch kann man vom Optimum ziemlich stark abweichen, ohne die Gesamtwärmeleitfähigkeit um mehr als 5% zu verschlechtern: Zahlentafel 21. Bis 4 Reihen ist daher keine untere Grenze, bei 10 Reihen nur in Ausnahmefällen noch eine obere Grenze anzuraten.

Diesen Tafeln liegt die Annahme zugrunde, daß die Wärme senkrecht zu den Oberflächen durch den Stein fließt. In Wirklichkeit trifft dies nicht genau zu, da der Wärmewiderstand an den Stegen anders als an den Stellen der Hohlräume ist. Nach den bekanntgewordenen Messungen an ausgeführten Gebäuden stimmt aber dieser Rechnungs-

gang mit der Wirklichkeit ungünstigstenfalls auf 15% überein¹ und ist zur Zeit durch keinen besseren zu ersetzen.

Zahlentafel 21. Zweckmäßigster Flächenanteil von Hohlräumen.

Reihen- zahl der Hohl- räume	Breite des Hohlraumes in % der Gesamt- breite	Zweckmäßigster Flächenanteil in % bei einer Wärmeleitzahl des Materials in kcal/mh ° C von			
		0,25	0,5	0,75	1,0
1	40—100	—	bis 14	bis 15	bis 17
2	40—100	bis 15	bis 20	bis 24	bis 30
4	40— 60	bis 24	bis 35	bis 40	bis 40
	80—100	bis 33	bis 45	bis 55	bis 60
10	40	keine Grenzen!			
	60	bis 60	ab 15	ab 20	ab 25
	80	bis 70	ab 20	ab 25	ab 30
	100	25—80	ab 40	ab 50	ab 55

Zahlentafel 22 mit den zugehörigen Abb. 22a—g zeigt an praktischen Ausführungen die Wirksamkeit einiger heute üblichen Formen. Die Werte sind für Materialien berechnet, die man aus Festigkeitsgründen jeweils in Betracht ziehen kann. Die gewählten

Wärmeleitahlen sind nur als ungefähres Rechenbeispiel zu betrachten, das einen einfachen Vergleich mit Zahlentafel 19 möglich machen soll. In Wirklichkeit wird man für Bims etwa eine Wärmeleitahl von 0,3, für Ziegel eine solche von 0,6 ansetzen, unter Berücksichtigung des verhältnismäßig niedrigen Feuchtigkeitsgehaltes in Hohlwänden. Man sieht, daß bei einer Reihe von Steinen der Vollstein wärmeschutztechnisch günstiger wäre und daß beispielsweise der Remystein gewinnen würde, wenn auch die Einfachluftschicht in Teil 1 in der Mitte unterteilt würde.

Zusammenfassend kann man etwa sagen, daß je nach der konstruktiven Ausgestaltung mit einem Flächenanteil von 20—40% folgende Verbesserung der Wärmeleitahl gegenüber dem Vollmaterial durch Hohlräume erzielbar sind:

bei Kiesbeton	etwa 50%
„ Ziegel	„ 40%
„ Schlackenbeton	„ 30%

Hohlsteine sind also ein durchaus brauchbares Mittel, man darf sie nur in ihrer Wirkung nicht überschätzen.

¹ Nach neueren noch unveröffentlichten Untersuchungen von E. Raich wird diese Berechnungsweise nur dann unzulässig, wenn die massiven Wandteile schräg zur Oberfläche verlaufen, so daß die Wärme nicht den Weg gemäß der Berechnungsannahme nimmt, besonders wenn gleichzeitig der Wärmeschutz der Luft-räume wesentlich anders als der des Steinmaterials ist.

Zahlentafel 22. Beispiele aus der Praxis.

Abb.-Nr.	Handelsname	Reihen- zahl der Hohl- räume	Stein- stärke in cm	Anteil des Hohlraumes in % der		Multiplikationsfaktor der Wärmeleit- zahl des Steinmaterials bei			
				Fläche	Breite	Bims- beton	Schlak- ken- beton	Ziegel	Kies- beton
						$\lambda =$ 0,25	$\lambda =$ 0,5	$\lambda =$ 0,75	$\lambda =$ 1,00
a	Ageho-Stein	1	25	66	88	—	—	1,18	0,98
b	Schlackenbetonhohlstein . .	1	28	34	61	1,48	1,20	—	—
c	Kabe-Stein	1	25	53	80	1,73	1,30	—	—
d	Feifelblockstein	2	18	16	42	—	—	0,73	0,67
e	Remy-Hohlstein, Teil mit Einfachluftschicht	1	25	29	48	1,48	1,17	—	—
	Teil mit Doppelluftschicht . .	2	25	38	85	1,03	0,76	—	—
f	Frewenziegel, Paßstein . . .	4	25	34	50	—	0,72	0,62	0,56
g	Wabenstein	15	25	22	48	—	0,66	0,59	0,54

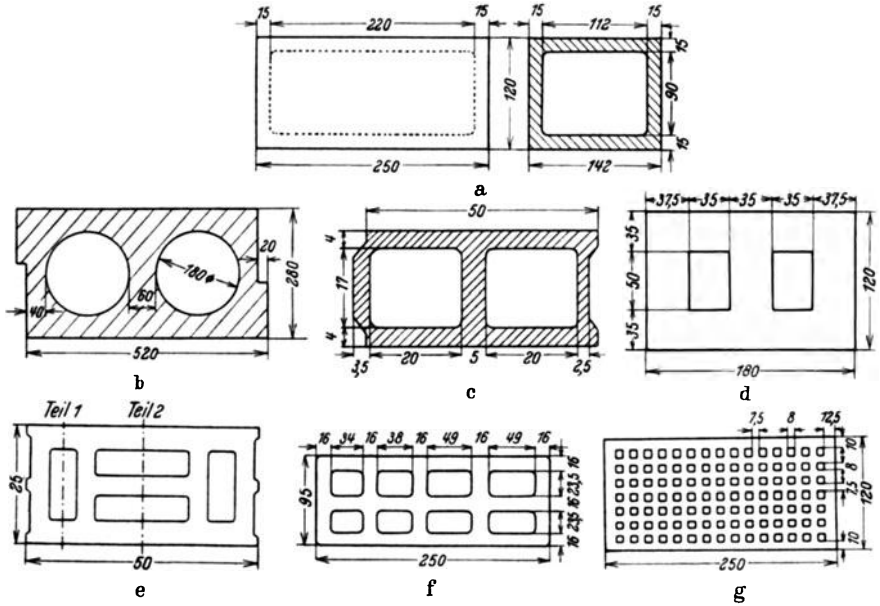


Abb. 22. Einige Hohlsteinformen.

c) Der Wärmeübergangswiderstand an den Oberflächen einer Wand.

Wie aus Abb. 2, S. 2 zu ersehen ist, hat die Wärme eines geheizten Raumes auf ihrem Weg durch die Wand hindurch nicht nur den Wärmeleitwiderstand der Wand selbst zu überwinden, sondern auch Übergangswiderstände an der inneren und äußeren Oberfläche. Diese bewirken, daß sich eine Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und der angrenzenden Luft einstellt dergestalt, daß die innere Oberfläche kälter als die Raumluft, die äußere wärmer als das Freie ist. Die genaue

physikalische Formulierung dieses Vorgangs wird kurz im III. Teil dargelegt. Hier sei nur angegeben, welche zusätzliche Schutzwirkung diese Wärmeübergangswiderstände darstellen.

Man kann auch sie in gleichwertiger Vollziegelstärke umrechnen und findet dann unter Zugrundelegung der in der Heiztechnik üblichen Zahlenwerte (vgl. Teil III):

Geschlossene Räume:

Senkrechte Flächen und horizontale Flächen, wärmere	
Seite unten	11 cm Ziegelstärke
Horizontale Flächen, wärmere Seite oben	15 cm „

Im Freien:

Innenbezirke von Städten	4 cm „
Außenbezirke von Städten	3 cm „

Nach neueren Untersuchungen von Cammerer und Dürhammer¹ ist der Wärmeübergangswiderstand auf der Innenfläche von Wänden sogar noch etwas größer, doch pflegt man im allgemeinen mit den angegebenen Werten zu rechnen, weil darin eine kleine Sicherheit für die Berechnung bei Heizanlage ist. Anders verhält es sich bei der Vermeidung von Schwitzwasser. Hier empfiehlt es sich auch bei senkrechten Flächen mit 15 cm, bei besonders ruhiger Luft — etwa in Winkeln — mit 19 cm gleichwertiger Ziegelstärke zu rechnen.

d) Der Wärmeschutz von Dachräumen.

Das Steil- und Drempehdach bietet durch den Dachraum den darunter befindlichen Wohnungen einen gewissen Wärmeschutz, der dem Flachdach fehlt. Geht man davon aus, daß bei allen Dacharten die eigentliche Deckenkonstruktion gleich sein kann, so läßt sich die Schutzwirkung des Dachraumes wie folgt erläutern:

1. Die Schrägdachdeckung hat meist einen merklich größeren Wärmeschutz als die ihr entsprechende Dichtung beim Flachdach, die in dieser Hinsicht stets belanglos ist (vgl. Zahlentafel 23).

2. Die eigentliche Deckenkonstruktion ist beim Steildach vor Windanfall geschützt. Nach dem vorigen Abschnitt bedeutet dies etwa den Wärmeschutz von 8 cm Ziegelmauerwerk.

3. Die Deckenkonstruktion selbst wird beim Schrägdach sehr trocken gehalten, während beim Flachdach der feuchtigkeitsdichte Abschluß an der Außenfläche einen dauernd höheren Feuchtigkeitsgehalt bedingt. Dieser Unterschied läßt sich mangels genauer Untersuchungen nur schätzen, doch wird man ihn bei Massivdächern, angesichts des großen Einflusses schon geringer Feuchtigkeitsmengen auf die Wärmeleitfähigkeit immerhin auf 20% des Wärmeschutzes der Deckenkonstruktion schützen dürfen.

¹ Cammerer, I. S. u. W. Dürhammer: Die Wärmeübergangszahl in Wohnräumen. Arch. Wärmewirtsch. 1934 S. 162.

Schräg- und Drempeldächer haben also allein durch ihre Grundform einen Wärmeschutz, der etwa zwischen 16—40 cm Vollziegelstärke liegt. Das bedeutet 2—5 cm Leichtdielen oder 1—2 cm Kork- bzw. Torfplatten. So kommt es, daß viele Massivdecken, die für sich keinen genügenden Wärmeschutz haben, unter dem Schräg- oder Drempeldach ohne weiteres zugelassen werden können, während beim Flachdach eine zusätzliche Wärmeschutzschicht notwendig ist. Über den Nutzen des Dachraumes gegenüber Sonnenbestrahlung im Sommer vgl. Abschnitt 8c.

Zahlentafel 23. Der Wärmeschutz gebräuchlicher Schrägdachdeckungen. (Errechnet nach DIN 4701, den Regeln des Verbandes der Zentralheizungs-Industrie. In den Werten ist der Einfluß der Luftdurchlässigkeit mit enthalten.)

Art der Konstruktion	Gleichwertige Vollziegelstärke in cm
Unverschaltete Dächer	
Ziegel, Wellblech, Zinkblech auf Latten, ohne Schalens- und Fugendichtung	0
Ziegel auf Latten mit gedichteten Fugen	2
2,5 cm Schalung auf Sparrenoberseite (Nut- und Feder- oder Stülpschalung)	
Ziegelbelag oder Wellblech ohne Fugendichtung auf Latten . . .	18
Dachpappe, Blech oder Schiefer	22
Doppeldachpappe	24
2,5 cm Schalung auf Sparrenunterseite mit dichten Fugen	
Dachhaut aus Ziegel, Wellblech, ohne Fugendichtung mit freiem Raum zwischen den Sparren	14
Dasselbe, jedoch Schalung aus Gipsdielen 2 cm	8
Dasselbe, jedoch Schalung aus Gipsdielen 5 cm	14

7. Der Wärmeschutz von Schnee auf Dächern.

Es finden sich in der Literatur sehr widersprechende Ansichten, die auch für oder gegen das Flachdach ins Feld geführt werden, inwieweit eine Schneelage wärmeschutztechnisch nützlich oder schädlich ist. Die Streitfrage läßt sich rechnerisch einfach entscheiden.

Je nach den Temperaturverhältnissen und der Wärmedurchlässigkeit des Daches kann Schnee die Wärmeverluste sowohl erhöhen als vermindern. Der Wärmeverlust wird erhöht, wenn unter den gegebenen Verhältnissen die äußere Oberflächentemperatur des Daches an sich über 0° liegen würde, also durch den schmelzenden Schnee auf 0° C herabgekühlt wird. Dies tritt nur bei Außenlufttemperaturen von etwa — 1 bis + 2° C ein.

Wenn die Lufttemperatur unter der vorstehend angegebenen Grenze liegt, ist die Wärmeschutzwirkung des Schnees abhängig von der

Schneehöhe und der Schneedichte. Nach verschiedenen Beobachtern kann der Zusammenhang zwischen der Wärmeleitzahl des Schnees und seinem Raumgewicht etwa laut Zahlentafel 24 angenommen werden, wobei natürlich erhebliche Abweichungen je nach der Struktur möglich sind.

Die dauernd mögliche Höhe des Schnees besitzt eine obere Grenze in dessen eigenem Wärmeschutz. Wenn die Schneehöhe das entsprechende Maß überschreitet, wird die Temperatur an der Oberfläche der Dachhaut auf über 0° C heraufgedrückt, so daß Schmelzen des Schnees eintritt. Diese Grenze hängt außerdem ab von der Schutzwirkung des Daches und von der Außenlufttemperatur.

Tabelle 24 gibt auch die dauernd mögliche Schneehöhe in Abhängigkeit vom Raumgewicht des Schnees für einen Wärmeschutzwert des Daches gleich einer 1½ Stein starken Ziegelmauer.

Zahlentafel 24. Wärmeleitzahl und höchste dauernd mögliche Höhe des Schnees auf Dächern.

Raumgewicht des Schnees in kg/m³	Wärmeleitzahl in kcal/mh ° C	Größte Schneestärke in cm bei	
		— 10° C	— 20° C
100	0,04	1,3	2,8
200	0,09	3,0	6,4
300	0,20	6,6	14
500	0,55	18	39
900 Eis	1,92	64	136

In der Wirklichkeit spielt sich der Vorgang in der Weise ab (genügender Schneefall vorausgesetzt), daß der frisch gefallene Schnee mit seinem losen Gefüge von beispielsweise 100 kg/m³ nach Überschreitung der dauernd möglichen Höhe (2,8 cm bei — 20° C) an der Berührungsstelle mit der Dachhaut zu schmelzen beginnt. Das Schmelzwasser fließt besonders bei niedrigen Temperaturen nur zum

geringsten Teil ab, zum andern Teil wird es durch Kapillarität in den Schnee hineingezogen, gefriert hier und erzielt so eine Verdichtung der unteren Schneeschicht. Die dauernd mögliche Schneehöhe stellt sich also nicht nur durch Verminderung der zu großen Schneehöhe durch den Schmelzvorgang ein, sondern auch durch Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit. Durch die Schwankungen der Lufttemperatur, Sonnenbestrahlung usw. werden sich natürlich die theoretisch möglichen Höchstmengen des Schnees nie lange halten.

Ist der Schneefall genügend reichlich, so ist trotz der Unsicherheiten, welche Dichte sich in den verschiedenen Partien des Schnees einstellt und welche tatsächliche Höhe deshalb dauernd erhalten bleiben kann, der Wärmeverlust durch das Dach sowohl während des Schmelzvorganges, wie nach Erreichung des Gleichgewichtszustandes jedenfalls konstant und auch unabhängig von der Lufttemperatur; denn sowohl während des Schmelzvorganges wie nach Eintritt des Gleichgewichts beträgt die Temperatur auf der Oberfläche des Daches stets 0° C, und sie kann nur dann niedriger werden, wenn nach Aufhören des Schneefalls durch Sinken der Lufttemperatur die ursprünglich dauernd mögliche Schneehöhe nunmehr den maximalen

Wert unterschreitet oder eben der Schneefall von vornherein ungenügend war.

Nachstehende Tabelle gibt für ein Dach von der Schutzwirkung der $1\frac{1}{2}$ Stein starken Ziegelmauer den Wärmeverlust mit und ohne Schnee, im letzteren Falle die maximale Schichthöhe vorausgesetzt.

Man sieht, wie erheblich die Schutzwirkung einer Schneedecke werden kann. Bemerkt sei, daß selbstverständlich bei schwachen Schneehöhen, wie schon angedeutet, der Wärmeverlust durch die Decke wieder abhängig von der Lufttemperatur ist.

Zahlentafel 25.

Wärmeverlust eines Daches mit und ohne Schnee (Temperatur unter dem Dach + 20°).

Außenlufttemperatur °C	Wärmeverlust in kcal/m ² h	
	ohne Schnee	mit Schnee
— 10	38,2	26,8
— 20	50,8	26,8

8. Die praktische Bedeutung der Wärmespeicherfähigkeit einer Wand.

Die Notwendigkeit, möglichst billig, aber doch hygienisch ausreichend zu bauen, hat zur Entwicklung von Leichtbauweisen geführt, die mit Hilfe von Wärmeschutzstoffen einen sehr geringen Wärmeverlust während des Heizbetriebes aufweisen, aber auch nur mehr eine geringe Wärmespeicherung besitzen. Beispielsweise fanden sich auf der Ausstellung „Sonne, Luft und Haus für Alle“, Berlin 1932, billige Haustypen mit einem verlässigen Wärmeschutz von 100—150 cm Ziegelmauerwerk, die Wärmespeicherfähigkeit betrug aber zum Teil nur 1% der gleichwertigen Ziegelstärke. Es muß daher die Rolle, welche die Wärmespeicherfähigkeit für den Wohnwert eines Hauses hat, besprochen werden, da sie in mancher Hinsicht überschätzt wird. So hat sich H. Reiher dafür eingesetzt¹, daß die Auskühleigenschaften der Umfassungswände von Wohnräumen mit hohem Luftfeuchtigkeitsgehalt (Küchen, Mehrpersonenschlafzimmer) nicht ungünstiger sein sollen, als die einer 20 cm starken Vollziegelmauer. Auch dürfe sich nach Abstellen der Heizung in Wohnräumen keine Unterschreitung des Taupunktes der Luft an der inneren Wandoberfläche geltend machen. Würde man dieser Forderung zustimmen, so läge darin eine empfindliche Einschränkung in der Konstruktionsfreiheit des Architekten.

Eine hohe Wärmespeicherfähigkeit der Wand hat folgende Wirkungen:

Ungünstig: Langsame Raumerwärmung beim Anheizen.

Günstig: Geringe Auskühlung nachts bei Stillsetzen der Heizung, Kühlbleiben der Räume an heißen Sommertagen.

¹ Reiher, H.: Entwurf für Forderungen im Wohnungsbau hinsichtlich Schallsicherheit und Wärmeschutz. Gesundh.-Ing. 1928 S. 737.

a) Der Einfluß der Wärmespeicherung auf den Anheizvorgang.

Nur in Sonderfällen, z. B. bei Kirchen oder Festsälen, die nur wenige Stunden am Tage oder gar in der Woche geheizt werden, sollte der Architekt überlegen, inwieweit durch Anordnung leichter und wärmeschützender Innenschichten die Aufheizung beschleunigt werden kann. Im Wohnungsbau genügt ein Ausgleich in der Heizanlage. Er ist nach Dinorm 4701, den „Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs und der Heizkörper- und Kesselgrößen von Warmwasser- und Niederdruckdampfheizungsanlagen“, für 9—12stündige Betriebsunterbrechungen am Tage folgender Zuschlag auf die Heizfläche zu wählen:

Naturbausteine, Kiesbeton, Fliesen, Betonfußboden ohne Belag	40%	Zuschlag
Ziegel, Kalksandstein, Fachwerk mit Ziegelausmauerung, Betonfußboden mit Linoleumbelag	30%	„
Hohlziegel und Schlackenbeton, Fußboden aus Ziegelmauerwerk mit Linoleumbelag	20%	„
Bimsbeton, Gipsdielen, Fußboden aus Hohlziegeln oder Schlackenbeton mit Linoleumbelag	8%	„
Massive Holzbauweisen, Holz auf massiver Unterlage	8%	„

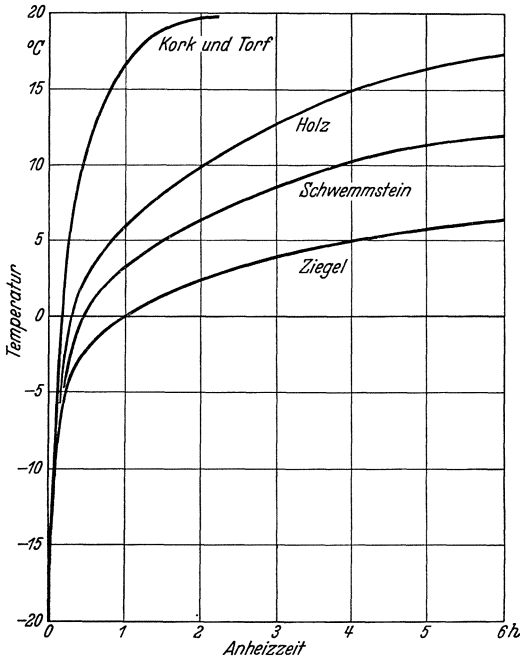


Abb. 23. Anwärmung eines Raumes mit Wänden verschiedener Wärmespeicherung, aber gleichen Wärmeschutzes. (Nach E. Schmidt.)

Bei Einzelofenheizung ist der Ausgleich der Wandart durch die Ofenart besonders einfach. Leichtbauweisen, die mit Rücksicht auf die Auskühlung speichernde Kachelöfen wünschenswert machen, sind leicht aufzuheizen, so daß die langsamere Anwärmung des Ofens selbst nicht stört. Umgekehrt ergänzen sich die Eigenschaften von Massivbauweisen und Eisenöfen. Wie verschieden an sich die Anwärmung eines Raumes je nach der Art des Wandbaustoffes, vor allem der inneren Schicht, vor sich geht, zeigt Abb. 23 nach Berechnungen von E. Schmidt¹, auf die aber nach dem Gesagten nicht weiter eingegangen zu werden braucht.

¹ Schmidt, E.: Neue Untersuchungen über den Wärmebedarf von Gebäuden und die Wärmeabgabe von Heizkörpern. Gesundh.-Ing. 1924 Heft 50.

b) Die nächtliche Auskühlung von Wohnräumen.

Alle Berechnungen des Auskühlvorganges von Wänden, die sich in der Literatur finden, gehen aus mathematischen Gründen von unendlich ausgedehnten Wandflächen aus und erfassen schon aus diesem Grunde die Verhältnisse bei kleinen Wohnräumen nur sehr unvollkommen¹. Denn eine Außenwand von beispielsweise 10 m² Fläche besitzt bei einer Wandstärke von 30 cm rund 4 m² Querschnittsfläche der Randkante, durch die Wärme seitlich abströmen kann. Es ist also für den Auskühlvorgang

ein großer Unterschied, ob die Wand etwa in der Mitte der Front eines mehrstöckigen Hauses sitzt, also bei beheizten Nebenräumen keine seitliche Wärmeabgabe erfährt, oder ob sie in einer Eckwohnung unter Dach mit drei Kanten an das Freie grenzt. Gerade bei Einfamilienhäusern, die heiztechnisch ohnehin am ungünstigsten sind, bilden zwei oder drei abkühlende Kanten die Regel. Auch die Größe und Anzahl der Fenster, die Wärmespeicherung des Mobiliars, der Trennwände

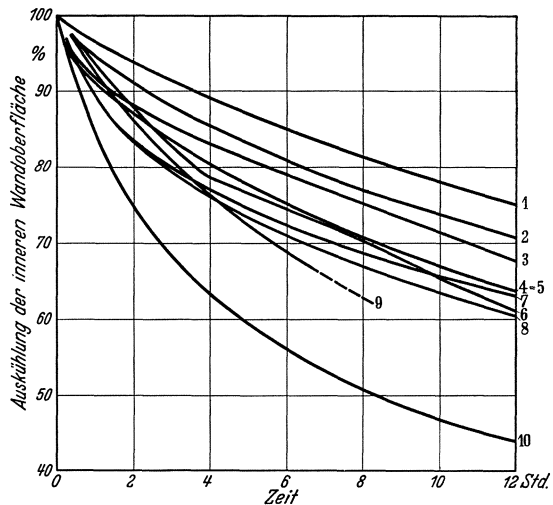


Abb. 24. Nächtliche Auskühlung von Wänden nach Messungen in Wohnungen.

und der Heizung, sowie die Temperatur der Nebenräume, sind von erheblichem Einfluß auf den Auskühlvorgang eines Zimmers.

Aus diesem Grunde sind in Zahlentafel 26 und Abb. 24 eine Reihe von Auskühlversuchen in Häusern von Großsiedlungen zusammengestellt. Als charakteristisch für die Auskühlung ist dabei die Abnahme der Temperaturdifferenz zwischen innerer Wandoberfläche und Außenluft gewählt, und zwar ist sie in Prozent des Anfangswertes bei Stilllegen der Heizung angegeben. Man sieht aus den 5 Kurven der Vollziegel- und Kalksandsteinmauern, daß man für 1—1½ Stein starke Massivmauern im Mittel etwa mit einer 70%igen Abnahme der Temperaturdifferenz in 8 Stunden rechnen kann und daß dieser Wert durchaus auch bei Hohlwänden eingehalten werden kann, obwohl diese nur etwa das halbe Gewicht besitzen.

¹ Trotzdem sind selbstverständlich theoretische und experimentelle Arbeiten über die Wärmehaltung von Mauern ohne Randverluste zur Klärung der Zusammenhänge sehr erwünscht. Wichtige neuere Arbeiten sind: E. Clauß: Zeichnerische Untersuchung von Anheiz- und Auskühlvorgängen in Wänden, und E. Settele: Versuche über die Auskühligenschaften von Wänden. Gesundheits-Ing. 1935 S. 57 und 73.

Zahlentafel 26. Allgemeine Abkühlungs-

Nr.	Wandkonstruktion	Gesamt- wand- stärke in cm	Him- mels- rich- tung
1	10,5 cm Klinker, 23,5 cm Kalksandstein	35,5	S
2	38 cm Ziegel	42	N
3	25 cm Ziegel	28	—
4	38 cm Ziegel	41	N
5	26,5 cm Remybimsbetonhohlstein	30	N
6	17 cm Kiesbeton, 2 cm Kork	29	N
7	8,5 cm Bimshohlsteinplatte, 2,0 cm Kork, 2,0 cm Gipsdiele	13,5	W
8	Kalksandstein	36	S
9	10 cm Klinker, 6 cm Luft, 10 cm Schwemmstein	28	S
10	25 cm Kiesbeton, 3 cm Solomit	32	N

Will man aus der Abnahme der inneren Oberflächentemperatur einen Rückschluß auf die Abnahme der Raumtemperatur ziehen, so muß man nach Abb. 25 berücksichtigen, daß die Luft während der Heizung

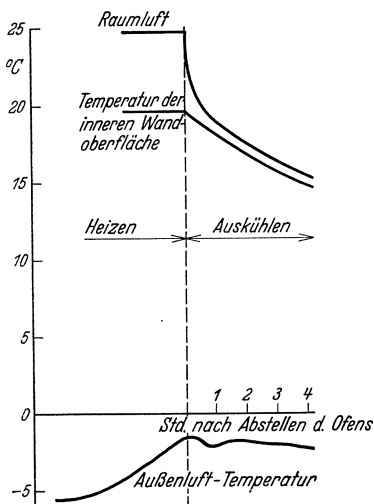


Abb. 25. Annäherung der Lufttemperatur an die innere Wandtemperatur bei Stilllegen der Heizung.

etwa 6° C wärmer als die innere Oberfläche einer normalen Wand ist (Lufttemperatur im Freien — 10° C). Diese 6° C gehen beim Abschalten der Heizung sehr schnell verloren, weil die Luft keine nennenswerte Speicherfähigkeit besitzt. Die Lufttemperatur gleicht sich also bei der Auskühlung der Temperatur der Raumbegrenzungsflächen an, wie das Bild zeigt. Bei einer Anfangstemperatur von +20° C würde sie also in wenigen Minuten auf etwa +14° C sinken und gemäß Zahlentafel 26 nach 8 Stunden bei normalem Ziegelmauerwerk nur noch +7° C betragen.

Die Versuche der Zahlentafel 26 wurden mit speicherlosen, elektrischen Strahlöfen durchgeführt; man kann also durch Aufstellung von Kachelöfen oder durch einfache heiztechnische Maßnahmen,

wie das Einlegen einiger Briketts in Papierumhüllung in den Ofen am Abend, die Morgentemperatur des Raumes erheblich erhöhen. Daher erscheint es richtiger, die Wände unabhängig von ihren Auskühlungscharakteristika nach den Gesichtspunkten des II. Teiles zu konstruieren und gegebenenfalls durch Art und Durchführung der Heizung den Wünschen der Bewohner Rechnung zu tragen, wie dies schon bei der Besprechung der Anwärmung erwähnt wurde.

verhältnisse der untersuchten Wände.

Stockwerk	Möblierungszustand	Heizzustand der Nebenräume	Kanten angrenzend an		Auskühlung nach 8 Stunden in % der anfänglichen Temperaturdifferenz
			Außenluft	Erdreich oder Keller	
I	vollmöbliert	unbeheizt	1	—	81,4 ¹
E	leer	keine Nebenräume	2	1	77,0 ²
E	„	keine Nebenräume	1	1	75,0
E	„	beheizt	1	1	71,1
E	vollmöbliert	unbeheizt	1	1	71,0
E	halbmöbliert	beheizt	1	1	70,5 ³
E	leer	keine	2	1	69,1
I	„	unbeheizt	1	—	66,7
IV	„	beheizt	2	—	(63)
IV	„	unbeheizt	2	—	50,7

Es fragt sich nun, ob die von H. Reiher angestellte Betrachtung, daß die innere Oberflächentemperatur einer Wand bei der Auskühlung den Taupunkt der Luft nicht unterschreiten dürfe, an dieser Folgerung etwas ändert. Ein Blick auf Abb. 24 und 25 lehrt aber, daß nicht einmal normales Ziegelmauerwerk diese Forderung in der Regel erfüllt, so daß offenbar die ausfallende Feuchtigkeitsmenge unschädlich sein muß.

Zahlentafel 27. Ausfallende Luftfeuchtigkeit bei Küchen und Schlafräumen.
 Anfangslufttemperatur + 20°
 Lufttemperatur im Freien — 10°
 Innere Wandtemperatur nach 8 Stunden . . + 2°
 Zimmergröße: 4 × 5 × 3 m = 60 m³

Raum	Anfangsfeuchtigkeit in g	Wasserniederschlag aus Luftfeuchtigkeit in g	Wasserausatmung zweier Personen in 8 Stunden in g	Wasserdampf-abgabe zweier Personen in 8 Stunden in g
Küche	934	598	—	—
Schlafzimmer	623	287	maximal 320	maximal 320

Eine rechnerische Nachprüfung bestätigt dies auch. Sie sei für zwei Arten von Räumen durchgeführt:

1. Für einen Raum mit sehr hoher Luftfeuchtigkeit, etwa einer Küche, bei der aber nachtsüber keine weitere Feuchtigkeitszufuhr erfolgt. Anfangsluftfeuchtigkeit 90%.

2. Für einen Schlafräum, in dem die Anfangsfeuchtigkeit nur 60% beträgt, dem aber durch die Wasserdampf-abgabe zweier erwachsener Menschen auch während der Auskühlzeit Feuchtigkeit zugeführt wird⁴.

¹ In Nähe Außenkante führt ein Kamin hoch.
² Garagenwand in etwa doppelter Länge eines normalen Zimmers und sehr kleines Fenster.
³ Während der Abkühlung Besichtigung durch einige Herren.
⁴ Die Wasserausatmung ruhender Personen beträgt 15—20 g/h, die insensible Hautverdunstung etwa 20 g/h bei 20° C. Letzterer Betrag ist eigentlich nicht voll in Rechnung zu setzen, da ja die Luftfeuchtigkeit auch in der Nähe des warmen Körpers durch die Raumauskühlung hoch wird.

Wie nun aus Zahlentafel 27 zu ersehen ist, beträgt die in 8 Stunden ausfallende Feuchtigkeitsmenge bei der Küche 598 g, beim Schlafraum 927 g¹. Rechnet man, daß zwei Raumseiten an die Außenluft grenzen, so trifft auf diese ein Feuchtigkeitsniederschlag von

$$22,2 \text{ bzw. } 34,3 \text{ g/m}^2$$

(die Fensterflächen trotz ihrer niedrigen Temperatur gleich gerechnet). Dieser Niederschlag reicht nur hin, um den Feuchtigkeitsgehalt des Verputzes um etwa 0,2 Vol.-% zu erhöhen. Das ist ein Betrag, der nur einen Bruchteil des dauernd vorhandenen Wassergehaltes beträgt und bei Wiederinbetriebnahme der Heizung unschwer in den Raum zurückverdunstet.

Zusammenfassend kann man also sagen, daß weder mit Rücksicht auf die Raumtemperatur am Morgen, noch auf den Schwitzwasserausfall während der nächtlichen Auskühlung eine Vorschrift über eine Mindestspeicherfähigkeit der Wände gerechtfertigt ist. Natürlich darf der hier behandelte Schwitzwasseranfall während der Auskühlung nicht mit jenem verwechselt werden, der bei unzureichendem Wärmeschutz während des Heizbetriebes eintritt und der unbedingt durch genügende Bemessung der Wände nach Teil II, Abschnitt 15 vermieden werden muß.

c) Die Erwärmung von Wohnräumen im Sommer.

In dem folgenden Abschnitt 9 wird gezeigt werden, daß die Oberflächentemperatur von Wänden und Dächern durch Sonnenbestrahlung etwa 75° C erreichen kann. Daraus ist ohne weiteres verständlich, daß die Erwärmung von Wohnräumen an heißen Sommertagen sehr lästig und unzutraglich werden kann. Die Einflüsse, von denen die innere Raumtemperatur abhängt, sind noch mannigfacher als beim nächtlichen Auskühlvorgang und hängen auch stark von den betrieblichen Verhältnissen ab. Um wenigstens die charakteristischen Temperaturwerte festzustellen, wurden vom Verfasser² folgende Bauweisen untersucht.

1. Als Typ einer gänzlich speicherlosen Bauweise ein kleines Probehaus (2,5 × 2,3 × 2,1 m) aus Holzbrettern von 2 cm Stärke mit Flachdach. In die Südwand konnte ein Fenster von 0,66 m² eingebaut werden. Bei einer Versuchsreihe wurden Seitenwände und Dach mit Stroh von 12 cm Stärke (Wärmeschutz etwa = 130 cm Ziegelmauerwerk) ausgekleidet. Innenraum nicht möbliert, also ebenfalls speicherlos.

2. Als mäßig speichernde Konstruktion ein Holzbalkenhaus von 4,6 × 6,0 m Grundfläche, mit Schrägdach, einem Innenraum von 2,35 m

¹ Dabei sind lauter ungünstige Annahmen gemacht: daß die Auskühlung der inneren Oberfläche der Wand 50% beträgt, daß die Heizung speicherlos ist und daß ein Eindringen von Luft durch Fenster und Türen (die ja absolut trockener ist) völlig vermieden wird.

² Vgl. J. S. Cammerer: Über die Erwärmung von Wohnräumen im Sommer. Wärmewirtsch. Nachr. 1934 S. 71.

Höhe und einem Giebelraum von 1,5 m Scheitelhöhe. Stärke der runden Holzbalken im Mittel 18 cm, Fugendichtung durch Moos. Dachneigung 25°.

3. Als Versuchshaus einer altbewährten Bauweise ein größeres Ziegelhaus von 10,5 × 15,0 m Grundfläche und 9,0 m Giebelhöhe, Wandstärke zwischen 34 und 51 cm, Neigung des Schrägdaches 39°.

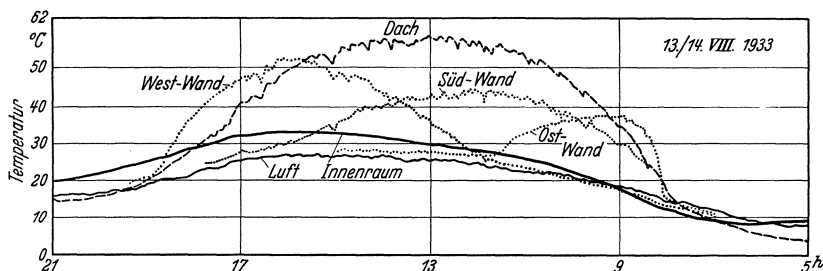


Abb. 26. Temperaturen durch Sonnenbestrahlung bei einer speicherlosen Bauweise mit Flachdach.

Sämtliche Versuchshäuser waren ziemlich genau nach den Himmelsrichtungen orientiert. Das Holzbalkenhaus hatte außerdem ein überstehendes Dach (2,0 m nach Süden, 1,6 m nach Norden, 1,1 m nach Osten und Westen).

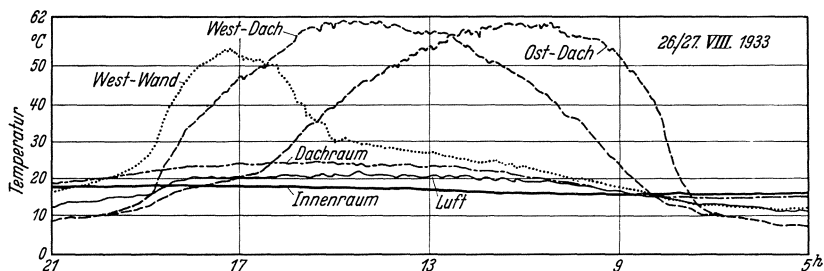


Abb. 27. Temperaturen durch Sonnenbestrahlung bei einem Holzbalkenhaus mit Schrägdach und Dachraum.

Abb. 26 und 27 zeigen je eine Temperaturaufzeichnung an dem kleinen Probehaus und dem Holzbalkenhaus, die im einzelnen im folgenden Abschnitt besprochen werden. Hier sei lediglich auf den Verlauf der Temperaturkurven der Außenluft und des Innenraumes aufmerksam gemacht. In Abb. 28 ist deshalb der Temperaturunterschied zwischen der Innenluft und dem Freien nochmals für sich aufgetragen unter Hinzufügung noch anderer Meßbeispiele aus der Originalarbeit. Man erkennt, daß das kleine Probehaus, besonders bei eingebautem ungeschützten Südfenster, die höchste Übertemperatur schon am heißen Nachmittag erreicht, also zur ungünstigen Zeit, während bei den Innenräumen der beiden anderen Häuser dies erst in der Nacht der Fall ist.

Bei Tag sind letztere kühler als die freie Luft. Deshalb sind auch die Temperaturen im Dachzimmer des Massivhauses (Kurve *d*) als erträglich zu bezeichnen, obwohl sein Tagesmittel infolge des Einbaus des Zimmers im heißen Dachraum verhältnismäßig hoch über der mittleren Außentemperatur liegt (nach Zahlentafel 28 um 5° C). Der große Unterschied

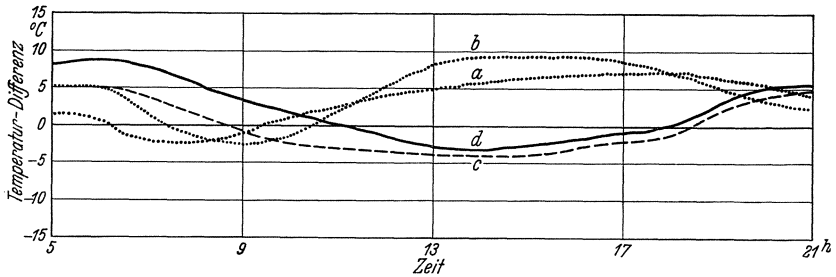


Abb. 28. Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft bei Sonnenbestrahlung. *a* Speicherlose Bauweise, *b* dgl. mit ungeschütztem Fenster, *c* Holzbalkenhaus mit beschattendem Dach und entlüftetem Dachraum, *d* Dachzimmer unter Ziegeldach.

zwischen Holzbalkenhaus und Probehaus ist aber nicht nur auf die verschiedene Wärmespeicherfähigkeit der Wände zurückzuführen, sondern vor allem auch auf die Schutzwirkung des — entlüfteten — Dachraumes und des vorspringenden Daches beim Holzbalkenhaus. Vgl. die Westwand-Kurve in Abb. 27.

Zahlentafel 28. Temperaturverhältnisse in Häusern mit verschiedenem Wärmespeichervermögen und verschiedenen Dacharten bei Sonnenbestrahlung.

Meßstelle	Tägliche Temperaturschwankungen der Innenluft		Mittlere Temperaturdifferenz zwischen Raum und Außenluft in ° C	Höchste Temperatur in ° C am		
	in ° C	als Vielfaches der Außenschwankung		28. 8. 1933	7. 9. 1933	11. 9. 1933
			Außenluft	—	—	—
Kleines Probehaus, ohne Isolation, ohne Fenster	19,8	1,23	3,9	—	—	—
Kleines Probehaus, ohne Isolation, mit Fenster	21,4	1,54	6,6	—	—	32,9
Kleines Probehaus, mit Isolation, ohne Fenster	15,2	1,18	3,3	25,1	23,8	—
Holzbalkenhaus, Innenraum	2,7	0,24	1,2	18,2	—	—
Holzbalkenhaus, Dachraum, gut entlüftet	11,1	0,97	3,7	24,5	—	—
Ziegelhaus, Raum 1	1,4	0,10	2,0	—	15,2	—
„ „ 2	1,0	0,07	1,2	—	13,7	—
„ „ 3	1,0	0,07	2,0	—	15,1	—
„ Dachraum, wenig entlüftet	15,3	1,10	6,8	—	26,7	31,3
„ Dachzimmer	4,6	0,34	5,0	—	19,2	19,7

Die wichtigsten Meßergebnisse sind in Zahlentafel 28 zusammengestellt. Von hygienischer Bedeutung sind folgende Werte:

Tägliche Temperaturschwankung der Innenluft.

Mittlere Differenz zwischen Raum- und Außenlufttemperatur.

Höchste Tagestemperatur des Raumes.

Wie die im Druck hervorgehobenen Zahlenwerte erkennen lassen, sind die Verhältnisse bei der speicherlosen Bauweise ohne Dachraum unerträglich. Die täglichen Temperaturschwankungen übertreffen die des Freien bis um 54 %, die Mitteltemperatur ist bis zu 6,6° C höher. Die höchste beobachtete Temperatur (11. 8. 33) betrug 35,6° C. (Vgl. auch Abb. 28.) Sehr ähnlich liegen übrigens die Verhältnisse bei den Dachräumen der anderen Häuser, die aber ihrerseits einen sehr wirksamen Schutz für die darunterliegenden Räume darstellen. Das Holzbalkenhaus kommt aus den schon erwähnten Gründen (Dachraum, beschattendes Dach) dem massiven Ziegelhaus überraschend nahe.

Eine geringe Wärmespeicherung der Wände kann also durch folgende Maßnahmen weitgehend ausgeglichen werden:

Entlüfteter Dachraum oder entlüftete Hohlschichten unter der Dachfläche.

Vorspringendes Dach.

Isolierung mit speicherfähiger Innenschicht.

Abschirmen der Fensterflächen gegen die Sonne durch Holzläden, Jalousien oder Vorhänge.

Lüftung der Räume während der kühlen Nacht.

Geschlossenhalten der Fenster in der heißen Tageszeit.

Helle Farbanstriche².

Die Wirkung einer Isolierung mit innerem Wärmespeicher ist noch nicht untersucht. Die übrigen Maßnahmen sind praktisch altbekannt,

¹ Gemessen an der Dachfläche. Die Zahlenwerte sind abgerundet. Die Tabelle ist der auf der folgenden Seite genannten Arbeit entnommen.

² Vgl. darüber den folgenden Abschnitt, aber auch das dort über die Wirkung von Staub- und Rußablagerung Gesagte.

Zahlentafel 29. Beschattende Wirkung von vorspringenden Dächern auf Wände (nach J. S. Cammerer und W. Christian) (für 50° geographische Breite nach Messungen der Strahlungsintensität in Potsdam).

Überstand ¹ des Daches in % der Wandhöhe	Durch das Dach abgehaltene Strahlungswärme in kcal/m ² Tag am			
	1. Januar		1. Juli	
	Süden	Osten Westen	Süden	Osten Westen
	Flachdach			
10	95	38	560	310
20	200	70	1050	560
30	250	100	1450	780
40	320	125	1800	1000
60	470	200	2050	1400
	30° Schrägdach			
10	250	65	560	390
20	510	120	1150	750
30	700	190	1550	1100
40	920	250	1950	1420
60	1400	350	2050	1900

werden aber oft genug nicht beachtet. Zahlentafel 29 zeigt, daß durch vorspringende Dächer die im Winter erwünschte Sonneneinstrahlung auf die Wände nur wenig eingeschränkt wird. Man sollte nur bei schrägen

Zahlentafel 30. Beschattete Höhe einer Südwand durch vorspringende Dächer am 1. Januar. (Nach J. S. Cammerer und W. Christian¹.)

Dachvorsprung gemessen an der Dachfläche in m	Schattenhöhe in m			
	Flachdach		Schrägdach (30°)	
	9h (15h)	12h	9h (15h)	12h
0,5	0,075	0,15	0,32	0,38
1	0,15	0,30	0,63	0,76
2	0,30	0,60	1,26	1,52

Süddächern den Dachüberstand nicht größer als $\frac{1}{4}$ der Wandhöhe machen. Für die Fenster ist allerdings auch teilweise Beschattung im Winter nicht erwünscht. Zahlentafel 30 gibt für die maßgebende Südwand an, um wieviel die Oberkante der Fenster unter dem Dach von der obersten Wandkante entfernt sein muß, damit sie im Winter gänzlich unbeschattet bleiben.

9. Die Wärmestrahlung der Sonne auf Bauten.

Die von der Sonne auf die Grenze der Erdatmosphäre gestrahlte Wärmemenge, die sog. „Solarkonstante“, beträgt rund 1200 kcal/m²h. Beim Durchgang durch die Luftschicht wird diese Strahlung aber sowohl in ihrer Zusammensetzung an Strahlengattungen als auch in ihrer Stärke erheblich geändert. Die Gasmoleküle und Staubteilchen der Luft zerstreuen die Strahlung und reflektieren sie diffus. Der Wasserdampf und

Zahlentafel 31. Direkte Sonnenstrahlung auf die Normalfläche in kcal/m²h nach Messungen in Potsdam 1907—1923.

Monat	Sonnenhöhe in °					
	10	20	30	40	50	60
Januar	463 (45)					
Februar	438 (59)	644 (31)				
März	392 (64)	572 (41)	670 (33)			
April	377 (63)	560 (38)	680 (26)	739 (22)		
Mai	366 (54)	549 (31)	642 (26)	705 (21)	758 (17)	
Juni	363 (52)	551 (29)	639 (25)	693 (21)	735 (18)	769 (15)
Juli	314 (80)	484 (49)	592 (36)	667 (26)	675 (28)	
August	317 (85)	479 (57)	580 (41)	643 (33)	687 (29)	
September	365 (71)	571 (36)	663 (28)	734 (19)		
Oktober	396 (67)	621 (29)	700 (24)			
November	410 (71)	592 (42)				
Dezember	479 (48)					

Kohlensäuregehalt der Luft absorbiert Wärmestrahlen bestimmter Wellenlänge. Die Wärmemenge, die auf eine zur Strahlung senkrechten vollkommen schwarzen Fläche (Normalfläche) wirklich auftrifft, hängt deshalb ab:

¹ Cammerer, J. S. u. W. Christian: Die in Wohnräume eindringende Sonnenwärme. Wärmewirtschaft im Städtebau und Siedlungswesen. 1935 S. 121.

1. Von der Sonnenhöhe, da der Weg der Sonnenstrahlen durch die Lufthülle um so länger ist, je tiefer die Sonne steht.
2. Vom Klima des Ortes, insbesondere der Luftfeuchtigkeit, die auch an ein und demselben Ort zeitlich stark schwankt.
3. Von der Höhe der Orte über dem Meeresspiegel.
4. Von der Verunreinigung der Luft durch Staub und Rauch.

Zahlentafel 32. Einfluß der Luftrübung über Großstädten.

Sonnenhöhe in °	5	10	20	30	40	50	60
Sonnenstrahlung in Großstädten in % gegenüber normaler Luftbeschaffenheit	30	45	68	78	82	85	85

Zahlentafel 33. Direkte Sonnenstrahlung auf Hauswände und Dächer in kcal/m²h. (Für 50° geographische Breite nach Messungen der Strahlungsintensität für Potsdam.) (Nach J. S. Cammerer und W. Christian¹.)

S-, SO-, O-, NO-, N-Richtung		4 ⁰⁰	5 ⁰⁰	6 ⁰⁰	7 ⁰⁰	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	17 ⁰⁰	Tages- summe
		kcal/m ² Tag														
S-, SW-, W-, NW-, N-Richtung		20 ⁰⁰	19 ⁰⁰	18 ⁰⁰	17 ⁰⁰	16 ⁰⁰	15 ⁰⁰	14 ⁰⁰	13 ⁰⁰	12 ⁰⁰	11 ⁰⁰	10 ⁰⁰	9 ⁰⁰	8 ⁰⁰	7 ⁰⁰	
Normalfläche	1. 1.						350	530	588	602						3640
	1. 7.	3	285	485	585	656	720	765	800	813						9430
Flachdach	1. 1.						41	112	159	175						800
	1. 7.		42	146	266	392	518	623	698	725						6070
S- Richtung	Wand	1. 1.					263	458	549	576						3160
		1. 7.					62	178	273	342	368					2060
	Schrägdach	1. 1.						167	326	412	440					2280
		1. 7.			56	207	370	537	675	775	811					6010
SO-, SW- Richtung	Wand	1. 1.					347	496	487	407	289	152				2220
		1. 7.		86	213	320	414	456	441	376	259	107				2640
	Schrägdach	1. 1.						208	345	382	356	282	173	18		1790
		1. 7.		79	233	390	545	676	760	792	758	658	511	345	176	24	5950
O-, W- Richtung	Wand	1. 1.					228	244	141							632
		1. 7.	2	250	441	517	523	468	352	191						2780
	Schrägdach	1. 1.						149	219	208	152	67				800
		1. 7.	1	162	348	488	600	682	715	700	628	509	363	215	78	5500
NO-, NW- Richtung	Wand	1. 1.					—	—	—							—
		1. 7.	3	269	411	412	326	206	55							1690
	Schrägdach	1. 1.						23	14							37
		1. 7.	2	171	332	436	502	551	566	550	497	416	318	220	133	70 ²	4800
N- Richtung	Wand	1. 1.		—	—	—										—
		1. 7.	2	130	140	46										675
	Schrägdach	1. 1.		—	—	—										—
		1. 7.	1	101	197	254	308	358	402	433	444					4520

¹ Cammer, J. S. u. W. Christian: Die Wärmewirkung der Sonnenstrahlung auf Bauten. Wärmewirtsch. Nachr. 1934 S. 116.

² = 20 um 18^h.

Die meteorologischen Unterlagen sind verhältnismäßig knapp. Zahlentafel 31 gibt die Strahlungsstärke auf die Normalfläche nach Messungen in Potsdam¹. Sie zeigt die starke Zunahme mit der Sonnenhöhe, sowie daß im Sommer die Strahlung schwächer ist als in den anderen Jahreszeiten infolge des höheren Wasserdampfgehaltes der Luft. Zur Kennzeichnung des Höheneinflusses ist in Klammern der Prozentsatz beigefügt, um den die Strahlung in Arosa (1860 m) stärker als in Potsdam ist² (bis zu 85%). In Zahlentafel 32 ist die Wirkung der Lufttrübung³ über Großstädten wiedergegeben. Die Schwächung der Strahlen beträgt bei niedrigem Sonnenstand bis zu 70%.

Die Oberflächen von Bauten stehen meist nicht oder nur während eines sehr kurzen Teiles des Tages senkrecht zur Strahlungsrichtung.

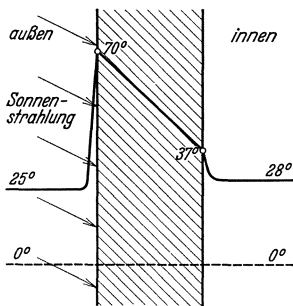


Abb. 29. Temperaturverteilung in einer Wand bei Sonnenbestrahlung.

Die auf Wände und Dächer bei verschiedenen Himmelsrichtungen entfallenden Strahlungsbeträge sind deshalb in Zahlentafel 33 für die mittlere geographische Breite von Deutschland berechnet, und zwar sowohl für die Tagesstunden wie für den ganzen Tag. Die Angaben sind für den 1. Januar und den 1. Juli gemacht, da die Wärmewirkung der Sonnenstrahlen für Wohnbauten im Winter im wesentlichen erwünscht, im Sommer unerwünscht ist. Von den einer Wand zugestrahlten Wärmemengen werden bei dunklen Flächen etwa 90% absorbiert. (Über den Einfluß der Farbe vgl. Zahlentafel 35.) Die dadurch

hervorgerufenen Temperaturen, die sich gänzlich von denen nach Abb. 2 S. 2 bei Raumheizung unterscheiden, sind in Abb. 29 dargestellt. Die erhitzte Außenfläche der Wand gibt den größten Teil der absorbierten Wärme wieder an die freie Luft ab. Nur etwa 6—20% dringen in die Wand ein, können aber, wie wir gesehen haben, zu unangenehmen Temperaturerhöhungen führen.

Die starke Erhöhung der Raumtemperatur durch nicht abgeschirmte Fenster erklärt sich daraus, daß gewöhnliches Fensterglas für den Hauptteil der Sonnenstrahlen beinahe völlig durchlässig ist. Da aber andererseits, wie aus Zahlentafel 17 zu ersehen ist, Glas Strahlung niedriger Temperatur ebenso absorbiert wie eine gewöhnliche Wandfläche, so folgt daraus die bekannte Treibhauswirkung von Fensterflächen, wie

¹ Marten, W.: Das Strahlungsklima von Potsdam. Abhandlungen des Preuß. Meteorol. Instituts, Bd. 8 Nr. 4.

² Götze, P.: Das Strahlungsklima von Arosa. Berlin 1926.

³ Linke, F.: Transmissionskoeffizient und Trübungsfaktor. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, Bd. 10 S. 91.

sie in Glashäusern von Gärten, in Fabriken und Ateliers besonders in Erscheinung tritt. Denn die durch die Glasfläche eindringenden Sonnenstrahlen sind wie in einer Falle gefangen, da ihre Wärmeabsorption an den Raumwänden eine Rückstrahlung ergibt, für die die Glasscheiben undurchlässig sind. Etwa 90% der auf das Glas gestrahlten Wärmemengen verbleiben im Raum und wirken wie eine Heizung (vgl. Zahlentafel 28, 2. Versuch).

Auf ein Fenster trifft infolge Beschattung durch das vorspringende Mauerwerk weniger Wärme, als Zahlentafel 33 für eine Wand angibt. Zahlentafel 34 gibt diese Verringerung bei einem mittelgroßen Fenster und zwei verschiedenen großen Wandvorsprüngen. (Berechnungsformel für beliebige Fenstergrößen vgl. Teil III.)

Die Oberflächentemperatur einer bestrahlten Wand ist wichtig für die Wärmedehnung von Bauteilen (vgl. Abschnitt 16c, S. 96) und ist abhängig von der

¹ Durch das Fenster hindurch dringen je Scheibe um 10% weniger, als angegeben ist, infolge von Absorption im Glas und Reflexion an den Glasoberflächen. Außerdem ist die Fläche der Holzteile zu berücksichtigen, wenn man die Absolutwerte der in den Raum eindringenden Strahlung berechnen will. Dies kann hinreichend genau durch

Multiplikation mit dem Verhältnis der Glasfläche zur Gesamtfensterfläche geschehen. Einfachfenster sollen nicht mit der Außenkante der Wände abschneiden, da sich sonst an den kalten Begrenzungsflächen der Wand Schwitzwasser bildet.

Zahlentafel 34. Die Verringerung der täglichen Sonnenbestrahlung einer Fensterfläche durch die Wandbeschattung¹.

Fensterhöhe 1,8 m, Fensterbreite 1,0 m.

Himmelsrichtung	Datum	Auf das Fenster auftreffende Strahlung in % der Strahlung auf die Wand bei einem Wandvorsprung	
		0,15 m	0,30 m
Süden	1. 1.	0,905	0,844
	1. 7.	0,664	0,480
Südost und Südwest	1. 1.	0,808	0,630
	1. 7.	0,810	0,550
Osten und Westen	1. 1.	0,692	0,456
	1. 7.	0,854	0,743
Norden	1. 1.	—	—
	1. 7.	0,257	0,096

Zahlentafel 35. Übertemperatur verschiedener Oberflächen über Lufttemperatur bei senkrechter Sonnenbestrahlung.

Art der Oberfläche	Höchste gemessene Übertemperatur	
	in °C	in % gegen dunkle Fläche

Nach K. Schropp

Schwarze Flächen, matt oder glänzend, Dachpappe, verzinktes Eisenblech, schwarzes Leinengewebe oder Papier	54	100
Weiße Flächen, matt oder glänzend, weißes Leinen, weißes Papier	24	44
Rohes Aluminiumblech	36	67
Aluminiumbronze	30	56
Glänzende Aluminiumfolie	19	35

Nach J. S. Cammerer

Weiß, matt	21	38
Zinnoberrot	30	55
Zitronengelb	27	50
Grün	31	57
Blau	38	70
Glänzende Aluminiumfolie	20	37

Stärke der Sonnenbestrahlung, gemäß den atmosphärischen Verhältnissen,
 Bewegung der Außenluft,
 Absorptionsfähigkeit der Oberfläche,
 Wärmeableitung nach dem Rauminnern.

Zahlentafel 35 gibt die Übertemperaturen über Lufttemperatur für verschiedenartige Oberflächen nach Versuchen von K. Schropp und solchen des Verfassers. Die Werte gelten für senkrechte Bestrahlung und sehr ruhige Luft, stellen also die Höchstwerte dar, die in Deutschland überhaupt in Frage kommen. Man sieht, daß weiße Flächen nur etwa 40% der Übertemperatur der schwarzen Fläche annehmen und beinahe die günstigen Werte von blanken Metallflächen erreichen¹. Andersfarbige Flächen halten etwa die Mitte, mit Ausnahme von Blau, das sich bereits der Wirkung von Schwarz nähert. Inwieweit man allerdings in der Praxis die günstige Wirkung von weißen Anstrichen ausnutzen kann, hängt weitgehend von der Ruß- und Staubablagerung unter den örtlichen Verhältnissen ab.

Zahlentafel 36. Übertemperatur von Bauoberflächen bei Sonnenbestrahlung nach Messungen in der Praxis.

Bauteil	Höchste Übertemperatur der Oberfläche in °C		Art der Oberfläche
	gemessen	umgerechnet auf den 22. 6.	
Flachdach	35,6	46,5	Dachpappe
Schräges Ost- und Westdach	39,8	42,8	Mit Karbolineum gestr. Schindeln
Schräges Süddach	35,3	36,5	Ziegeldach
Ost- und Westwand	33,5	35,8	Holz, frisch gehobelt
Ost- und Westwand	35,3	38,1	Holz mit Rinde, verwittert
Südwand	28,6	18,8	Holz, frisch gehobelt

Die Meßwerte von Schropp gelten für eine sehr geringe Wärmeableitung nach dem Rauminnern, da sie auf 5 cm starken Kork- und Torfplatten gefunden wurden. Der Einfluß der Wärmeableitung ist allerdings nicht groß und erniedrigt den bei schwarzen Flächen gefundenen Höchstwert für normale Durchlässigkeit von Wänden um 2—4°.

Wenn also auch die Höchstwerte von Schropp praktisch nicht oder nur sehr kurze Zeit erreicht werden (senkrechte Strahlung, völlige Windstille), so zeigten doch schon die Abb. 26 und 27, daß die Erwärmung von Bauflächen größer ist als man gemeinhin annimmt. Zahlentafel 36 gibt die bei den Versuchen über die Raumerwärmung gefundenen Übertemperaturen von Dächern und Wänden. Man sieht, daß in Deutschland

¹ Vgl. demgegenüber die Strahlungszahl bei Temperaturen unter 200° C, also im Gebiet der nicht sichtbaren Strahlen, wo die Farbe praktisch ohne Einfluß ist (Zahlentafel 17, S. 34).

Temperaturen auf Bauflächen von etwa 75° C auftreten können, was für die Beständigkeit von Anstrichen, insbesondere von Wasserdichtungsmitteln auf Dächern und für die Wärmedehnungen in Konstruktionsteilen von weitreichender Wirkung sein muß. Auf letztere wird in Teil II, Abschnitt 16c in Zusammenhang mit der Ermittlung der Temperaturverteilung in einer Wand noch näher eingegangen. Hier sei nur noch auf die bekannte Tatsache hingewiesen, daß Südwände im Winter sich stärker über Lufttemperatur erwärmen als im Sommer, weil im Sommer bei dem hohen Sonnenstand um die Mittagszeit der Einfallswinkel sehr schräg wird. Dies geht sowohl aus Zahlentafel 33 als auch aus 36 hervor.

10. Der Luftaustausch durch Wände, Fenster und Türen.

Der bekannte Versuch von Pettenkofer, der durch einen Ziegelstein hindurch ein Licht ausblies, hat im Bauwesen vielfach zu ganz falschen Vorstellungen über die Luftdurchlässigkeit von Raumbegrenzungsflächen geführt. Durch normale Wandflächen, die verputzt sind, ist auch bei starkem Windanfall ein nennenswerter Luftdurchgang nicht möglich. In diesem Sinne gibt es also ein „Atmen der Wände“

nicht und das, was diesem Ausdruck tatsächlich Berechtigung verleiht, ist nicht der Luftdurchgang, sondern das Wandern der Feuchtigkeit

mit dem Wärmestrom in den Wandporen, das, wie in Abschnitt 4 gezeigt, nicht behindert werden darf, wenn es nicht zu den unangenehmsten Feuchtigkeitsstörungen kommen soll.

Der Luftdurchgang durch eine Wandfläche kann — ähnlich wie die Luftkonvektion — auf natürliche Ventilation (durch die Gewichtsunterschiede zwischen der warmen Innen- und der kalten Außenluft) oder auf Windanfall zurückgehen. Praktisch interessiert nur der durch Windanfall entstehende Druckunterschied, der in Zahlentafel 37 in Millimeter Wassersäule angegeben ist. Bei schrägem Auftreffen des Windes auf eine Fläche ist er geringer, bei 45° etwa halb so groß.

Abb. 30 zeigt an einem Strömungsmodell¹ anschaulich den Stauvorgang des Windes an einem Haus und die hinter dem Haus und hinter Vorsprüngen entstehende Wirbelbildung und Luftverdünnung. Man erkennt, daß sich der Staudruck nach Tafel 37 selbstverständlich auf

Zahlentafel 37. Staudruck des Windes bei senkrechtem Aufprall auf ebene Flächen.

Windgeschwindigkeit in m/sec	1	2	4	8	12
Staudruck in mm WS	0,1	0,25	1,1	4,2	9,5

¹ Freundlichst zur Verfügung gestellt von der Zentrale für Gasverwertung e. V., Berlin.

mindestens zwei Außenwände verteilt, meist aber noch dazu auf ein oder zwei Innenwände, so daß bei der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit, die in Deutschland 4,7 m/sec beträgt, auf eine Wand ein Staudruck von nicht über 0,8 mm Wassersäule trifft.

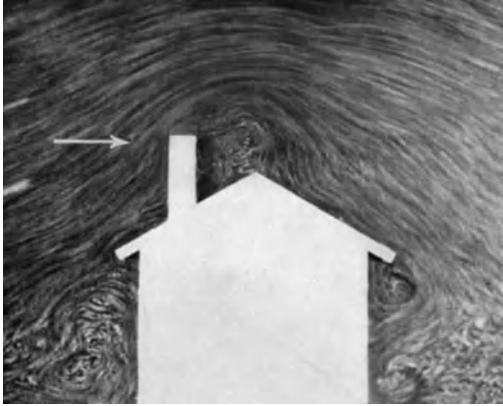


Abb. 30. Veranschaulichung der Windströmung an einem Haus.

Die umfassendsten Zahlenangaben über den Luftdurchgang durch verschiedene Bauteile sind E. Raisch¹ zu verdanken. Seine Ergebnisse sind in Zahlentafel 38 zusammengestellt.

Ein Feuchtigkeitsgehalt verringert die Luftdurchlässigkeit von Wänden, und zwar um so stärker, je feiner die Poren sind. Für die normalerweise in Frage kommende Feuchtigkeit ist der Einfluß aber relativ bedeutungslos.

Ein Feuchtigkeitsgehalt verringert die Luftdurchlässigkeit von Wänden, und zwar um so

Zahlentafel 38. Der Luftdurchgang durch Bauteile bei Windanfall².
(Nach E. Raisch.)

Bauteil	Stärke in m	Luftdurchgang in m ³ /m ² h bei einer Druckdifferenz von 1 mm WS ²
Ziegelmauer beiderseits verputzt	0,4	0,28
Ziegelsteinmaterial	0,065	0,0043
Putz, 1 Teil Kalk, 5 Teile Sand	0,025	0,14
„ zweimal geweißt	0,025	0,012
Rohrputz, 1 Teil Kalk, 5 Teile Sand, 1/2 Teil Romazement	0,02	0,009
Rabitzputz, 1 Teil Kalk, 5 Teile Sand, 2 Teile Romazement	0,04	0,003
Holzhohlwand mit beiderseitiger Dachpappe und freigespannter Asphaltwellpappe	0,102	1,05
Dieselbe, einseitig verputzt	0,124	0,34
Gutschließendes Kastendoppelfenster (1,66 × 2,1 m)		20
Dasselbe, inneres Fenster allein		42
„ äußeres Fenster allein		24
Fenster mit doppelter Verglasung in einfachem Rahmen, abgedichtet (1,51 × 1,21 m)		12
Dasselbe		7,5
Gedichtete Schiebefenster mit doppelter Verglasung (1,56 × 0,84 m)		0,16
Türe mit Keilfalzen (2,1 × 1,3 m)		1,9

¹ Raisch, E.: Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionsteilen. Gesundh.-Ing. 1928 S. 485.

² Für alle Fenster und Türen ist der Luftdurchgang für die Gesamtfläche angegeben.

Aus Zahlentafel 38 lassen sich nachstehende grundsätzliche Folgerungen ziehen:

1. Der Luftwiderstand eines Mauerwerks ist nicht durch das Steinmaterial bedingt, sondern allein durch den Putz, da die Fugen des Mauerwerks den Widerstand der Steine nicht zur Geltung kommen lassen. So lassen die Ziegelsteine selbst nur ungefähr den 380. Teil der Luftmenge durch, die durch eine Ziegelmauer mit Verputz strömt.

2. Der Zusatz von Zement zum Verputz und jeder Anstrich, schon das einfache Weißen, verringert den Luftdurchgang bedeutend.

3. Der Luftaustausch durch die Außenfläche eines Hauses wird so gut wie ausschließlich durch Fenster und Türen hervorgerufen.

4. Die Luftdurchlässigkeit eines Fensters bestimmter Konstruktion kann je nach dem genauen Passen der Falze sehr verschieden sein. Sehr gute Einfachfenster können besser schließen als Doppelfenster.

Weitere Feststellungen an Fenstern stammen von Chr. Eberle¹, K. Siegwart² und in besonders großer Anzahl von Reiher, Fraaß und Settele³. Die letztgenannten drei Autoren haben auch den grundsätzlichen Einfluß des Anstrichs, von Dichtungen und von sorgfältiger Ausführung gezeigt. Alte, schlecht schließende Fenster lassen sich durch Gummi- oder Metalldichtungen wesentlich verbessern. Die verschiedenen Falzformen waren ohne merkbaren Einfluß, so daß einfache ebene Flächen, die leicht zu bearbeiten und gegebenenfalls leicht zu dichten sind, vorzuziehen sind. Die Paßflächen sollen möglichst breit sein, um die Länge des Luftweges zu erhöhen. Besondere Vorsicht hat man walten zu lassen, wenn ein Fenster nachträglich abgehobelt werden muß. Es werden folgende praktische Forderungen aufgestellt:

1. Einschränkung der Länge der Falze, breite gut passende Falze auch für Lüftungsflügel.

2. Wetterbeständige Anstriche für Holz- und Eisenfenster.

3. Kräftige, auch nach längerem Gebrauch gut schließende Beschläge.

4. Grundsätzliche Verwendung von lufttrockenem Holz nach den Vorschriften von DIN-Blatt 1052.

Nach Raisch spielt die Falzlänge nicht die Rolle, wie man glauben sollte, da die Hauptdurchgangsstellen für die Luft am rechtwinkeligen Stoß zweier Fugen, also an den Ecken der Fensterflügel sind. Auch die Größe der Fenster ist also nicht ausschlaggebend. Trotzdem wird

¹ Eberle, Chr.: Versuche über die Luftdurchlässigkeit und den Wärmeverlust von Fenstern. *Gesundh.-Ing.* 1928 S. 566. Der Luftdurchgang wechselt auch mit der Jahreszeit. Im November war er infolge Quellen des Holzes in einem Fall nur halb so groß wie im Juli.

² Siegwart, K.: Luftdurchlässigkeit von Holz- und Stahlfenstern. *Gesundh.-Ing.* 1932 S. 515.

³ Reiher, H., K. Fraaß, u. E. Settele: Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. *Wärmewirtsch. Nachr.* 1933 S. 42, 55 u. 111.

in den „Regeln“ der Zentralheizungsindustrie DIN 4701 davon ausgegangen, da größere Fenster meist auch weniger gut schließen. Dieses Verfahren dürfte dem der amerikanischen Heizindustrie vorzuziehen sein, bei dem die Falzlänge zugrunde gelegt wird. Im übrigen darf man Einzelergebnissen von Messungen keine zu genaue Gültigkeit beimessen, da die Unterschiede der einzelnen Stücke einer bestimmten Fensterart sehr groß sein können.

Raisch hat auch den Luftaustausch durch die wichtigsten sonstigen Durchgangsstellen untersucht. Er fand, daß bei 1 mm WS Druckdifferenz etwa zu setzen ist:

Schlüsselloch	50 m ²	geputzte, geweißte Wand
Schlitz am Rolladenkasten 25 × 10 mm . . .	230 m ²	„ „ „
Unterer Türspalt, 1 m Länge, 5 mm Breite .	4700 m ²	„ „ „

Zahlentafel 39. Luftdurchlässigkeit von Dachhautkonstruktionen. (Nach E. Settele.)

Konstruktion	Luftdurchlässigkeit in m ³ /m ² h bei 1 mm WS Druckdifferenz
Pfannen, auf Latten, unverschalt	770
Falzziegel, auf Latten, unverschalt	720
Biberschwänze auf Latten, unverschalt	340
Schiefer oder Ziegel auf guter Bretterschalung	156

Eine große Rolle spielt der Luftdurchgang auch bei vielen Dachdeckungen, die Settele¹ untersucht hat (s. nebenstehende Zahlentafel).

In einer neueren Veröffentlichung² hat E. Raisch und H. Steger eine große Reihe

von Bau- und Schüttstoffen auf Luftdurchlässigkeit untersucht, weil dafür ein gewisses Interesse für den Luftschutz besteht. Nebenstehende Abbildung 31 gibt in Diagrammform einige Ergebnisse daraus³. (Beim Ablesen den logarithmischen Maßstab beachten!) Auch hierbei zeigte sich

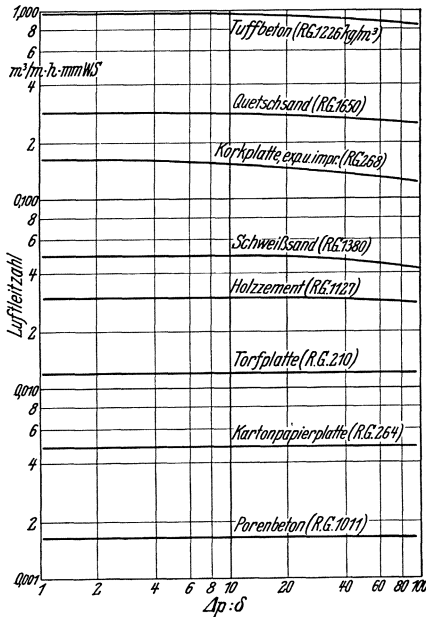


Abb. 31.

¹ Settele, E.: Der Wärmeschutz durch Dachkonstruktionen. Gesundheits-Ing. 1932 S. 319.

² Raisch, E. u. H. Steger: Die Luftdurchlässigkeit von Bau- und Wärmeschutzstoffen. Gesundh.-Ing. 1934 S. 553.

³ Unter Luftleitzahl ist in Abb. 31 die je Stunde durchgehende Luftmenge in m³ für 1 mm WS Druckdifferenz 1 m² Fläche und 1 m Wandstärke verstanden. Als Abszisse ist die Druckdifferenz je m Wandstärke aufgetragen.

der überragende Einfluß von Verputz und Anstrich für das praktische Ergebnis. So war:

	Luftdurchgang bei 8 cm Korkstärke
Korkplatte expandiert imprägniert 145 kg/m ³	8,8 m ³ /m ² h 1 mm WS
Dieselbe mit 16 mm Zementputz.	0,001 m ³ /m ² h 1 mm WS
Dieselbe verputzt, mit Leimfarbe geweißt	undurchlässig.

Da der hohe Luftdurchgang durch Fenster und Türen den Wärmebedarf eines Hauses so erheblich erhöht, so hat der Architekt sein Augenmerk außer auf eine sorgfältige Durchbildung dieser Verluststellen darauf zu richten, daß Anzahl und Größe dieser Flächen dem tatsächlichen Bedarf angepaßt sind. Ästhetische Wirkungen dürfen nicht mit einem laufenden Heizbedarf erkauft werden, wenn dies die Verhältnisse der Bewohner nicht gestatten. Vgl. Abb. 66 S. 108.

Auf die Berechnung der ausgetauschten Luftmenge und der dadurch hervorgerufenen Wärmeverluste braucht hier nicht eingegangen zu werden, da die vorstehend gemachten Angaben für den Architekten genügen. Gegebenenfalls können die zitierten Veröffentlichungen und vor allem die „Regeln“ der Zentralheizungsindustrie (DIN 4701) herangezogen werden. Aus letzteren sei noch folgender Überblick über den Wärmeverlust durch Fenster und Türen, einschließlich des Luftdurchgangs errechnet.

Zahlentafel 40. Der Wärmeschutz von Türen und Fenstern nach DIN 4701. (Fugen nicht besonders gedichtet.)

	Wärmedurchgangszahl in kcal/m ² h ° C	Wärmeverlust als Vielfaches des Verlustes der 1/2 Stein starken Ziegelwand
Türen		
Außentüren, Eisen	6,5	4,7
„ Holz	4,5	3,3
Einfache Balkontür, Holz mit Glasfüllung	6,5	4,7
Doppelte Balkontür, Holz mit Glasfüllung	4,5	3,3
Innentüre	3	2,2
Fenster		
Einfachfenster, Eisenrahmen	8	5,8
„ Holzrahmen	7	5,1
Doppelverglasung, Eisenrahmen	5,5	4
„ Holzrahmen	4,5	3,3
Doppelfenster, Eisenrahmen	3,8	2,8
„ Holzrahmen	3,5	2,5
Schaufenster	6	4,4

11. Die Wärmeableitung durch Fußböden.

Da Fußböden dauernd mit dem menschlichen Körper in direkte oder indirekte Berührung kommen, ist dafür nicht nur ein genügend geringer Wärmedurchgang wie für eine Wand zu fordern, wenn sie gegen das Erdreich oder kalte Räume grenzen (z. B. über Durchfahrten), sondern

sie dürfen auch dem berührenden Fuß nur wenig Wärme entziehen. „Fußkalte“ Böden rufen gesundheitliche Schädigungen hervor.

Bei sehr kurzer Berührung sind allein die obersten Schichten des Fußbodens maßgebend. Erst mit längerer Dauer der Berührung kommen auch die tiefer liegenden Schichten zur Wirkung. Die ausschlaggebende Eigenschaft ist dabei außer der Oberflächenbeschaffenheit (rauhe Oberflächen wirken wärmer) die sog. „Temperaturleitfähigkeit“, die sich aus der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärme und dem spezifischen Gewicht des Materials zusammensetzt.

Zahlentafel 41. Wärmeableitung von Fußböden.

Bodenbelag	Abkühlung in °C eines Versuchskörpers in		
	1 Min.	6 Min.	15 Min.
Nach F. Eichbauer			
Hartlinoleum 3,6 mm auf Zementestrich		3,0	
Korklinoleum 4 mm		1,9	
„ 8 mm		1,45	
Parkett		2,2	
Riemenholzboden		2,1	
Reinkorkestrich		0,6	
Solenhofer Platten		7,0	
Nach H. Reiher			
Walton-Linoleum 3 mm auf Gipsestrich	3,8	6,8	8,6
„ 3 mm „ Zementestrich	4,2	8,0	10,6
Dasselbe + 4 mm Korkment auf Gipsestrich	3,3	4,6	5,3
„ + 4 mm „ „ Zementestrich	3,5	4,9	5,9
Korklinoleum 4 mm auf Zementestrich	2,4	4,7	6,9
Zementestrich	4,0	8,6	11
Hartholzbelag	3,2	4,7	5,8

In Zahlentafel 41 sind einige kennzeichnende Werte von F. Eichbauer¹, sowie von H. Reiher und W. Hoffmann² zusammengestellt. Die Versuche wurden in der Weise vorgenommen, daß eine elektrisch auf etwa 38° C geheizte Kupferplatte ähnlich dem menschlichen Fuß auf die Bodenfläche gesetzt wurde. Die entstehende Abkühlung der Kupferplatte ist ein Maß für den Wärmeentzug, den ein Fuß erleidet, und ist in die Tabelle eingetragen. Die Werte haben natürlich nur eine relative Gültigkeit, weil sie von der Art der Kupferplatte, der Stärke der Heizung usw. abhängen, so daß man also auch die Werte der beiden Forscher untereinander nicht vergleichen kann. Man sieht aber deutlich, wieviel günstiger Holzfußböden und Korklinoleum, sowie Linoleum entsprechender Stärke oder auf geeigneter Unterlage gegenüber einem Zementboden oder einem Plattenbelag sind.

¹ Eichbauer, F.: Über die Wärmeableitung von Fußböden. Gesundh.-Ing. 1912 Heft 48.

² Reiher, H. u. W. Hoffmann: Neuere Untersuchungen über die Wärmehaltung von Fußbodenbelägen. Vom wirtschaftlichen Bauen, 8. Folge. 1930. Dresden: Verlag Osk. Laube.

12. Die experimentelle Bestimmung des Wärmeschutzes von Wänden.

Es haben sich drei Meßmethoden der Untersuchung von Baumaterialien auf Wärmeschutz herausgebildet, die sich grundsätzlich in der Art unterscheiden, wie das Ergebnis auf die Praxis anzuwenden ist:

1. Messung an kleinen Probepplatten in vollkommen trockenem Zustand im Laboratorium.
2. Messung an Probemauern im Laboratorium bei verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt.
3. Messung an ausgeführten Bauten.

Die erste Untersuchungsmethode, die im In- und Ausland im sog. Plattenapparat vorgenommen wird (vgl. Abb. 32)¹, hat den Vorteil, nur kleine Probepplatten mit einer Fläche von etwa 50×50 cm und nur Versuchszeiten von 2—3 Wochen zu benötigen. Alle praktischen Verhältnisse, wie der Einfluß der Fugen beim Mauerwerk, die Arbeitsgenauigkeit, die Größe des in Frage kommenden Feuchtigkeitsgehaltes und dessen Einfluß auf die Wärmeleitzahl, müssen aber rechnerisch (hinsichtlich der

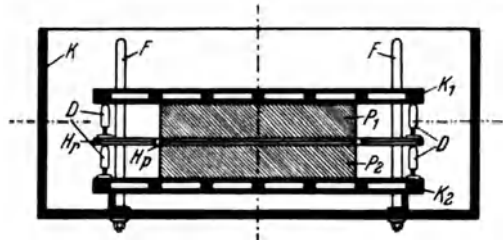


Abb. 32. Plattenapparat nach R. Poensgen.

Feuchtigkeit nach Zahlentafel 4, 5, 6, 12 und 14) berücksichtigt werden. Messungen an feuchten Stoffen sind, soweit sie den Wärmeschutz von Wänden anbelangen, unsicher, da durch den Einbau der Probekörper zwischen Metallplatten eine Feuchtigkeitsverteilung wie bei ausgeführten Wände in kontrollierbare Weise nicht eingestellt werden kann. Man kann nur eine gleichmäßige Feuchtigkeitsverteilung sicherstellen oder es stellt sich eine einseitige Anhäufung der Feuchtigkeit nach Abb. 10 S. 13 ein. In beiden Fällen ergeben sich Wärmeleitahlen, die den Verhältnissen von Baustoffen nicht entsprechen (vgl. Zahlentafel 11, 12, 13). Im einzelnen besteht die Meßmethode nach Abb. 32 darin, daß in einer Heizplatte H_p Wärme in genau meßbarem Betrage elektrisch erzeugt wird, die durch die beiden Probekörper P_1 und P_2 zu Kühlplatten K_1 und K_2 abfließt. Durch Anordnung eines Heizringes H_r wird dafür gesorgt, daß die ganze in der Heizplatte erzeugte Wärme ohne Randverlust durch den Probekörper strömt. Alle Temperaturmessungen, die an zahlreichen Stellen des Apparates notwendig sind, werden mit Thermoelementen ausgeführt.

¹ Im wesentlichen nach dem Grundgedanken von R. Poensgen: Ein technisches Verfahren zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit plattenförmiger Stoffe. Forschg. Ing.-Wes. Heft 130. Berlin: Julius Springer 1912.

Hingegen liefern Messungen an Probemauern nach Abb. 33 eine richtige Feuchtigkeitsverteilung und damit zutreffende Wärmeleit Zahlen. Man untersucht dabei die Mauer in längeren Zeitabschnitten (meist im Verlauf von Monaten) während der Austrocknung bei verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt. Es ist hierbei nur eine Größe aus der Messung nicht zu entnehmen, nämlich welche Feuchtigkeitsmenge sich nun tatsächlich

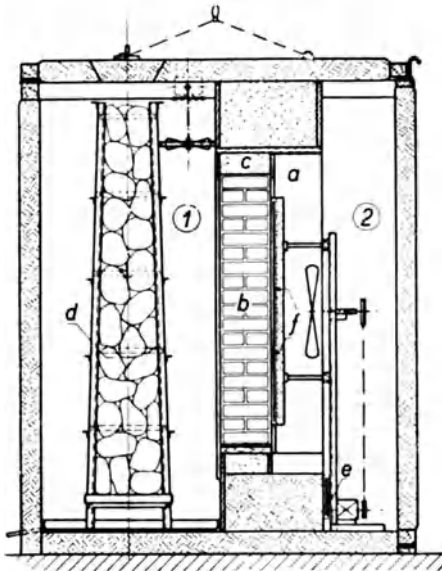


Abb. 33. Verfahren zur Prüfung von Wänden und Wandkonstruktionen im Laboratorium. (Methode des Forschungsheimes für Wärmeschutz, München.) 1 Kaltraum, 2 Warmraum a Zwischenwand. b Versuchswand, c Korkschröt, d Eisbehälter, e elektrischer Heizkörper, f elektrischer Flächenheizkörper.

bei ausgeführten Mauern im Durchschnitt findet. Hierüber ist also eine Annahme nach Zahlentafel 4, 5 oder 6 zu machen und dazu aus den Versuchen die entsprechende Wärmeleit Zahl zu entnehmen. In den verschiedenen Instituten werden derartige Messungen in ziemlich abweichender Art ausgeführt. In Abb. 33 ist die Meßweise des Forschungsheimes für Wärmeschutz, München, gezeichnet, wobei die Versuchswand in der Mitte durch einen elektrischen Heizkörper erwärmt wird, der sich in einem gesondert geheizten Luftraum befindet. Auf der anderen Seite der Wand befindet sich ein durch Eis oder maschinell gekühlter Luftraum. Auch hier kann man durch Einstellung der Heizung des

Warmraumes dafür sorgen, daß die im Heizkörper erzeugte Wärme ohne seitlichen Verlust senkrecht durch die Wand fließt. Der Vorteil dieser Methode ist, daß sie die Änderung der Wärmeleit Zahl mit dem Feuchtigkeitsgehalt liefert, also den Wärmeschutz im ganzen Bereich feststellen läßt, der in der Praxis überhaupt möglich ist.

Das letztere läßt sich bei unmittelbaren Messungen an ausgeführten Bauten, die an sich natürlich am überzeugendsten sind, nur schwer bzw. nur durch eine größere Anzahl von Messungen erreichen. Die Versuche sind auch an die kalte Jahreszeit und an das Vorhandensein eines geeigneten Meßobjektes gebunden. Da, wie auf S. 19 dargelegt, durch irgendwelche Zufälligkeiten ein einzelner Meßwert außerhalb des Durchschnittes liegen kann, so ist auch hier eine Heranziehung der Zahlentafel 4 und 5 zweckmäßig. Doch ist diese Meßart als entscheidende

Prüfung unentbehrlich. Deshalb seien kurz die Voraussetzungen genannt, die für einen Versuch gegeben sein müssen.



Abb. 34. Messung des Wärmeschutzes einer Hauswand. *a* Versuchswand, *b* Thermoelement, *c* Thermograph, *d* Windmesser, *e* Sonnenstrahlungsschutz.

1. Die zur Verfügung stehende Wandfläche muß eine Ausdehnung von mindestens 7—9 m² haben. Fenster und Türen müssen also diese zusammenhängende Fläche frei lassen.

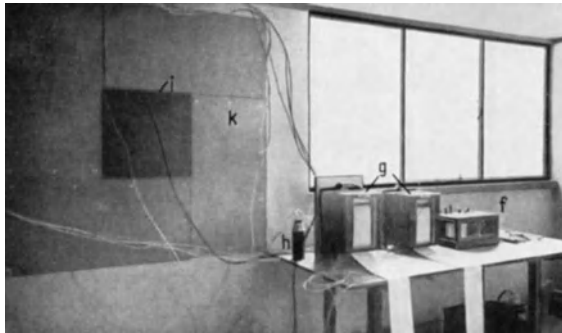


Abb. 35. Messung des Wärmeschutzes einer Hauswand. *f* Registrierapparat für den Windmesser, *g* Registrierapparate für die Thermolemente, *h* Eisstelle der Thermolemente, *i* Wärmeflußmesser, *k* Seitenstreifen zum Wärmeflußmesser.

2. Der Raum muß elektrisch beheizt werden. Heizbedarf etwa 2 kW. Messung der zugeführten elektrischen Energie ist nicht notwendig.

3. Die Versuchsfläche muß auch von außen, gegebenenfalls durch Leitern zugänglich sein, um Thermolemente und gegebenenfalls einen Sonnenschutz anbringen zu können.

4. Der Meßraum darf während des eigentlichen Versuchs nur zeitweise unter Aufsicht betreten werden. Eine normale Benutzung des Raumes durch die Bewohner darf nicht stattfinden.

5. Die gesamte Versuchszeit beträgt inklusive Aufbau, Anwärmung usw. etwa eine Woche.

6. Der Versuch muß mit registrierenden Instrumenten vorgenommen werden.

7. Unmittelbar nach der Messung ist möglichst an der Meßstelle selbst aus der Wand eine Probe zu entnehmen, um die beim Versuch vorhandene Feuchtigkeit festzustellen.

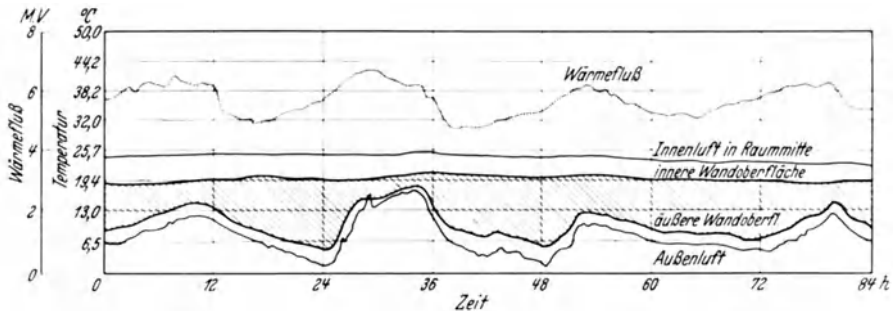


Abb. 36. Registrierung einer Wärmeschutzmessung an einem Haus.

Auch für Messungen an ausgeführten Bauten hat sich international das in Deutschland ausgebildete Verfahren, der sog. Wärmeflußmesser, durchgesetzt. Der Grundgedanke wurde für Bauweisen von K. Hencky angegeben¹, die heutige konstruktive Durchbildung stammt von E. Schmidt². Das Verfahren besteht darin, daß, wie Abb. 34 und 35 zeigt, auf die zu untersuchende Wand eine dünne Hilfswand aufgebracht wird, für die durch Eichung im Laboratorium der Zusammenhang zwischen der durch sie hindurchfließenden Wärmemenge und der Temperaturdifferenz auf ihren Oberflächen festgelegt ist. Da die letztere mit Thermoelementen leicht gemessen werden kann, ermittelt diese Meßplatte also die Wärmemenge, die aus der Raumluft in die Wand eindringt. Um eine gleichmäßige Temperaturverteilung an der Meßstelle zu schaffen, ist die Meßplatte von Seitenstreifen desselben Materials umgeben. Da die Temperaturen im Freien tagsüber stark schwanken, wie Abb. 36 zeigt, muß eine Messung stets mehrere Tage fortgesetzt werden, um genügend genaue Mittelwerte³ zu liefern. Zu beachten ist auch, daß

¹ Hencky, K.: Ein einfaches praktisches Verfahren zur Bestimmung des Wärmeschutzes verschiedener Bauweisen. *Gesundh.-Ing.* 1919 S. 496.

² Schmidt, E.: Die Messung von Wärmeverlusten im Betriebe. *Arch. Wärmewirtsch.* 1924 S. 9.

³ Cammerer, J. S.: Heft 50 der Mitteilungen der Reichsforschungsgesellschaft, Beuth-Verlag Berlin, sowie Sonderheft des *Gesundh.-Ing.* zum XIII. Kongreß für Heizung und Lüftung, 1932.

die Temperaturschwankungen der Luft und auf den Oberflächen der Wände ebenso wie der Wärmestrom zeitlich gegeneinander stark verschoben sind, so daß niemals Augenblickswerte miteinander in Beziehung gesetzt werden können.

II. Die wärmeschutztechnisch richtige Bemessung von Baukonstruktionen.

13. Der Wärmeschutz der Vollziegelwand.

Die Ermittlungsverfahren dieses Teiles II sind im wesentlichen auf der gleichwertigen Vollziegelstärke aufgebaut, für die man folgende Wärmeleitahlen anzunehmen gewohnt ist:

Außenmauern 0,75 kcal/mh °C,
Innenmauern 0,6 kcal/mh °C.

Man sollte glauben, daß diese Normwerte aus zahlreichen, genauen Untersuchungen abgeleitet seien. Tatsächlich beruhen sie jedoch auf Schätzungen zu einer Zeit (1926), in der man noch wenig Unterlagen über den praktischen Wärmeschutzwert von Baukonstruktionen zur Verfügung hatte. Auch heute noch sind an Vollziegelmauern nur wenig Versuche vorgenommen, da sich das Interesse auf neuartige Konstruktionsweisen konzentrierte.

Eine einwandfreie Festlegung dieser Bezugsgrößen ist jedoch selbstverständlich von Wichtigkeit. Aus diesem Grunde sei zunächst aus Zahlentafeln 4, 7 und 12 die

Zahlentafel 42. Wärmeleitahl von Ziegelmauerwerk nach allgemeinen Durchschnittswerten berechnet.

Raumgewicht in kg/m ³	Wärmeleitahl in kcal/mh °C nach		
	J. S. Cammerer	Kreuger und Eriksson	
		„trocken“	„normalfeucht“
1400	0,39	0,41	0,43
1800	0,60	0,57	0,61
2200	1,06	0,87	0,92

Wärmeleitahl von Ziegelaußenmauern errechnet, so wie sie sich also nach den allgemeinen Zusammenhängen für Baustoffe ergeben würde. Der Feuchtigkeitsgehalt sei dabei mit 1 Vol.-% angenommen unter Berücksichtigung von Mörtel und Verputz. Zahlentafel 42 gibt das Rechenergebnis für die in Frage kommenden Raumgewichte sowie eine Gegenüberstellung mit Angaben von Kreuger und Eriksson, Stockholm¹, die sowohl Zahlen für „trockenes Mauerwerk“ wie für „normal-

¹ Kreuger, H. u. A. Eriksson: Untersuchungen über das Wärmeisolvierungsvermögen von Baukonstruktionen. Stockholm 1924, Heft 36 der Schwedischen Ingenieur-Akademie.

feuchte“ Wände aufgestellt haben, wobei sie für letztere eine Feuchtigkeit der Ziegelsteine von 2 Vol.-%, des Mörtels und Verputzes von 3 Vol.-% zugrunde legten. Diese Feuchtigkeitsannahmen werden von den Autoren als vorsichtig geschätzt bezeichnet.

Man sieht, daß die deutschen und schwedischen Durchschnittswerte sehr gut übereinstimmen und daß man, wenn man daraus einen Mittelwert für Ziegelaußenwände ableiten wollte, eine Zahl von 0,6 (also 20% weniger als der Normwert beträgt) zu entnehmen hätte.

Mit diesem Ergebnis steht in bester Übereinstimmung, was an verlässigen neueren Versuchen an Mauern vorliegt. Zahlentafel 43 enthält eine Zusammenstellung, wobei sich die angegebenen Laboratoriumsversuche über ein weites Feuchtigkeitsgebiet erstrecken, aus dem der Wert für 1 Vol.-% entnommen wurde.

Zahlentafel 43.
Wärmeleitzahl von Vollziegelmauerwerk nach Versuchen.

Versuchsart	Raumgewicht in kg/m ³	Feuchtigkeit in Vol.-%	Wärmeleitzahl in kcal/mh °C	Beobachter
Laboratorium	1720	1	0,59	E. Raisch, München
„	1900	1	0,63	Kreuger u. Eriksson, Stockholm
„	1375	1	0,35	Watzinger u. Kindem, Trondheim
Haus	1600	1,0	0,63	Cammerer, Berlin
„ (Innenwand)	1600	0,4	0,65	„ „
„ (Neubau)	1750	2,6	0,84	„ „

Wenn trotzdem im nachstehenden zunächst noch bei den alten Normwerten verblieben wird, so deswegen, weil es angebracht erscheint, vor einer grundsätzlichen Änderung noch weitere Untersuchungen an Ziegelaußenwänden in der Praxis vorzunehmen. Die Differenz ist auch nicht so groß, daß durch die Anwendung der bisherigen Werte Schäden entstehen könnten. Immerhin ist eine baldige Korrektur sehr zu wünschen und es ist deshalb den in Sachsen bestehenden behördlichen Vorschriften durchaus zuzustimmen, die auf den Wärmeschutzwert neuerer Baustoffe einen Aufschlag von 25% verlangen, so daß Berechnungen im Vergleich mit Vollziegelmauerwerk dadurch von selbst korrigiert werden. Erwähnt sei, daß schon K. Hencky in seinem 1921 erschienenen Buch¹ (vgl. Vorwort) die Wärmeleitzahl von Ziegelmauern auf 0,6 schätzte, obwohl damals nur unzulängliche Messungen im Plattenapparat vorlagen.

¹ Hencky, K.: Die Wärmeverluste durch ebene Wände. München u. Berlin: R. Oldenbourg 1921.

14. Zahlentafeln zur Ermittlung des Wärmeschutzes beliebiger Baukonstruktionen.

Nachstehend wird zunächst die Berechnung der gleichwertigen Ziegelstärke für beliebige Baustoffe und Baukonstruktionen gezeigt, da sich nach dieser Feststellung unschwer die meisten wichtigen Ermittlungen der Praxis (Mindestwärmeschutz, Wirtschaftlichkeit, Temperaturverteilung) durchführen lassen. Die Haupttabelle 44 ist nicht nur für die aufgestellten Baustoffe verwendbar, sondern es ist auf Grund der Raumgewichtsangaben leicht, auch jeden neuen Baustoff in die zugehörige Gruppe an der richtigen Stelle einzuordnen.

Um diese wichtige Tabelle überdies auch für heiztechnische Berechnungen verwendbar zu machen, ist eine Umrechnungstabelle für die Wärmedurchgangszahl beigefügt.

a) Die Berechnung der gleichwertigen Vollziegelstärke.

Beim Gebrauch der Tafel sind drei Wandarten zu unterscheiden:

A. Die Wand besteht aus einem einzigen Material:

Es muß mindestens jene Schichtstärke gewählt werden, die der Mindestziegelstärke in Deutschland nach Abschnitt 15 entspricht. In weiten Gebieten von Deutschland ist dies die 1½ Stein starke verputzte Wand, also 41 cm, die in amtlichen Vorschriften vielfach ganz allgemein festgelegt ist.

Beispiel 1. Wie stark muß eine Wand aus Fichtenbohlen sein, um den Wärmeschutz der 1½ Stein starken Ziegelwand zu erreichen? Aus der Tabelle ergibt sich eine Bohlenstärke von 7 cm.

B. Die Wand besteht aus Schichten verschiedenen Materials, die im Sinne des Wärmestromes hintereinander liegen:

Man hat die Tabellenwerte der einzelnen Schichten zu addieren und, wenn der gewünschte Wärmeschutz nicht erreicht ist, entweder einzelne Schichten genügend zu verstärken oder neue Schichten im entsprechenden Ausmaß hinzuzufügen.

Beispiel 2. Der Wärmeschutz einer Wand aus 15 cm Kiesbeton (Raumgewicht 1700 kg/m³) ist durch eine Korkisolierung (Raumgewicht 200 kg/m³) auf 41 cm gleichwertige Vollziegelstärke zu bringen. Aus der Tabelle ergibt sich:

Außenputz (normalfeucht)	1,5 cm	. . . . .	1,5 cm	Ziegelstärke
Kiesbeton (normalfeucht)	15 cm	. . . . .	14,0 cm	„
Innenputz (trocken)	1,5 cm	. . . . .	1,5 cm	„
			17,0 cm	Ziegelstärke

Die Korkisolierung hat also einen Wärmeschutzwert aufzubringen von

$$41 - 17 = 24 \text{ cm Ziegelstärke.}$$

Nach der Tabelle genügen hierfür 2 cm Korkplatten.

Wollte man an Stelle der Korkplatten Platten aus einem porösen Beton, z. B. aus Zellenbeton, mit einem Raumgewicht von 1000 kg/m³ setzen, so würden 12 cm hiervon notwendig sein.

Zahlentafel 44. Wärmeschutz von Baustoffen und Isoliermaterialien, ausgedrückt in cm gleichwertiger Vollziegelaußenwand.

Je nach Art und Verwendung der Stoffe sind folgende Feuchtigkeitsgrade berücksichtigt: Trocken = 5 Vol.-% Feuchtigkeit (Innenmauern, Hohlsteine und Luftschichtmauern als Außenmauern). Normalfeucht = 10 Vol.-% Feuchtigkeit (massive Außenmauern). — Für Isolierplatten, Holz-, Ziegel- und Lehmsteine sowie Bimsbeton sind spezielle Erfahrungswerte des durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehaltes zugrunde gelegt¹.

Material	Raumgewicht kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit in kcal/mh ° C	Wärmeschutzwert, ausgedrückt in cm gleichwertiger Vollziegelaußenwand bei einer Schichtstärke in cm von													
			0,5	1,0	2	4	Maauer 6,5	8	10	12	15	20	25	30	40 Maauer 38	50 Maauer 51
Isoliermaterialien, trocken:																
Korkplatten (z. B. Backkork- platten und expandierte Pech-Korksteinplatten), gut imprägnierte Torfplatten . . .	100	0,035	—	21	43	85	130	170	215	—	—	—	—	—	—	—
Isolierdieleen wie Herakolith, Tekton, Solomit, nicht im- prägnierte Torfplatten . . .	200	0,06	—	12	25	50	75	100	125	150	188	—	—	—	—	—
Verkleidungsplatten wie Celotex, Insulite	400	0,065	—	12	23	46	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	600	0,09	—	8	17	33	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mauerwerk in Normalziegel- oder Schwemmsteinformat a) Trocken:																
Hochporöse Ziegel, Holz- zement, Schlackensteine, sonstige Kunststeine, z. B. aus Zellenbeton, Aerocret, Porenbeton usw.	600	0,27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Schwemmsteine aus Bims- beton	800	0,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ziegel- und Lehmsteine . . .	1000	0,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kalksandsteine	1200	0,46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1400	0,54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	800	0,41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1000	0,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1600—1800	0,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1700	0,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2000	0,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

¹ Von den in einer Materialgruppe genannten Baustoffen werden nicht alle mit sämtlichen genannten Raumgewichten hergestellt; so kommen für Korkplatten niedrigere Gewichte wie für Torfplatten in Frage. Das Raumgewicht wird also als bekannt vorausgesetzt. Auch kann ein Fabrikat innerhalb der in Abschnitt 5 genannten Material-Abweichungen günstiger als die angegebenen Richtwerte sein.

		b) Normalfeucht:															
Hochporöse Ziegel, Holzzement, Schlackensteine, sonstige Kunststeine, z. B. aus Zellenbeton, Aerocret usw.	600 800 1000 1200 1400 800 1000 1600—1800 1700 2000	0,35	—	—	—	—	—	14	26	—	—	—	53	—	—	81	108
		0,41	—	—	—	—	—	12	22	—	—	—	46	—	—	70	98
		0,49	—	—	—	—	—	10	18	—	—	—	38	—	—	58	78
		0,57	—	—	—	—	—	9	16	—	—	—	33	—	—	50	67
		0,67	—	—	—	—	—	7	13	—	—	—	28	—	—	43	57
		0,44	—	—	—	—	—	11	20	—	—	—	43	—	—	65	87
		0,53	—	—	—	—	—	9	17	—	—	—	35	—	—	54	72
		0,75	—	—	—	—	—	6	12	—	—	—	25	—	—	38	51
		0,80	—	—	—	—	—	6	11	—	—	—	23	—	—	35	48
		1,10	—	—	—	—	—	4	8	—	—	—	17	—	—	26	35

		a) Trocken:															
Gips, Schlackenbeton, Leichtbeton wie Zellenbeton, Aerocret, Porenbeton usw.	800 1000 1200 1400 800 1000 1200 1700 1600—1800 1800—2200 1600 1800	0,23	—	—	—	—	—	26	32	39	49	65	82	98	130	163	
		0,31	—	—	—	—	—	19	24	29	36	49	61	73	97	121	
		0,39	—	—	—	—	—	15	19	23	29	38	48	58	77	96	
		0,50	—	—	—	—	—	12	15	18	23	30	38	45	60	75	
		0,28	—	—	—	—	—	16	22	27	32	40	53	67	80	107	
		0,48	—	—	—	—	—	12	16	20	24	29	39	49	59	79	
		0,65	—	—	—	—	—	6	9	12	16	21	28	35	43	53	
		0,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		1,00	—	—	—	—	—	4	6	9	11	13	16	22	27	32	43
		0,60	—	—	—	—	—	3	5	6	8	9	11	15	19	23	30
0,80	—	—	—	—	—	1	2	3	5	8	10	13	15	19	25		
—	—	—	—	—	—	0,5	1	2	4	6	8	9	11	14	19		

		b) Normalfeucht:															
Schlackenbeton- und Leichtbeton wie Zellenbeton, Aerocret, Porenbeton usw.	800 1000 1200 1400 800 1000 1200 1700 1600—1800 1800—2200 1600 1800	0,28	—	—	—	—	—	22	27	32	40	53	67	80	107	134	
		0,38	—	—	—	—	—	16	20	24	29	39	49	59	79	99	
		0,48	—	—	—	—	—	12	16	19	24	31	39	47	62	78	
		0,61	—	—	—	—	—	9	12	15	20	25	31	37	49	62	
		0,32	—	—	—	—	—	5	9	14	19	23	28	35	47	62	
		0,44	—	—	—	—	—	7	10	14	17	20	25	34	43	51	
		0,54	—	—	—	—	—	8	11	14	17	21	28	35	42	56	
		0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		0,80	—	—	—	—	—	4	6	9	11	14	19	23	28	38	47
		1,30	—	—	—	—	—	2	3	5	6	7	9	12	14	17	23
0,80	—	—	—	—	—	1	2	4	6	8	9	11	14	19	23		
—	—	—	—	—	—	0,5	1	2	3	5	6	8	9	11	15		

Zahlentafel 44 (Fortsetzung).

Material	Raumgewicht kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit in kcal/mh ° C	Wärmeschutzwert, ausgedrückt in cm gleichwertiger Vollziegelaußenwand bei einer Schichtstärke in cm von													
			0,5	1,0	2	4	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50
			Mauer 6,5											Mauer 38	Mauer 51	

Füllstoffe, trocken																
Korkeisenschrot	etwa 55	0,032	—	—	47	94	141	187	234	281	351	468	585	702	936	1170
Hobelspäne	100—140	0,07	—	—	21	43	64	86	107	130	160	214	268	321	428	536
Sägespäne	190—215	0,10	—	—	15	30	45	60	75	90	113	150	188	225	300	375
Hochofenschlackschlacke	300—400	0,19	—	—	8	16	24	32	39	47	59	79	99	118	158	197
Bimsstes, gewöhnlich	600	0,28	—	—	5	11	16	22	27	32	40	53	67	80	107	134
Kesselschlacke	700—750	0,25	—	—	6	12	18	24	30	36	45	60	75	90	120	150
Sand, Kies	1500—1800	0,53	—	—	3	6	9	11	14	17	21	28	35	43	57	71

Mauerwerk aus Hohlsteinen (Durchschnittswerte der verschiedenen Formen¹)

a) 1 Reihe von Hohlräumen:

Hohlstein aus Material	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
von 800 kg/m ³	—	0,40	—	—	—	8	11	15	19	22	28	37	47	56	—	—
„ 1100 kg/m ³	—	0,45	—	—	—	7	10	13	16	20	25	33	42	50	—	—
„ 1400 kg/m ³	—	0,55	—	—	—	5	8	11	14	16	20	27	34	41	—	—
aus Ziegel	—	0,65	—	—	—	5	7	9	12	14	17	23	29	35	—	—

b) 2 und mehr Reihen von Hohlräumen hintereinander:

Hohlstein aus Material	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
von 800 kg/m ³	—	0,30	—	—	—	10	15	20	25	30	37	50	62	75	—	—
„ 1100 kg/m ³	—	0,35	—	—	—	9	13	17	21	26	32	43	54	64	—	—
„ 1400 kg/m ³	—	0,40	—	—	—	8	11	15	19	22	28	37	47	56	—	—
aus Ziegel	—	0,45	—	—	—	7	10	13	16	20	25	33	42	50	—	—

Natürliche Gesteine

Porig wie Sandstein	2200—2400	1,40	—	—	—	—	—	—	—	5	6	8	11	13	16	22	27
Dicht wie Granit, Marmor, Kalk	2400—3000	2,50	—	—	—	—	—	—	—	3	4	5	6	8	9	12	15

¹ Genaue Berechnung vgl. Abschnitt 6, S. 37.

	Hilfsbaustoffe										Holz, trocken, senkrecht zur Faser										Luftschichten																												
	1	2	5	8	10	13	15	—	—	—	1	2	5	7,5	10	12,5	15	18	25	31,3	1	2	5	8	10	13	15	—	—	—	1	2	5	8	10	13	15	—	—	—									
Asbestschiefer	1800	0,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100—300	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Asphalt	2000	0,60	0,5	1	2	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400—700	0,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bitumen	1100	0,15	2	5	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	700—1000	0,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Dachpappe	1000—1200	0,18	2	4	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Glas	2400—3000	0,60	0,5	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Linoleum	1200	0,16	2	5	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Beispiel 3. Der Wärmeschutz einer Betonwand mit Luftschichten nach Abb. 37 ist zu ermitteln. Raumgewicht des Betons 1800 kg/m³. Es ist:

3 cm Außenschicht (normalfeucht), 1800 kg/m ³	Ziegelstärke	2,5 cm
3 cm Luftschicht		15,0 cm
18 cm Kiesbeton (normalfeucht)		14,0 cm
3 cm Luftschicht		15,0 cm
3 cm Verputz (trocken), 1600 kg/m ³		3,5 cm
zusammen		50,0 cm

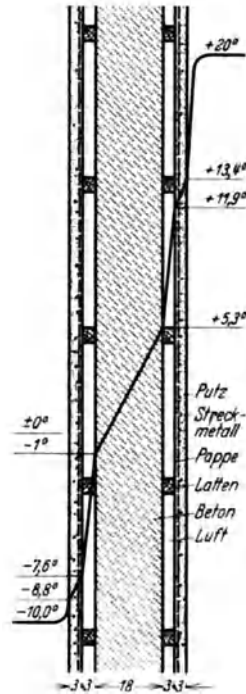


Abb. 37. Beton-Luftschichtwand.

Die gleichwertige Ziegelstärke der Betonwand ist dabei zwischen den beiden Zeilen der Tabelle für Kiesbeton, für die das Raumgewicht von 1800 kg/m³ die Grenze bildet, interpoliert. Da die 3 cm starken Holzleisten in der Luftschicht bei Verwendung von Kiefernholz einen Wärmeschutz von 18 cm

haben, der ungefähr dem der Luftschicht entspricht, so wird dadurch an dem ermittelten Wärmeschutz nichts geändert.

C. Die Wand besteht aus Schichten verschiedener Materialien, die im Sinne des Wärmestromes nebeneinander liegen.

Es darf dann an keiner Stelle der Wand nach Ziffer 1 oder 2 die für den betreffenden Ort erforderliche Mindeststärke unterschritten werden, weil sonst Schwitzwasserbildung an dieser Stelle auftritt (vgl. Abschnitt 17). Will man die mittlere Wärmeschutzwirkung der Gesamtkonstruktion wissen, so faßt man die für die einzelnen nebeneinanderliegenden Stellen ermittelten Zahlenwerte proportional ihrem Flächenanteil zu einem Mittelwert zusammen. Zur Berücksichtigung des Flächenanteils braucht man natürlich nicht auf die ganze Wandfläche zurück-

zugreifen, sondern man hebt jene Einheitsfläche heraus (vgl. Beispiel 5 und 6 sowie Abb. 39 b), die nebeneinandergesetzt die Gesamtwand bildet.

Beispiel 4. Wandkonstruktion nach Abb. 38. Das Material der verwendeten Loch- und Binderziegel sei porös und habe ein Raumgewicht von 1100 kg/m³. Die Bindersteine in der Luftschicht sollen eine ununterbrochene Horizontalunterteilung bilden.

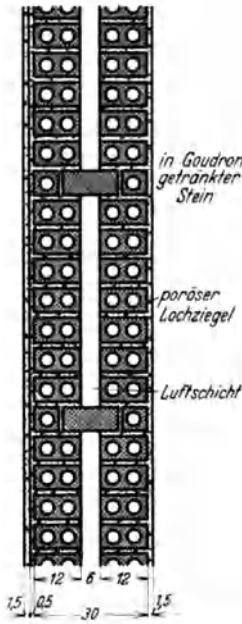


Abb. 38.
Ziegel-Luftschichtwand.

Luftschichtfläche:		Ziegel- stärke
1,5 cm Außenputz + 0,5 cm Zementvorwurf		2 cm
12 cm Hohlsteine, zweireihig		26 cm
6 cm Luftschicht		16 cm
12 cm Hohlsteine, zweireihig		26 cm
1,5 cm Innenputz		1,5 cm
	zusammen	71,5 cm

Binderstelle:		Ziegel- stärke
1,5 cm Außenputz + 0,5 cm Zementvorwurf		2 cm
6 cm Hohlstein, einreihig ¹		10 cm
1 cm Mörtel		1 cm
16 cm poröser Ziegel (trocken, da Luftschicht- wand)		35 cm
1 cm Mörtel		1 cm
6 cm Hohlstein, einreihig		10 cm
1,5 cm Innenputz		1,5 cm
	zusammen	60,5 cm

Der Wärmeschutz an der Binderstelle genügt also allen Anforderungen. Der mittlere Wärmeschutz der Gesamtkonstruktion ergibt sich aus dem Höhenverhältnis der Luftschicht und Binderschicht, da ja vorausgesetzt ist, daß die beiden Schichten senkrecht zur Zeichenebene durchlaufen. Es ist also:

$$\text{Mittlere Ziegelstärke} = \frac{53,5 \cdot 71,5 + 6,5 \cdot 60,5}{60} = 70 \text{ cm.}$$

¹ In Wirklichkeit hat der halbe Hohlstein in diesem Fall auch den halben Wärmeschutzwert des ganzen Hohlsteins, das wären also eigentlich 13 cm. Wie in der Tabelle angegeben, sind die Werte für Hohlsteine Durchschnittszahlen der möglichen Hohlraumanordnungen. Die genaue Berechnung vgl. Abschnitt 6 b.

Beispiel 5. Holzfachwerk nach Abb. 39a u. b:

	An der Stelle der Luftschicht	An der Stelle des Fachwerks
2 cm Außenputz	2 cm	2 cm
2 · 0,2 cm Dachpappe beiderseits der Luftschicht . .	3 cm	3 cm
10 cm Luftschicht	15 cm	—
10 cm Holzfachwerk (Fichte)	—	62 cm
12 cm Ziegelmauer, trocken	15 cm	15 cm
1,5 cm Innenputz	2 cm	2 cm
zusammen	37 cm	84 cm

Es sei gewünscht, daß der Isolierwert der Konstruktion überall mindestens 41 cm erreichen soll. Die Luftschicht werde deshalb mit Kesselschlacke ausgefüllt. Es wird dann:

2 cm Außenputz	2 cm
2 · 0,2 cm Dachpappe	3 cm
10 cm Kesselschlackenfüllung	30 cm
12 cm Ziegelmauerwerk	15 cm
1,5 cm Innenputz	2 cm
zusammen: 52 cm	

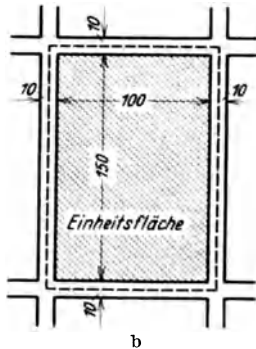
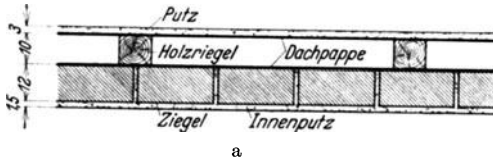


Abb. 39a und b. Fachwerkwand.

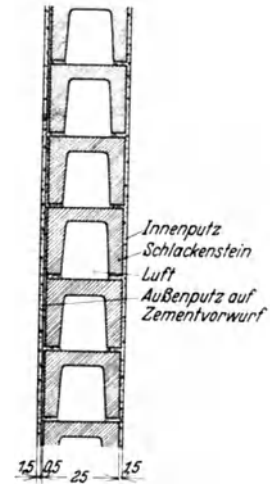
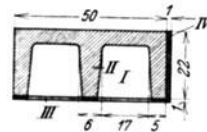


Abb. 40. Hohlsteinwand.

Die Einheitsfläche ist $1,6 \cdot 1,1 = 1,76 \text{ m}^2$. Auf die Füllung entfällt davon $1,5 \text{ m}^2$, auf das Fachwerk $0,26 \text{ m}^2$. Der mittlere Wärmeschutz ist:

$$\frac{1,5 \cdot 52 + 0,26 \cdot 84}{1,76} = 57 \text{ cm.}$$

Beispiel 6. Eine Wand besteht aus Schlackensteinen laut Abb. 40, deren Material ein Raumgewicht von 1200 kg/m^3 habe. Die Steine besitzen in der Mitte einen Steg. Die Wand besteht also aus 4 Flächen verschiedenen Wärmedurchgangs, die im Querschnitt durch die Schraffur unterschieden sind.

I. Hohlstein, Luftschichtstelle	578 cm ²
II. Hohlstein, Stege und obere Platte	522 cm ²
III. Horizontales Mörtelband mit Luftschicht	34 cm ²
IV. Horizontales Mörtelband, durchlaufend an Stegstelle und senk- rechter Mörtelfuge	39 cm ²
	1173 cm ²

Stelle 1:

1,5 cm Außenputz + 0,5 cm Zementvorwurf	2 cm Ziegelstärke
5 cm Schlackenbeton (trocken, da Luftschichtwand)	9,5 cm „
15 cm Luftschicht	15 cm „
5 cm Schlackenbeton	9,5 cm „
1,5 cm Innenputz	1,5 cm „
	zusammen 37,5 cm Ziegelstärke

Stelle 2:

1,5 cm Außenputz + 0,5 cm Zementvorwurf	2 cm Ziegelstärke
25 cm Schlackenbeton (trocken)	48 cm „
1,5 cm Innenputz	1,5 cm „
	zusammen 51,5 cm Ziegelstärke

Stelle 3:

1,5 cm Außenputz + 0,5 cm Zementvorwurf	2 cm Ziegelstärke
5 cm Mörtel (1700 kg/m ³ trocken)	5 cm „
15 cm Luftschicht	15 cm „
5 cm Mörtel (wie vor)	5 cm „
1,5 cm Innenputz	1,5 cm „
	zusammen 28,5 cm Ziegelstärke

Stelle 4:

1,5 cm Außenputz + 0,5 cm Zementvorwurf	2 cm Ziegelstärke
25 cm Mörtel (trocken)	27 cm „
1,5 cm Innenputz	1,5 cm „
	zusammen 30,5 cm Ziegelstärke

Der mittlere Wärmeschutz wird somit:

$$\frac{578 \cdot 37,5 + 522 \cdot 51,5 + 34 \cdot 28,5 + 39 \cdot 30,5}{1173} = 43 \text{ cm Ziegelstärke.}$$

Wenn man nicht von den Durchschnittswerten der Tafel 44 ausgehen, sondern die Wärmeleitahlen nach Raumgewicht und Feuchtigkeit gemäß den Darlegungen in Abschnitt 5 gesondert feststellen will, so ist die gleichwertige Ziegelstärke aus der Wärmeleitzahl wie folgt zu berechnen:

Außenwände:

$$\text{Gleichwertige Ziegelstärke} = \frac{\text{Schichtstärke} \cdot 0,75}{\text{Wärmeleitzahl der Schicht}}$$

Innenwände:

$$\text{Gleichwertige Ziegelstärke} = \frac{\text{Schichtstärke} \cdot 0,6}{\text{Wärmeleitzahl der Schicht}}$$

Beispiel 7.

18 cm Zellenbetonplatte, Raumgewicht	835 kg/m ³
Wärmeleitzahl völlig trocken nach Abb. 14	0,15 kcal/mh °C
Feuchtigkeitsgehalt, ungünstig nach Tabelle 4	15 Vol.-%
Änderung der Wärmeleitzahl nach Tabelle 12	132 %
Wärmeleitzahl in feuchtem Zustand	0,35 kcal/mh °C

Gleichwertige Ziegelstärke der Außenwand: $\frac{18 \cdot 0,75}{0,35} = 38,5 \text{ cm.}$

b) Die Berechnung der Wärmedurchgangszahl.

Hat man nach dem Vorstehenden die gleichwertige Vollziegelstärke ermittelt, so kann man aus Zahlentafel 45 die Wärmedurchgangszahl entnehmen. Da die Wärmedurchgangszahl nach S. 5 den Wärmeverlust für 1 m² Wandfläche während 1 Stunde und für 1° C Temperaturdifferenz der Luft zu beiden Seiten darstellt, so erhält man durch Multiplikation der Wärmedurchgangszahl mit der tatsächlichen Temperaturdifferenz den stündlichen Wärmeverlust für 1 m² Wandfläche, der von der Heizung aufzubringen ist.

Für die 1½ Stein starke verputzte Ziegelmauer = 41 cm ist also nach Tafel 45 die Wärmedurchgangszahl 1,37 und der stündliche Wärmeverlust für 1 m² Wandfläche bei einer Raumtemperatur von + 20° C und einer Temperatur im Freien von - 10° C:

$$1,37 \cdot 30 = 41,1 \text{ kcal/m}^2\text{h.}$$

Die Tabelle 45 ist unterteilt für Außenmauern und Innenmauern, weil bei Innenmauern die Wärmeübergangszahl auf der kälteren Seite der Wand geringer als im Freien und die Wärmeleitzahl des Ziegelmauerwerks 0,6 ist. In der ersten Spalte ist die gleichwertige Ziegelstärke von 10 zu 10 cm, in den übrigen Spalten von 1 zu 1 cm eingetragen. Im Druck ist die Ablesung für 49 cm Ziegelstärke hervorgehoben: = 1,20 kcal/m²h °C.

Zahlentafel 45. Berechnung der Wärmedurchgangszahl k (kcal/m²h °C) aus der gleichwertigen Ziegelstärke einer Wand von 1—99 cm.

Gleichwertige Ziegelstärke in cm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Außenmauern:										
0	—	5,10	4,78	4,48	4,23	4,01	3,81	3,62	3,45	3,30
10	3,16	3,04	2,92	2,81	2,71	2,61	2,52	2,44	2,36	2,29
20	2,23	2,16	2,10	2,04	1,99	1,94	1,89	1,84	1,79	1,75
30	1,72	1,68	1,64	1,60	1,57	1,54	1,51	1,48	1,45	1,42
40	1,39	1,37	1,35	1,32	1,30	1,28	1,26	1,24	1,22	1,20
50	1,18	1,16	1,14	1,12	1,10	1,09	1,08	1,06	1,04	1,03
60	1,02	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
70	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81
80	0,80	0,79	0,78	0,77	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
90	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67
Innenmauern:										
0	—	3,30	3,14	2,98	2,84	2,71	2,59	2,49	2,39	2,29
10	2,20	2,13	2,06	1,99	1,93	1,87	1,81	1,76	1,71	1,66
20	1,62	1,58	1,54	1,50	1,46	1,42	1,39	1,36	1,33	1,30
30	1,27	1,25	1,22	1,20	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,07
40	1,05	1,03	1,01	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90
50	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79
60	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,70
70	0,69	0,68	0,67	0,67	0,66	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62
80	0,62	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57
90	0,56	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52

Beispiel	Gleichwertige Ziegelstärke in cm	Wärmedurchgangszahl kcal/m ² h °C
3	50	1,18
4	70	0,90
5	57	1,06
6	43	1,32
7	38,5	1,43

Der Gebrauch der Tafel sei noch durch Umrechnung der gleichwertigen Vollziegelstärken einiger Beispiele des vorigen Abschnitts erläutert (siehe die nebenstehende Zahlentafel).

15. Die Bemessung der Wandstärke.

Die Stärke einer Wand oder Decke kann bei Wohnbauten nach zwei Gesichtspunkten bemessen werden: nach der gesundheitlich notwendigen Mindeststärke, die dann gegeben ist, wenn im Heizbetrieb kein Schwitzwasser an der inneren Oberfläche der Wand ausfällt, oder nach Wirtschaftlichkeit dergestalt, daß das günstigste Verhältnis zwischen den notwendigen Anlagekosten und den laufenden Heizaufwendungen erreicht wird.

a) Der notwendige Mindestwärmeschutz.

Es wurde schon erwähnt, daß man in Deutschland bislang die 1½ Stein starke Ziegelmauer als Maß des Mindestwärmeschutzes betrachtet hat. In Ostpreußen hielt man die 2 Stein starke Mauer für notwendig. Obwohl die Bemessung einer Wand im allgemeinen nach wirtschaftlichen Berechnungen vorgenommen werden sollte, weil damit der Mindestwärmeschutz von selbst eingehalten wird, so begnügt man sich doch in der Praxis häufig mit diesem, weil es bei der Knappheit der Mittel vielfach leichter fällt, die etwas höheren laufenden Heizaufwendungen zu tragen. Der zu fordernde Mindestwärmeschutz ist daher genauer festzulegen, als dies bisher geschehen ist.

Ausgegangen wird von den Temperaturverhältnissen im Winter 1928/29, der als der ungünstigste seit 1847 zu betrachten ist, weil er die tiefsten absoluten Temperaturen erreichte. Die in Abb. 41 auf dieser Grundlage vorgenommene Zoneneinteilung von Deutschland würde allerdings in einem anderen Winter zu durchaus abweichenden Kurven führen, doch ist dies belanglos, weil es nur darauf ankommt, an jedem Ort die mögliche ungünstigste Temperatur zu berücksichtigen¹.

Es genügt, als maßgebende Temperatur statt der absolut tiefsten Temperatur eines einzelnen Tages die Mitteltemperatur während eines

¹ Die Festlegung des kältesten Winters wurde für Berlin vorgenommen. Es ist deshalb auch denkbar, daß für irgendeinen anderen Ort ein anderer Winter noch etwas ungünstiger ist. Die Unterschiede können jedoch nur so gering sein, daß die Abweichungen ohne praktische Auswirkungen sind. Näheres vgl. J. S. Cammerer u. W. Dürhammer: Untersuchungen über den notwendigen Mindestwärmeschutz von Hauswänden in Deutschland. Wärmewirtsch. Nachr. 1934 S. 46.

solchen Zeitraums anzusetzen, daß die Speicherwirkung einer Wand keinen Ausgleich mehr herbeiführen kann und die entstehende Wandfeuchtigkeit einen gesundheitsschädlichen Umfang annimmt. Man kann

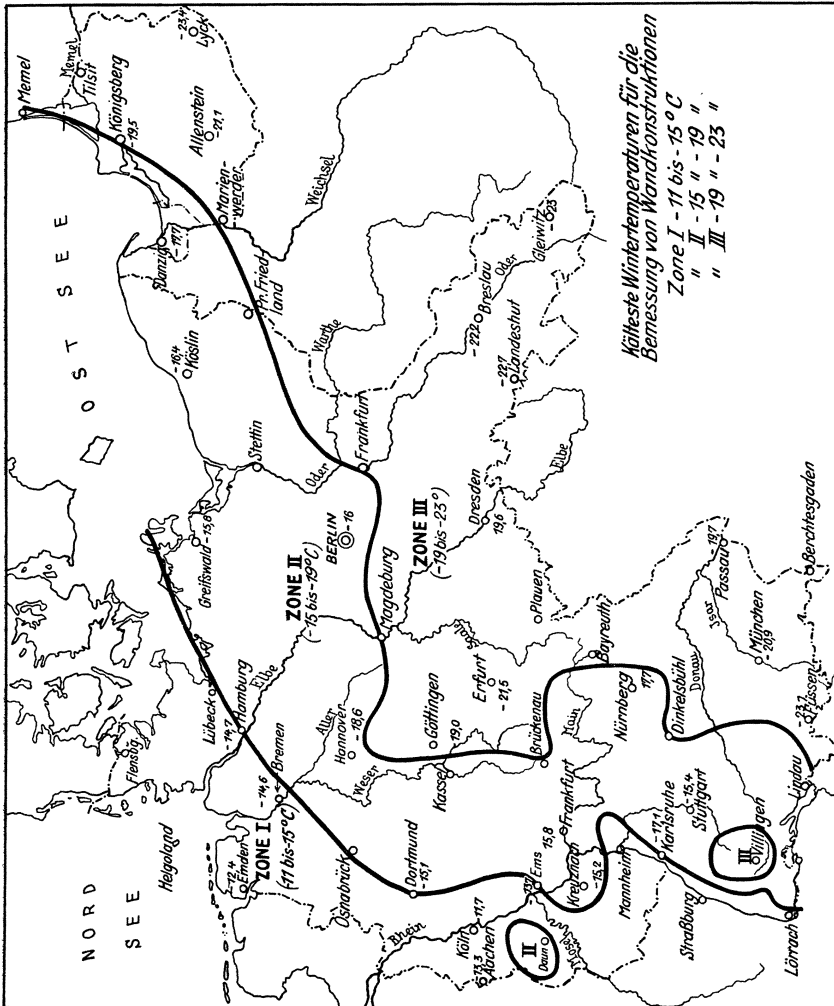


Abb. 41. Zoneneinteilung von Deutschland für den Mindestwärmeschutz.

dafür das Tagesmittel während der fünf ungünstigsten Tage im Februar 1929 zugrunde legen und Deutschland in drei Temperaturgebiete einteilen:

- Zone I - 11,0 bis - 15,0° C,
- „ II - 15,0 bis - 19,0° C,
- „ III - 19,0 bis - 23,0° C.

Die in einer Zone liegenden Gebirge fallen aus diesen Temperaturgrenzen von 4° C nicht heraus, so daß eine Berücksichtigung der

Seehöhe eines Ortes neben der geographischen Lage nicht notwendig ist. So ist beispielsweise für München die fragliche Tagestemperatur — 20,9° C,

Zahlentafel 46.

Der notwendige Mindestwärmeschutz von Wandungen in Deutschland.
Temperatur der Raumluft: 20° C.

Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft in °C (entsprechend den Linien der Abb. 41)	31	35	39	43
Mindestwärmedurchgangszahl in kcal/m ² h° C	1,80	1,59	1,43	1,30
Mindestvollziegelstärke in cm	25	30	36	41

für die Zugspitze — 23,1° C¹. Die für jedes Gebiet notwendige Mindestwärmedurchgangszahl bzw. die Mindestvollziegelstärke ist in Zahlentafel 46 berechnet². Da die Temperaturen nicht von der einen Grenzlinie einer Zone zur anderen kontinuierlich abnehmen, sondern der tiefste Wert durch den Einfluß von Bergen und anderen örtlichen

Zahlentafel 47. Die notwendigen Mindestziegelstärken in Deutschland.

Zone	Einzuhaltende Ziegelstärke in cm	Verwirklicht durch Ziegelformat	Wandstärke in cm beiderseits verputzt	Verblendet
I	27,5—30	{NZF-Format: 1 Stein	28	— ³
		{Bayer. Format: 1 „	32	30,5
		{Holl. Format: 1 1/2 „	31	29,5
II	33 —36	{Hamb. Format: 1 1/2 „	36,5 ⁴	35
III	38,5—41	{NZF-Format: 1 1/2 „	41	39,5
		{Bayer. Format: 1 1/2 „	47	45,5

Verhältnissen bis nahe an die wärmere Grenzlinie kommen kann, so darf man die einzuhaltende Vollziegelstärke nur in dem Spielraum, der in Zahlentafel 47 angegeben ist, schwanken lassen. In dieser Zahlentafel ist gleichzeitig angegeben, durch welche handelsüblichen Ziegel-

formate man sich bei Ziegelmauern diesen Zonen anpassen kann. Es ist festzustellen:

1. In einem erheblichen Teil von Deutschland genügt als Mindestwärmeschutz schon die 1 Stein starke Vollziegelmauer.

2. Entgegen der üblichen Ansicht ist die 1 1/2 Stein starke Ziegelmauer auch in Ostpreußen ausreichend, da sich diese Provinz klimatisch in der hier interessierenden Hinsicht nicht von Schlesien, Sachsen oder Oberbayern unterscheidet⁵.

Selbstverständlich ist für diese Zoneneinteilung einwandfreie handwerkliche Ausführung des Mauerwerks Voraussetzung, da andernfalls besonders an den Fugen Regen durchschlagen oder Schwitzwasserbildung

¹ Vgl. dagegen die Karte der Abb. 43 für Wirtschaftlichkeits- und Heizberechnungen.

² Näheres über die Voraussetzung dieser Berechnung vgl. die Originalarbeit.

³ bei 2,5 cm Innenputz 27,5 cm.

⁴ oder Bayer. Format 1 Stein, beiderseits 2 cm Putz = 33 cm.

⁵ Wohl aber hinsichtlich der Temperaturen, die für die wirtschaftlich günstigste Wandstärke in Betracht kommen. Vgl. den folgenden Abschnitt.

auftreten kann. Über die bei Küchen und Bädern vorliegenden Verhältnisse vgl. S. 12.

b) Die wirtschaftlichste Wand- und Isolierstärke.

Da die Anlagekosten mit der Stärke einer Wand zunehmen, die laufenden Heizaufwendungen geringer werden, so gibt es eine bestimmte Wandstärke, bei der die Summe für den Kapitaldienst und die Heizung den niedrigsten Betrag erreicht, der für die betreffende Bauart überhaupt möglich ist.

Die Feststellung dieser „wirtschaftlichsten“ Wandstärke muß auch den Ausgangspunkt beim Vergleich verschiedener Bauweisen bilden, da jede mit ihrer günstigsten Stärke zugrunde zu legen ist.

Selbstverständlich ist diese wärmewirtschaftliche Betrachtung, die hier allein behandelt werden kann, bei der Wahl einer Bauart nicht allein ausschlaggebend. Welche Momente etwa zu einem Gesamturteil herangezogen werden müssen, zeigen folgende Angaben aus der Literatur:

Notwendige Eigenschaften einer tragenden Außenwand nach W. Triebel	Maßgebliche Eigenschaften einer nicht tragenden Außenwand nach H. Spiegel
Statische Eigenschaften	Plattenstärke und Plattengewicht
Wärmeschutz:	Abmessung des Bauelements
Wärmedurchgang	Raumgewicht
Winddurchgang	Wärmeleitfähigkeit
Wärmespeicherung	Selbständig Wand bildend
Schallsicherheit	Schalldämpfung
Wasserabweisung	Verhalten gegen Wasser
Raubbeständigkeit	Verhalten gegen Stahl
Feuersicherheit	Verhalten gegen Feuer
Frostbeständigkeit	Nagelbar, sägen, schneiden
Schraub- und Nagelbarkeit	Wand wird verputzt mit oder ohne Putzträger
	Wand wird tapeziert mit oder ohne Unterputz
	Fugendichtung
	Durchschnittlicher Richtpreis

Da man die verschiedenen Eigenschaften aber nicht in einem gemeinsamen Maß ausdrücken kann, ist ein zahlenmäßiger Gesamtvergleich verschiedener Bauweisen nicht möglich. Je nach den örtlichen Verhältnissen kann die Bedeutung einer bestimmten Eigenschaft auch wechseln.

So einfach der Gedanke der wirtschaftlichsten Wandstärke erscheint, so sind doch für die Berechnung einige Angaben zu machen, die allgemein nicht geläufig sind.

1. Man hat zu den eigentlichen Wandkosten jene zusätzliche Unkostenerhöhung bei Zunahme der Wandstärke hinzuzufügen, die durch Vergrößerung der Dachkonstruktion, des Erdaushubes, der äußeren Wandfläche und des Geländeerwerbs bedingt ist. Diese zusätz-

lichen Kosten können nach K. Müller¹ in der Weise berücksichtigt werden, daß man die erfolgte Zunahme an umbautem Raum (bei gleichbleibendem Innenraum) mit 25% des Herstellungspreises für 1 m³ umbauten Raum einsetzt. Unter den heutigen Verhältnissen kommt man dann etwa auf einen Zuschlag je 1 cm Wandstärke von 0,06 RM/m² Wandfläche.

Von mancher Seite wird auch vorgeschlagen, bei der Aufstellung der Heizkosten zu berücksichtigen, daß mit Zunahme des Wärmeschutzes die Heizanlage kleiner sein kann.

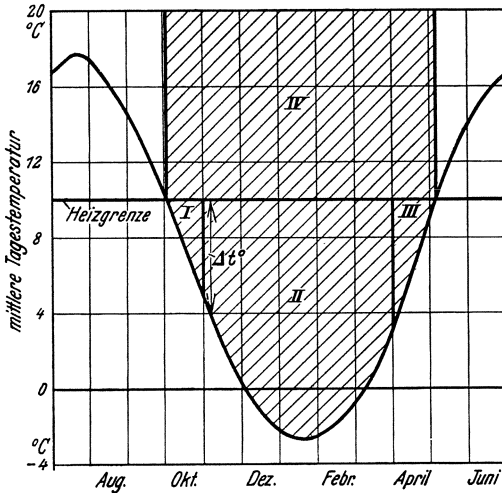


Abb. 42. Fläche der Heizgradtage.

Im normalen Wohnungsbau kann man aber diesen Punkt vernachlässigen, teils weil, wie bei Einzelofenheizung, die Staffelung der Größe der Heizanlage zu groß ist, um eine Verwirklichung des Rechenresultates zu ermöglichen, teils weil die Wärmeverluste ja zu einem erheblichen Teil durch die Fensterflächen hervorgerufen werden, die unabhängig von der Wandstärke sind. Man wird also nur bei größeren Objekten, etwa bei Heizanlagen, die ganze Häuserblocks versorgen sollen, eine merkliche Rückwirkung

einer Verstärkung der Wand auf die Kosten der Heizanlage innerhalb des in Frage kommenden Bereiches feststellen können. Dazu benötigt man die laufenden Heizkosten, die nach den folgenden Gesichtspunkten zu ermitteln sind:

2. Man ermittelt zunächst die Anzahl der Heiztage für den fraglichen Ort und die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft. Das Produkt aus diesen beiden Größen bezeichnet man mit „Heizgradtage“ und es wird, wie Abb. 42 für das Beispiel von Königsberg zeigt, durch die schraffierte Fläche dargestellt.

Die Zahl der Heizgradtage eines Ortes hängt natürlich davon ab, bei welcher Außentemperatur man die Heizung in Betrieb nimmt. Für Wohnräume wird meist 10 oder 12° C gewählt. Ferner ist die Raumtemperatur maßgebend, für die man 18 oder 20° C bei vollbeheizten Räumen annimmt. Die mittlere Temperatur eines Hauses einschließlich

¹ Müller, K.: Wärmewirtschaftliche Bewertung und Bemessung baulicher Anordnungen. Gesundh.-Ing. 1929 Heft 13—15.

Zahlentafel 48.

Ort	Seehöhe in m	Heiz- grad- tage	Ort	Seehöhe in m	Heiz- grad- tage
Aachen	204	3050	Magdeburg	58	3290
Ansbach	425	3840	Mainz	95	2990
Augsburg	500	3570	Mannheim	100	2960
Berlin-Süd	49	3250	Marggrabowa	160	4530
Beuthen	290	3690	Mittenwald	910	4120
Brandenburg	35	3430	München	525	3600
Braunschweig	83	3350	Münster/W.	60	3320
Bremen	10	3210	Neustrelitz	76	3630
Breslau	147	3450	Nürnberg	313	3750
Chemnitz	312	3630	Oldenburg	9	3370
Darmstadt	204	3090	Osnabrück	68	3250
Dessau	63	3340	Partenkirchen	715	3820
Dortmund	120	3130	Pforzheim	258	3315
Dresden	119	3200	Plauen/Vgtld.	380	3880
Emden	8	3330	Quedlinburg	132	3400
Frankfurt/M.	104	3070	Regensburg	343	3750
Freiburg/Br.	285	2970	Rostock	27	3630
Gießen	165	3290	Siegen	240	3580
Görlitz	213	3560	Stettin	26	3550
Göttingen	151	3450	Stuttgart	263	2970
Halle	90	3270	Tilsit	14	4260
Hamburg	26	3400	Trier	148	3180
Hannover	57	3270	Ulm	479	3580
Heidelberg	120	2850	Wiesbaden	113	3050
Jena	157	3450	Wilhelmshaven	8	3370
Karlsruhe	125	2980	Würzburg	179	3260
Kaiserslautern	242	3310	Zwickau	282	3490
Kassel	200	3420			
Kiel	47	3680	Berge:		
Köln	56	2800	Brocken	1150	6440
Königsberg	8	4010	Glatzer Schneeberg	1215	5790
Leipzig	120	3380	Schneekoppe	1618	7720
Lindau	405	3270	Wendelstein	1727	6540
Lübeck	20	3540	Zugspitze	2964	8100

der nur temperierten Teile kann man mit 15° C annehmen. Die vorstehende Zahlentafel 48 und Abb. 43 gelten bei 20° C Innentemperatur und 10° C Heizgrenze¹. Gegebenenfalls können daran folgende Korrekturen angebracht werden:

Abzug für 1° C niedrigere Innentemperatur:

bei 2800 Heizgradtagen	180 (6,5%/°C)
„ 3600 „	205 (5,7%/°C)
„ 4500 „	230 (5,1%/°C)

Zuschlag für Erhöhung der Heizgrenze um 2° C = 225 Heizgradtage.

¹ Vgl. J. S. Cammerer u. H. Krause: Grundlagen für wirtschaftlichen Wärmeschutz. Arch. Wärmewirtsch. 1933 S. 117.

Für die zweithäufigste Kombination: 18° C Innentemperatur und 12° C Außentemperatur, ist daher unabhängig von der Anzahl der Heizgradtage von den vorstehenden Tafelwerten ein **Abzug von 5 %** zu machen¹.

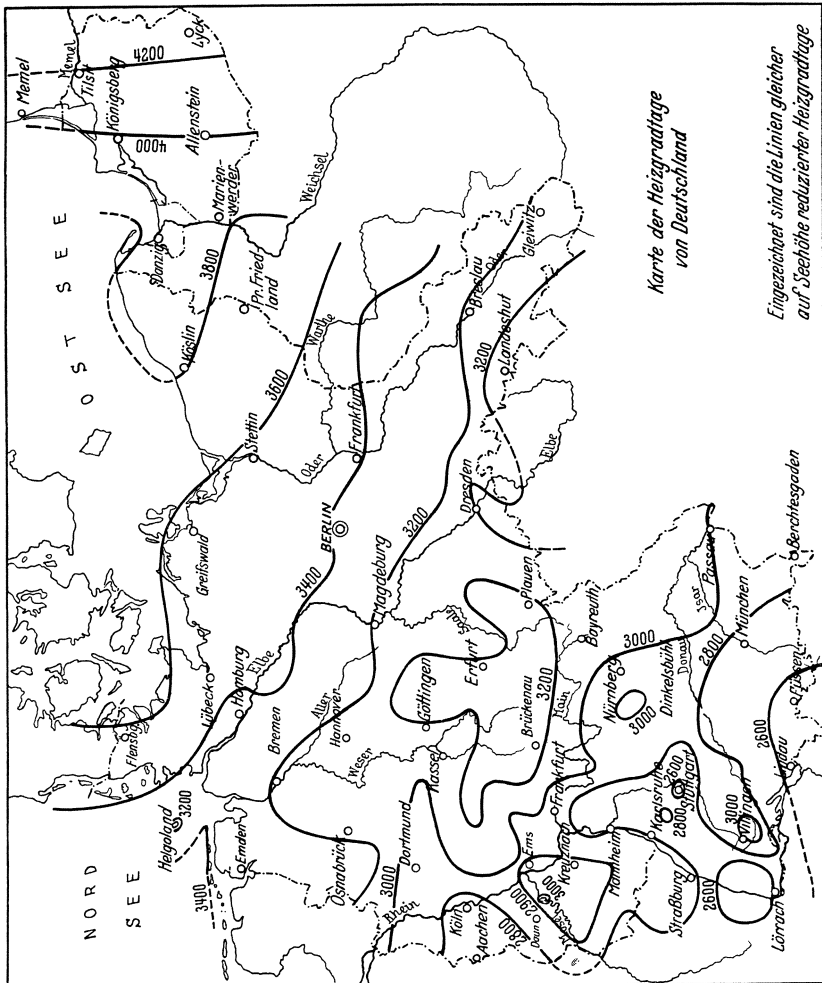


Abb. 43. Zoneneinteilung von Deutschland für wirtschaftlichsten Wärmeschutz.

¹ Für Sonderfälle (Montagehallen, Garagen usw.) sei auf Arbeiten von M. Hottinger oder W. Raß verwiesen (Gesundh.-Ing. 1933 Heft 47 bzw. 34), deren Bedeutung aber mehr auf heiztechnischem Gebiete liegt. Von besonders umfassender Bedeutung sind die Untersuchungen von Hottinger, der weiterhin auch die Einflüsse des gebirgigen Charakters der Schweiz behandelt und Darstellungen der Heizgradtage von Europa und der ganzen Erde gegeben hat (Gesundh.-Ing. 1934 S. 130 u. S. 260), indem er die Heizgradtage in Beziehung zur mittleren Jahrestemperatur brachte.

In der kartenmäßigen Darstellung der Heizgradtage in Abb. 43 mußten die Heizgradtage auf Seehöhe reduziert werden, um den Einfluß der Höhenlage über dem Meeresspiegel auszuschneiden. Die aus der Karte entnommenen Heizgradtage müssen deshalb wie folgt umgerechnet werden, um die tatsächlichen Ortswerte zu erhalten.

$$\text{Ortsheizgradtage} = \text{Heizgradtage auf Seehöhe reduziert} + 1,7 \cdot \text{Höhenlage in Meter.}$$

Beispiel. Höhenlage von München 525 m, Heizgradtage auf Seehöhe reduziert laut Abb. 43: 2750. Höhenkorrektur: $1,7 \times 525 = 892$. Wahre Heizgradtage 3640 (laut Zahlentafel 48: 3600).

Die Genauigkeit der Karte beträgt bis 700 m Höhe mindestens 3%, bis 900 m 5%.

Als wärmster Ort ergibt sich Köln (2800 Heizgradtage), als kältester Marggrabowa in Ostpreußen (4530 Heizgradtage). Nur bei Gebirgslage über 1000 m kommen noch größere Werte vor (vgl. die Angaben für einige Berge in der Zahlentafel 48).

3. Um aus den Heizgradtagen die laufenden Heizkosten für 1 m² Wandfläche in RM/m² Jahr zu ermitteln, sind die Heizgradtage mit der täglichen Stundenzahl (24), der Wärmedurchgangszahl der Wandkonstruktion und dem Wärmepreis für 1 kcal zu multiplizieren. Der letztere beträgt durchschnittlich etwa 10 RM/1 Million kcal. Da man die Wärmedurchgangszahl durch die gleichwertige Vollziegelstärke ausdrücken kann (vgl. Zahlentafel 45), so ist in Zahlentafel 49 der Heizaufwand pro 1 m² Wandfläche und Jahr für gleichwertige Ziegelstärken von 10 zu 10 cm angegeben, so daß man nach Ermittlung der gleichwertigen Vollziegelstärke in Zahlentafel 44 ohne weiteres die Heizkosten für den betreffenden Ort entnehmen kann.

Beispiel. Es ist für die Konstruktion Abb. 40 der jährliche Heizaufwand für einige Orte festzustellen. Die gleichwertige Ziegelstärke betrug nach Zahlenbeispiel 6, S. 77, 43 cm. Demgemäß kostet die Heizung je m² Wand laut Zahlentafel 49:

Köln	(2800 Heizgradtage)	. . . . .	0,89 RM/m ² Jahr,
München	(3600 „ )	. . . . .	1,14 RM/m ² Jahr,
Berlin	(3250 „ )	. . . . .	1,03 RM/m ² Jahr,
Tilsit	(4260 „ )	. . . . .	1,35 RM/m ² Jahr.

Damit sind alle Unterlagen für die Ermittlung der günstigsten Wandstärke und für den wirtschaftlichen Vergleich verschiedener Bauweisen gegeben. Von mehreren Autoren sind umständliche Formeln entwickelt worden¹, welche die wirtschaftlichste Stärke direkt berechnen lassen.

¹ Vgl. K. Müller: Zitat der Fußnote auf S. 84. — Schauer, A.: Grundsätzliches zur Frage einer wirtschaftlich günstigen und hygienisch ausreichenden Bemessung des Wärmeschutzes von Außenwänden. Diss. Berlin 1931. — Kreuger u. Eriksson: Zitat der Fußnote auf S. 69.

Da man aber doch an Handelsmaße gebunden ist, so ist es viel einfacher, den jährlichen Aufwand für einige Stärken zu berechnen und aus den Ergebnissen das günstigste auszuwählen.

Zahlentafel 50 erläutert diesen Vorgang für drei Wandkonstruktionen und für das Einfach- und Doppelfenster. Der jährliche Gesamtaufwand errechnet sich aus den Herstellungspreisen (Spalte 3) und den zusätzlichen Unkosten bei zunehmender Wandstärke (Spalte 4 gemäß Ziffer 1,

Zahlentafel 49.

Jährliche Heizkosten bei verschiedenem Wärmeschutz der Wand.

Heiz- grad- tage	Heizkosten in RM/m ² Jahr bei einer gleichwertigen Vollziegelstärke in cm											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
2800	2,12	1,50	1,16	0,94	0,79	0,685	0,610	0,535	0,485	0,443	0,363	0,309
2900	2,20	1,55	1,20	0,97	0,82	0,711	0,650	0,555	0,501	0,459	0,376	0,320
3000	2,28	1,60	1,24	1,00	0,85	0,735	0,643	0,575	0,518	0,475	0,389	0,331
3100	2,35	1,66	1,28	1,03	0,88	0,760	0,670	0,595	0,536	0,491	0,402	0,342
3200	2,43	1,71	1,32	1,07	0,91	0,785	0,690	0,615	0,554	0,507	0,415	0,353
3300	2,50	1,76	1,36	1,10	0,94	0,810	0,710	0,635	0,571	0,522	0,428	0,364
3400	2,58	1,82	1,40	1,13	0,96	0,835	0,735	0,655	0,588	0,538	0,441	0,375
3500	2,66	1,87	1,45	1,17	0,99	0,860	0,755	0,670	0,605	0,554	0,454	0,386
3600	2,73	1,92	1,49	1,20	1,02	0,885	0,775	0,690	0,623	0,570	0,467	0,397
3700	2,81	1,98	1,53	1,24	1,05	0,905	0,795	0,710	0,640	0,586	0,480	0,408
3800	2,88	2,03	1,57	1,27	1,08	0,930	0,820	0,730	0,657	0,602	0,493	0,419
3900	2,96	2,08	1,61	1,30	1,11	0,955	0,840	0,750	0,674	0,618	0,506	0,430
4000	3,03	2,13	1,65	1,34	1,13	0,980	0,860	0,770	0,691	0,632	0,519	0,441
4100	3,11	2,19	1,69	1,37	1,16	1,00	0,885	0,785	0,710	0,649	0,532	0,452
4200	3,18	2,24	1,74	1,40	1,19	1,03	0,905	0,805	0,726	0,665	0,545	0,463
4300	3,26	2,30	1,78	1,44	1,22	1,05	0,925	0,825	0,743	0,681	0,558	0,474
4400	3,33	2,35	1,82	1,47	1,25	1,08	0,950	0,845	0,761	0,696	0,570	0,485
4500	3,41	2,41	1,86	1,50	1,28	1,10	0,970	0,865	0,778	0,712	0,583	0,496
5000	3,79	2,67	2,07	1,67	1,42	1,23	1,08	0,96	0,87	0,792	0,648	0,552
6000	4,55	3,21	2,48	2,00	1,70	1,47	1,30	1,15	1,04	0,950	0,778	0,662
7000	5,31	3,75	2,89	2,34	1,98	1,72	1,51	1,34	1,21	1,107	0,908	0,772
8000	6,07	4,28	3,30	2,67	2,27	1,96	1,72	1,54	1,38	1,265	1,040	0,882

S. 83) entsprechend dem Amortisations- und Verzinsungsfaktor, wenn man zu diesem laufenden Kapitaldienst die Heizungskosten hinzuaddiert. Diese ergeben sich aus der gleichwertigen Ziegelstärke und der Zahlentafel 49). Man kann aus den Ergebnissen der Tafel 50 folgende allgemeine Folgerungen ableiten:

1. Die wirtschaftlichste Stärke einer Wandkonstruktion ist innerhalb Deutschlands, abgesehen von Bergen, im wesentlichen nur um zwei benachbarte Handelsmaße verschieden.

2. In vielen Fällen kann man durch Zulassung eines um wenige Pfennige höheren jährlichen Gesamtaufwandes ein niedrigeres Handelsmaß

als das theoretisch günstigste verwenden und damit erheblich an Anlagekosten einsparen.

3. Die Stärke von Wärmeschutzplatten und Leichtdielen auf dünnen Massivwänden aus Beton, Ziegel u. dgl. sollte aus wirtschaftlichen Gründen mindestens 5 cm betragen¹. Bei hochwertigen Isolierplatten wird dann der Wärmedurchgang nur etwa halb so groß wie bei der 1½ Stein starken Vollziegelwand und bringt dieser gegenüber Ersparnisse von etwa 0,45 RM/m² Jahr.

Zahlentafel 50. Wirtschaftlichste Stärke von Wandkonstruktionen. Wärmepreis 10 RM/1 Million kcal. Amortisations- und Verzinsungsfaktor 7%.

Gesamtstärke in cm	Stärke der Korkplatten in cm	Preis der Wand ² in RM/m ²	Zusätzliche Baukosten in RM/m ²	Gleichwertige Ziegelstärke in cm	Jährlicher Gesamtaufwand in RM/m ² Jahr		
					Köln	München	Marggrabowa
1. Vollziegelmauerwerk, beiderseits verputzt							
28	—	10,85	1,68	28	2,08	2,42	2,83
41	—	13,20	2,46	41	2,02	2,28	2,58
54	—	15,60	3,24	54	2,08	2,29	2,53
67	—	18,—	4,02	67	2,17	2,34	2,55
2. 17 cm Kiesbeton mit Korkisolierung, beiderseits verputzt							
22	2	18,30	1,32	43	2,27	2,52	2,82
24	4	19,60	1,44	71	2,07	2,24	2,44
26	6	20,90	1,56	97	2,03	2,16	2,31
28	8	22,20	1,68	125	2,03	2,14	2,26
30	10	23,50	1,80	153	2,07	2,16	2,26
3. Bimshohldielen mit Korkisolierung, außen Ölfarbanstrich, innen verputzt							
11	2	15,20	0,66	50	1,90	2,13	2,40
13	4	16,60	0,78	90	1,70	1,83	2,00
15	6	18,—	0,90	116	1,71	1,82	1,95
17	8	19,40	1,02	150	1,74	1,83	1,93
19	10	20,80	1,14	183	1,80	1,87	1,96
4. Fenster							
Wärmedurchgangszahl							
Einfachfenster . . .	18,—	7 kcal/m ² h ⁰ C	5,97	7,32	8,87		
Doppelfenster . . .	30,—	3,5 kcal/m ² h ⁰ C	4,45	5,12	5,90		

4. In ganz Deutschland sind Doppelfenster wirtschaftlich.

5. Von zwei Konstruktionen, die in warmen Gegenden gleichwertig sind, kann in kälteren Zonen die in den Anlagekosten teurere durch besseren Wärmeschutz überlegen sein.

¹ Auch Wickop kommt in der Studie: Berechnung der wirtschaftlichen Dämmschichten für Leichtplatten. Dtsch. Bauztg. 1933 S. 366 zu dem Ergebnis, daß die Stärke von Heraklith-, Torfotekt- und Torfoleumplatten auf 25 cm Vollziegelmauerwerk 5 cm sein sollte. Bei einer Basis für Preise und Löhne vom Dezember 1932 und 2700 Heizgradtage errechnet er einen jährlichen Gesamtaufwand für diese Materialtypen von 1,64 bzw. 1,59 bzw. 1,60 RM/m² Jahr.

² Preisbasis etwa Frühjahr 1933.

Zahlentafel 51. Die wirtschaftlichsten Isolierstärken bei Wärme- und Kälteschutzanlagen.

a) Für Kälteschutz.

licht. Rohr- \emptyset in mm	Temperaturdifferenz zwischen Kältemedium und Außenluft in °C	Wirtschaftlichste Isolierstärke in mm bei einem Kältepreis in M/1 Million kcal von					
		25		50		250	
		Betriebsstunden pro Jahr		Betriebsstunden pro Jahr		Betriebsstunden pro Jahr	
		4000	8000	4000	8000	4000	8000
50	10	20	30	30	40	60	80
	20	30	40	40	50	80	100
	40	40	50	50	70	100	140
100	10	20	30	30	40	70	90
	20	30	40	40	60	90	120
	40	40	60	60	80	120	160
400	10	30	40	40	60	80	110
	20	40	60	60	80	110	150
	40	60	80	80	100	150	210
Ebene Wand	10	40	60	60	80	130	170
	20	60	80	80	110	170	230
	40	80	110	110	150	230	320

b) Für Wärmeschutz.

licht. Rohr- \emptyset in mm	Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträger und Außenluft in °C	Wirtschaftlichste Isolierstärke in mm bei einem Wärmepreis in M/1 Million kcal von					
		2,5		5		10	
		Betriebsstunden pro Jahr		Betriebsstunden pro Jahr		Betriebsstunden pro Jahr	
		4000	8000	4000	8000	4000	8000
50	50	10	20	20	30	30	40
	100	20	25	25	40	40	60
	200	25	40	40	60	60	80
	400	40	60	60	80	80	—
100	50	20	25	25	40	40	50
	100	25	40	30	50	50	70
	200	30	50	50	70	70	100
	400	50	70	70	100	100	—
400	50	30	40	40	50	50	70
	100	40	50	50	70	70	90
	200	50	70	70	90	90	120
	400	70	90	90	120	120	—
Ebene Wand	50	50	60	60	80	80	100
	100	60	80	80	100	100	120
	200	80	100	100	120	120	160
	400	100	120	120	160	160	—

Die Bemessung von Wärme- und Kälteschutzschichten für Rohre, Kessel, Behälter, Kühlräume usw. in der Industrie ist im allgemeinen nicht Sache des Architekten, der den Bau entwirft. Immerhin ist es vielfach auch für den Architekten nützlich, wenigstens einen allgemeinen

Überblick über die ungefähr zutreffenden Maße zu haben, teils um bei seinem Entwurf, soweit nötig, von vornherein darauf Rücksicht nehmen zu können, teils um eine gewisse Kontrollmöglichkeit über Firmenangebote zu besitzen. Letzteres kommt vor allem für Heizungsanlagen in Betracht, für die auch heute noch von den Lieferfirmen meist zu geringe Isolierstärken vorgeschlagen werden. Zahlentafel 51 gibt nach den „Richtlinien zur Bemessung von Wärme- und Kälteschutzanlagen“ des Vereins Deutscher Ingenieure einen guten Anhaltspunkt¹.

16. Die Temperaturverteilung in einer Baukonstruktion und deren praktische Bedeutung.

Die Kenntnis der Temperaturen, die sich an oder in einer Wand einstellen, ist wichtig:

1. für die Schwitzwasserbildung an der Innenfläche einer Wand,
2. für das Wärmespeichervermögen,
3. für die Wärmedehnung von Wandteilen unter dem Einfluß der Sonnenbestrahlung.

Der erste Punkt ist durch Abschnitt 15a für Wohnräume bereits erledigt. Die Verhältnisse bei industriellen Räumen, sowie die übrigen Punkte werden nachstehend behandelt. Die Berechnung der Temperaturverteilung in einer Wand läßt sich sehr einfach mit Hilfe der gleichwertigen Vollziegelstärke durchführen, wenn man die Wärmeübergangswiderstände zwischen Luft und Wandoberfläche, wie in Abschnitt 6c geschehen, ebenfalls in diesem Maß ausdrückt. Das Gesamttemperaturgefälle zwischen Innen- und Außenluft verteilt sich nämlich auf die Einzelschichten einer Konstruktion im Verhältnis

der Teilwiderstände für die Wärmeströmung zum gesamten Wärmeaustauschwiderstand.

Innerhalb einer homogenen Schicht selbst sinkt die Temperatur linear ab.

Der Ermittlungsgang sei für das Beispiel 3 auf S. 75 gezeigt. Hierfür ist:

Wärmeübergangswiderstand an der			
Innenfläche (S. 42)	15	cm =	22 % des Gesamtwärmeschutzes
Gleichwertige Ziegelstärke			
des Innenputzes	3,5	cm =	5 % „ „
der inneren Luftschicht	15	cm =	22 % „ „
der Kiesbetonschicht	14	cm =	21 % „ „
der äußeren Luftschicht	15	cm =	22 % „ „
des Außenputzes	2,5	cm =	4 % „ „
Wärmeübergangswiderstand an der			
Außenfläche (S. 42)	3	cm =	4 % „ „
<hr/>			
Gesamtwärmeaustauschwiderstand .	68,0	cm =	100 % des Gesamtwärmeschutzes

¹ Ausführlich ist der industrielle Wärmeschutz in dem Buche des Verfassers behandelt: „Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie“. Berlin: Julius Springer 1928.

Beträgt also die Raumtemperatur beispielsweise $+ 20^{\circ} \text{C}$, die Außentemperatur $- 10^{\circ} \text{C}$, so entfällt von der gesamten Temperaturdifferenz von 30°C auf:

den inneren Wärmeübergang	= 22 %	Temperaturdifferenz =	$6,6^{\circ} \text{C}$
den Innenputz	= 5 %	„	= $1,5^{\circ} \text{C}$
die innere Luftschicht	= 22 %	„	= $6,6^{\circ} \text{C}$
die Kiesbetonschicht	= 21 %	„	= $6,3^{\circ} \text{C}$
die äußere Luftschicht	= 22 %	„	= $6,6^{\circ} \text{C}$
den Außenputz	= 4 %	„	= $1,2^{\circ} \text{C}$
den äußeren Wärmeübergang	= 4 %	„	= $1,2^{\circ} \text{C}$
		= 100% Temperaturdifferenz =	$30,0^{\circ} \text{C}$

Die sich damit ergebende Temperaturverteilung ist in der Abb. 37 auf S. 75 eingetragen. Aus dem Gesagten und einem weiteren Beispiel in untenstehender Abb. 45 ergibt sich, daß das Haupttemperaturgefälle in den Schichten des größten Wärmewiderstandes stattfindet, also bei Verwendung von Wärmeschutzmaterialien stets in diesen. Wie ferner Abb. 47 und 48 zeigen, ändert sich demnach durch die Lage von Wärmeschutzschichten in einer Konstruktion die Temperatur der übrigen Wandteile. Das hat erheblich praktische Auswirkungen für die Wärmespeicherung und für die Wärmedehnungen bei Sonnenbestrahlung.

a) Die Schwitzwasserbildung in Räumen mit hoher Luftfeuchtigkeit.

In industriellen Räumen, z. B. der Papierfabrikation, von Färbereien, in Trockenanlagen u. dgl., sowie in Räumen des Nahrungsmittelgewerbes (Keller jeder Art, z. B. in Käsereien, Brauereien u. dgl.) kommen sehr hohe Luftfechtigkeiten in Frage, die trotzdem zu keiner Schwitzwasserbildung im Winter führen sollen¹. Zuweilen ist sogar volle Sättigung der Luft vorhanden, dann kann eine Wärmeschutzschicht allein überhaupt nicht mehr Schwitzwasserbildung vermeiden. Denn schon die geringste Unterkühlung der inneren Wandoberfläche, ja

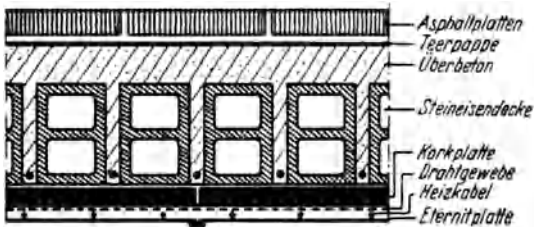


Abb. 44. Elektrische Hilfsbeheizung der Decke eines Käsekellers gegen Schwitzwasser.

in Frage, die trotzdem zu keiner Schwitzwasserbildung im Winter führen sollen¹. Zuweilen ist sogar volle Sättigung der Luft vorhanden, dann kann eine Wärmeschutz-

schicht allein überhaupt nicht mehr Schwitzwasserbildung vermeiden. Denn schon die geringste Unterkühlung der inneren Wandoberfläche, ja

¹ Schwitzwasserniederschlag an Wänden infolge zu geringen Wärmeschutzes kann nur dann eintreten, wenn die andere Seite der Wand kälter ist. Nur dann ist die innere Oberflächentemperatur niedriger als die Raumtemperatur. Schlägt sich also in einem Kühlraum im Sommer Feuchtigkeit nieder, so stammt sie aus eindringender warmer Außenluft, z. B. beim Öffnen der Türen. Abhilfe: Kleiner Vorraum, so daß beim Betreten stets eine Türe geschlossen bleiben kann.

sogar die täglichen Temperaturschwankungen des Raumes genügen, um Schwitzwasser ausfallen zu lassen. Man muß in solchen extremen Fällen Schutzheizungen vornehmen, z. B. durch Einführen von warmer Luft in Zwischendecken, durch eine elektrische Hilfsbeheizung der Oberfläche nach Abb. 44¹ oder durch Entnebelung, d. h. durch Mischen der feuchten Luft mit warmer trockener u. dgl. In der Kühltechnik muß man sich oft damit begnügen, das unvermeidlich entstehende Schwitzwasser von dem Eindringen in die Wand abzuhalten und an den Stellen, wo es durch Herabtropfen Schaden bringen könnte, durch

Auffangvorrichtungen abzuleiten.

Oft wird man aber bei genauen Messungen feststellen können, daß eine völlige Sättigung der Luft nicht vorhanden ist, daß also eine Wärmeschutzschicht Schwitzwasserbildung verhindern kann. Besonders unter Decken ist ja die Luft wärmer und daher oft trockener als in Raummitte. Die notwendigen Stärken werden allerdings bei höherer Luftfeuchtigkeit sehr groß, so daß nur die hochwertigsten Wärmeschutzplatten, die dann auch besonders widerstandsfähig gegen Feuchtigkeit sein sollen, in Frage kommen.

Zah lentafel 52 enthält den notwendigen Wärmeschutz einer Wand oder Decke in gleichwertiger Ziegelstärke in Abhängigkeit vom relativen

Zah lentafel 52.

Notwendiger Wärmeschutz² zur Vermeidung von Schwitzwasser an Wänden und Decken (gültig für Raumtemperaturen von 15—25° C).

Relative Luftfeuchtigkeit in %	Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außenluft in °C	Notwendige Konstruktionsstärke in cm bei			
		Vollziegelmauerwerk	Kork- und Torfplatten		Leichtdielen (350 kg/m ²)
			(100 kg/m ²)	(150 kg/m ²)	
50	25	15	1	1	2
	50	47	2	3	6
60	25	26	1	2	4
	50	71	3	4	10
70	25	45	2	3	6
	50	107	5	6	14
80	25	81	4	5	11
	50	180	8	10	24
85	25	116	5	6	15
	50	250	12	14	—
90	25	179	8	10	24
	50	379	18	21	—
95	25	399	19	22	—
	50	815	38	46	—

¹ Nach System M. Krause, DRP. Nr. 524 826, Lizenz für Deutschland Rheinland & Co. G. m. b. H., Berlin-Wilmersdorf. Der Strombedarf ist verhältnismäßig niedrig und beträgt etwa 3 kW für 100 m² Fläche.

² Die Wärmeübergangszahl an der Innenfläche ist hierbei mit 5 kcal/m²h⁰C angenommen. Vgl. Zah lentafel 55, S. 99.

Die Umrechnung der erforderlichen Vollziegelstärke der Tabelle 52 für ein Material beliebiger Wärmeleitzahl kann außer nach Tafel 44 auch wie auf S. 78 angegeben durch Multiplikation der Ziegelstärke mit dem Verhältnis:

$$\frac{\text{Wärmeleitzahl des Materials}}{0,75}$$

erfolgen.

Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Man kann danach mit Hilfe der Zahlentafel 44, S. 72 jederzeit eine Konstruktion zusammenstellen, die Schwitzwasserbildung vermeidet. Die notwendige Stärke von Kork- oder Torf-

Zahlentafel 53.

Speicherfähigkeit von Bau- und Wärmeschutzstoffen für die Volumeneinheit und 1° C Temperaturerhöhung.

Raumgewicht in kg/m ³	Speicherfähigkeit in kcal/m ³ °C bei einer Feuchtigkeit in Vol.-% von					
	0	1	2,5	5	10	20
Anorganische Baumaterialien, wie Ziegel, Beton, Gips						
400	84	94	109	134	184	284
600	126	136	151	176	226	326
800	168	178	193	218	268	368
1000	210	220	235	260	310	410
1200	252	262	277	302	352	452
1400	294	304	319	344	394	494
1600	336	346	361	386	436	536
1800	378	388	403	428	478	578
2000	420	430	445	470	520	620
2400	504	514	529	554	604	704
Organische Baustoffe (Holz, Kork, Torf, Seegrass usw. ohne Bindemittel)						
100	45	55	70	95	145	245
200	90	100	115	140	190	290
300	135	145	160	185	235	335
400	180	190	205	230	280	380
600	270	280	295	320	370	470
800	360	370	385	410	460	560
1000	450	460	475	500	550	650
Korkplatten, pech imprägniert						
100	34	44	59	84	134	—
200	68	78	93	118	168	—
300	102	112	127	152	202	—
Eisen, Stahl						
7850	900	—	—	—	—	—
Wasser						
1000	1000	—	—	—	—	—

plattens ist beigefügt, von der der Wärmeschutz der eigentlichen Wandkonstruktion abzuziehen ist. Die Zahlentafel zeigt, wie weit man aus praktischen Gründen mit Wärmeschutzschichten kommen kann und wo heiztechnische Maßnahmen Platz greifen müssen.

Als kälteste Wintertemperatur wird man zweckmäßig die Temperaturen der Zonenkarte 41 auf S. 81 um 5° C erniedrigen, da hier an die Vermeidung eines auch nur kurzzeitigen Schwitzwasserniederschlags besonders hohe Anforderungen gestellt werden.

Beispiel. Decke einer Turbinenhalle aus Eisenbeton, 10 cm stark, Luftfeuchtigkeit 70%, Raumtemperatur + 20° C, Außentemperatur — 25° C. Aus Zahlentafel 52 ergibt sich eine Stärke der Wärmeschutzschicht bei normalen Korkplatten (150 kg/m³) von 6 cm. Die Kiesbetonschicht hat nach Zahlentafel 44 einen Wärmeschutz von etwa 8 cm Ziegelmauerwerk, ersetzt also nach dieser Tafel nur 1/2—1/3 cm Korkplatte und kann somit vernachlässigt werden.

b) Die Wärmespeicherung von Baukonstruktionen.

Nach Abschnitt 8 sind besondere Vorschriften über die Wärmespeicherung von Wänden bei Wohnräumen zwar nicht notwendig, doch ist die Nützlichkeit einer Wärmespeicherung hinsichtlich der dort besprochenen Punkte damit natürlich nicht in Abrede gestellt. Es sei deshalb nachstehend die Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit gezeigt.

Man hat zur Ermittlung der Wärmespeicherung zunächst den Temperaturverlauf im Wandquerschnitt und daraus die mittlere Temperatur in den einzelnen Wandschichten als arithmetisches Mittel der Temperaturen der Begrenzungsflächen festzustellen. Die in jeder Schicht gespeicherte Wärme berechnet sich dann nach der Formel¹:

$$W = (t_m - t_L) \cdot w \cdot s.$$

Darin bedeutet:

- W = die in 1 m² Fläche einer Schicht gespeicherte Wärme in kcal/m².
- t_m = die mittlere Temperatur der Schicht in °C.
- t_L = die Außenlufttemperatur in °C.
- w = die Speichermöglichkeit des Materials für die Volumeneinheit und 1° C Temperaturänderung in kcal/m³°C nach Zahlentafel 53.
- s = die Stärke der betrachteten Schicht in m.

Die Speichermöglichkeit w für die Volumeneinheit, die das Produkt aus der spezifischen Wärme für 1 kg Material und dem Raumgewicht darstellt, zuzüglich der Speichermöglichkeit eines Feuchtigkeitsgehaltes, ist aus Zahlentafel 53 zu entnehmen. Zwischen den einzelnen Arten der anorganischen Produkte ist dabei kein Unterschied zu machen, es ist also im übrigen nicht etwa zwischen Ziegel, Beton, Gips u. dgl. zu unterscheiden. Das gleiche gilt für organische Baustoffe, soweit nicht die Bindemittel eine merkliche Änderung hervorbringen.

Als Vergleichsmaßstab für die Speicherung einer beliebigen Wandkonstruktion sei noch die Speichermöglichkeit für 1 m² normales verputztes Ziegelmauerwerk (RG = 1700 kg/m³) genannt, wenn die Raumluft + 20° C, die Außenluft - 20° C ist.

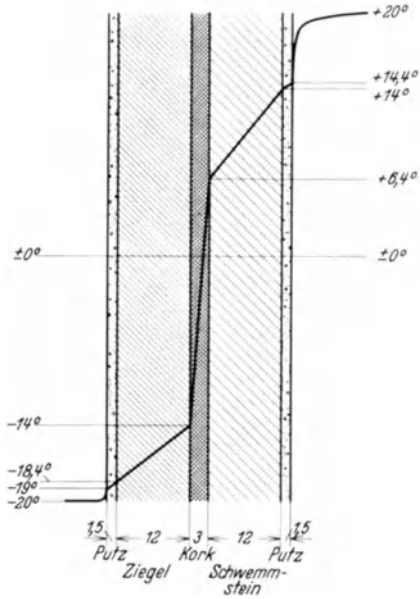


Abb. 45. Temperaturverteilung in der Wärmeschutzschicht einer Massivwand.

Wandstärke	1/2 Stein	1 Stein	1 1/2 Stein	2 Stein
Wärmespeicherung in kcal/m ² . . .	800	1700	2550	3570

¹ Wie im Vorwort erwähnt, sollen in den beiden Hauptteilen dieses Buches Formeln vermieden werden. Hier aber ist eine Formel die einfachste Darstellungsmöglichkeit, weshalb eine solche ausnahmsweise benutzt sei.

Beispiel. Für die Konstruktion der Abb. 45 ist die Speicherwärme zu berechnen.

Schicht	Grenztemperatur °C	Mittlere Temperatur °C	Mittlere Temperatur-differenz gegen Lufttemperatur °C	Raumgewicht kg/m ³	Feuchtigkeit Vol.-%	Speicherfähigkeit w kcal/m ³ °C	Wärmespeicherung kcal/m ³
0,015 m Innenputz . . .	+ 14/14,4	14,2	34,2	1700	2,5	382	196
0,12 m Schwemmsteine.	+ 6,4/14	10,2	30,1	800	10	268	970
0,03 m Korkschiebt . . .	- 14/+ 6,4	- 3,8	16,2	200	1	78	38
0,12 m Ziegelschiebt . . .	- 18,4/- 14	- 16,2	3,8	1700	1	367	168
0,015 m Außenputz . . .	- 19/- 18,4	- 18,7	1,3	1700	5	407	8
							1380

Man sieht, daß die außerhalb der Wärmeschutzschicht gelegenen Teile nur mehr wenig Wärme speichern und daß auch die Isolierschicht selbst praktisch speicherlos ist.

c) Wärmedehnungen unter dem Einfluß der Sonnenbestrahlung.

Die in Abschnitt 9 nachgewiesenen hohen Oberflächentemperaturen bei Sonnenbestrahlung müssen notwendigerweise starke Wärmedehnungen in Wänden und Dächern hervorrufen. Die Schäden, die bei neuartigen Konstruktionen, die nicht sorgfältig den physikalischen Verhältnissen angepaßt sind, entstehen können, sind bei einer Reihe von Großsiedlungen der Jahre 1927 bis 1930 allgemein bekannt geworden. Abb. 46 zeigt eine typische Zerstörungerscheinung¹.

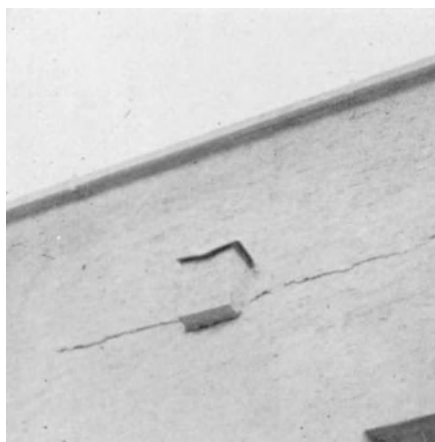


Abb. 46. Sprengung einer Außenwand durch Wärmedehnung des Flachdaches.

Zur näheren Untersuchung der Zusammenhänge gibt Zahlentafel 54 die lineare Ausdehnung in Millimeter pro Meter und 100° C für die wichtigsten Stoffe des Bauwesens. Die Wärmedehnung von organischen Wärmeschutzplatten und Leichtdielen kann gleich Null gesetzt werden, weil sie durch Schwund infolge Austrocknung bei zunehmender Temperatur ausgeglichen wird. Auch erhalten diese Stoffe ja durch ihr hohes Isoliervermögen stets nur geringe mittlere Temperaturen.

Man erkennt in der Tabelle, daß der Ausdehnungskoeffizient von

¹ Freundlichst zur Verfügung gestellt von Herrn Prof. Lempp, Stuttgart.

Eisen und Beton verhältnismäßig gut übereinstimmt, woraus sich die bekannte dauerhafte Verbindung im Eisenbeton erklärt.

Bei der Berechnung der Wärmeausdehnung eines Bauteiles gegenüber einem anderen oder gegenüber dem Erdreich sind zwei Fälle zu unterscheiden: die betrachteten beiden Körper haben ungefähr gleiche Temperatur, aber stark verschiedene Ausdehnungskoeffizienten. Oder sie erhalten so verschiedene Temperaturen, daß selbst bei ähnlichem Ausdehnungskoeffizient eine relative Längenverschiebung eintritt.

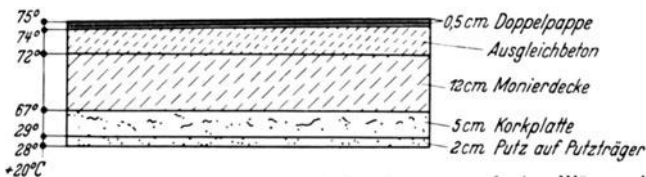


Abb. 47. Temperaturen eines Flachdaches bei unten angeordneter Wärmeschutzschicht infolge Sonnenbestrahlung.

Zu dem ersteren Fall gehört beispielsweise eine Blechabdeckung, die mit dem Verputz verbunden ist. Nach Zahlentafel 54 können sich die Ausdehnungskoeffizienten wie 1,7 : 0,5 verhalten. Die Verschiebung der beiden Teile berechnet sich dann aus der höchsten und niedrigsten Jahrestemperatur. In Zahlentafel 55 ist deshalb dieser Temperaturunterschied unter der Annahme einer Lufttemperatur im Sommer von + 30° C, im Winter von — 30° C angegeben, wobei die Wirkung der

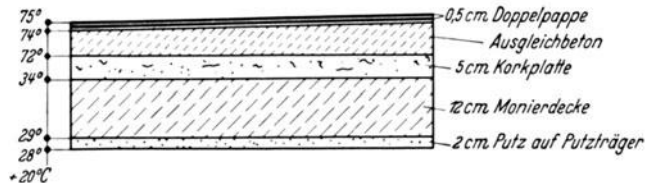


Abb. 48. Temperaturen eines Flachdaches bei oben angeordneter Wärmeschutzschicht infolge Sonnenbestrahlung.

Sonnenbestrahlung an heißen Tagen sowie die Unterkühlung von Oberflächen in klaren Nächten durch Ausstrahlung gegen den Himmel berücksichtigt ist. Diese Unterkühlung kann bei Dächern etwa 5° C, bei Wänden etwa 3° C gegenüber der Lufttemperatur betragen. Es zeigt sich also, daß die jährliche Temperaturänderung einer Oberfläche 120° C betragen kann, so daß in dem gewählten Beispiel die relative Längenänderung pro laufendem Meter Abdeckungsblech gegenüber dem Verputz 1,4 mm wird.

Wichtiger ist im allgemeinen der zweite Fall, daß also benachbarte Bauteile auf sehr verschiedene Temperaturen kommen. Abb. 47 und 48 erläutern, daß die Anordnung der Wärmeschutzschicht bei einem Flachdach durch Anbringung auf der Unterseite eine Mitteltemperatur der

Massivdecke von 72° C bewirkt, während bei Anordnung der Wärmeschutzschicht oben nur eine Erwärmung auf 32° C eintritt. Die Bewegung der Massivdecke gegenüber dem tragenden Mauerwerk ist also bei unten angebrachter Isolierung wesentlich größer und verlangt entsprechende

Zahlentafel 54. Die Wärmeausdehnung von Baustoffen zwischen 0 und 100° C¹.

Material	Lineare Ausdehnung in mm/m
Aluminium, Zinn, Blei	2,38—2,92
Kupfer, Zink, Bronze, Messing	1,65—1,84
Flußeisen, Flußstahl, Gußeisen	1,04—1,20
Jenaer Glas, je nach Sorte	0,35—0,81
Berliner Porzellan	0,30
Granit, Kalkstein, Sandstein	0,80—1,18
Ziegelstein	0,36—0,58
Hartbrandstein	0,41
Klinker	0,28—0,48
Kalksandstein	0,78
Schaumbeton	1,08
Reiner Portlandzement	1,42
Edelputze	0,46—0,90
Schüttbeton	0,77—0,94
Steinholz	1,70
Hochofenschlackenbeton	0,58—0,66

konstruktive Maßnahmen (Gleitlager auf Pappe oder Blei an den Auflageflächen, Dehnungsfugen usw.). Es ist daher stets die Wärmeschutzschicht über der Decke anzuordnen, zumal man auf diese Weise eine erwünschte Wärmespeicherung zur Kühlung des darunterliegenden Raumes im Sommer bzw. zum Warmhalten im Winter erhält.

Für überschlägige Betrachtungen ist es oft nicht notwendig, die genaue Temperaturverteilung zu ermitteln, sondern man kann für die fraglichen Bauteile die Temperatur der benachbarten Oberflächen einsetzen. In Zahlentafel 55 ist deshalb auch der größte Temperaturunterschied der beiden Oberflächen angegeben, der sich bei Sonnen-

Mörtel	1 : 1	1 : 4	1 : 7
Sand — Portlandzement	1,07—1,35	0,89—1,00	0,85—0,99
Sand — Kalk	0,73—0,89	0,81—0,89	0,80—0,87
	1 : 2	1 : 4	1 : 7
Kalksand — Portlandzement	0,70	0,56	0,50
Kalksand — gelöschter Kalk	0,48	0,47	0,47
Kalkbrei — Kalksand — 10% Portlandzement	0,59	0,52	0,51

bestrahlung einstellen kann. Dabei ist angenommen, daß die Raumtemperatur ungefähr dem Tagesmittel der Lufttemperatur entspricht und daß die tägliche Temperaturschwankung der Luft 20° C beträgt. Die Werte können in einzelnen Fällen noch etwas überschritten werden, bleiben aber meist geringer.

¹ Die Metalle sind in obiger Tabelle zu Gruppen zusammengefaßt, wobei der untere Grenzwert für den erstangegebenen Stoff, der obere für den letztgenannten gilt. Die Werte für Baustoffe und Mörtel nach F. Wolters: Die Wärmeausdehnungskoeffizienten von Baustoffen, insbesondere von Mörtel. Bd. 1 der Bauforschungen, Verlag R. Müller, Eberswalde.

Zahlentafel 55. Die maßgebenden Temperaturen für Wärmedehnungen.

Bauteil	Größte jährliche Temperatur-schwankung der äußeren Oberfläche in ° C	Größter Temperatur-unterschied zwischen den beiden Ober-flächen eines Bauteils in ° C
Senkrecht bestrahlte Fläche	120	55
Flachdach, schräges Ost- und Westdach	110	50
Schräges Süddach, Ost- und Westwand	100	40
Südwand	90	35

Bei Flachdächern muß man also stets mit einem gewissen Gleiten der einzelnen Schichten aufeinander rechnen, so daß es zweckmäßig ist, die wassersperrende Schicht aus dreifach verklebter Pappe zu nehmen, wenn sie innerhalb der Decke liegt. Die beiden außenliegenden Pappen können dann mit den Begrenzungsflächen zusammepappen, ohne daß die schonende Lagerung der Zwischenpappe in dem elastischen Klebemittel beeinträchtigt würde. Aus diesem Grunde sollte auch eine Reserve-dichtung stets unterhalb der Wärmeschutzschicht angeordnet werden, weil sie dort die geringeren Temperaturänderungen erfährt.

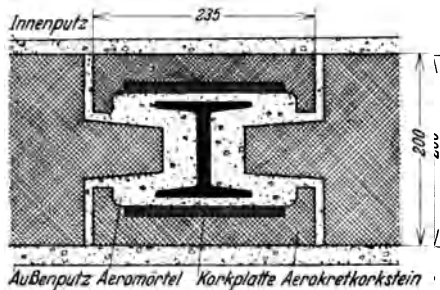


Abb. 49. Schutz von Trägern gegen Sonnenbestrahlung durch Korkplatten in Spezialformsteinen.

Das unter Wärmeschutzschichten oft ausgeführte Sandbett dient nicht als Gleitfläche, wie angenommen wird, sondern nur als Ausgleich der Unebenheiten der rohen Decke.

Nachstehend noch einige Konstruktionsbeispiele: Besonders wichtig ist der Schutz gegen Sonnenbestrahlung bei Stahlskeletbauten, weil die hohe Wärmeleitfähigkeit des Eisens sonst zu höheren Temperaturen der Träger führt als die umgebende Wand hat. Abb. 49 und 50 zeigen Lösungen der Tor-kret G. m. b. H., Berlin. Im letz-

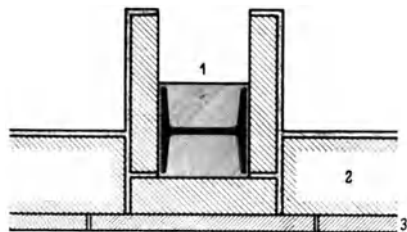


Abb. 50. Gute Eisenskeletanordnung beim Rhenania-Ossag-Haus, Berlin. 1 Installation, 2 Gasbeton, 3 Travertin.

teren Fall wird der Eisenträger in den Raum zurückgesetzt, um Platz für eine 10 cm starke Gasbetonplatte zu schaffen. Gleichzeitig wird die Breitseite des Trägers parallel zum Wärmestrom gesetzt, um der Sonnenwärme nur schmale Eintrittsflächen zuzukehren. Wenn der Träger völlig im Mauerwerk liegen soll, so werden nach Abb. 49 Spezial-Aerokretsteine verwendet, in die eine Korkplatte eingegossen ist. Die Verwendung dünnerKork-

platten vor den Trägern ist wohl überhaupt die beste und häufigste Lösung. Die Eckpfeiler in Abb. 51 bräuchten überhaupt nur in die innere Steinschicht verlegt zu werden. Im übrigen muß selbstverständlich

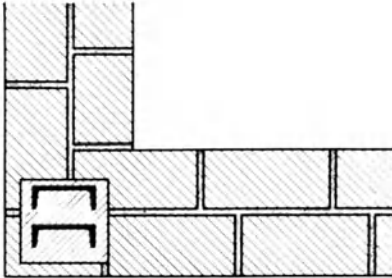


Abb. 51. Falsche Anordnung der Eckpfeiler in der Außenschicht eines Leichtsteinmauerwerks.

der Konstruktion des Eisenskelets selbst auf die Rücksicht nehmen. So sind die Ringskelet anzuordnen, die Fensterstürze sollen ohne Verbindung mit dem übrigen Skelet bleiben usw.

Über die zweckmäßigste Wahl des Verputzes zur Vermeidung von Rissen durch Sonnenbestrahlung je nach der Art des Wandmaterials gibt Zahlentafel 54 Anhaltspunkte. Man soll möglichst einen Verputz wählen, der gleiche

oder etwas geringere Wärmeausdehnungskoeffizienten als der Untergrund hat.

17. Wärmebrücken.

a) Mörtelfugen.

Die Wärmeleitfähigkeit des Mörtels in einem Mauerwerksverband liegt etwa zwischen 0,6 und 1,0 kcal/mh °C je nach Raumgewicht und Feuchtigkeitsgehalt. Die Mörtelfeuchtigkeit ist bei Ziegelmauern etwa um 50% höher als die Feuchtigkeit des Ziegelsteins.

Zahlentafel 56. Die Verschlechterung des Wärmeschutzes eines Mauerwerks durch die Mörtelfuge.

Wärmeleitfähigkeit des Steinmaterials in kcal/mh ° C	Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks gegenüber der des Steines in %	
	niedrige Mörtelfeuchtigkeit (Hohlbauweisen, Ziegel)	mittlere Mörtelfeuchtigkeit (Leichtbetonsteine)
0,15	75	110
0,2	50	75
0,3	25	40
0,4	15	25
0,6	0	10

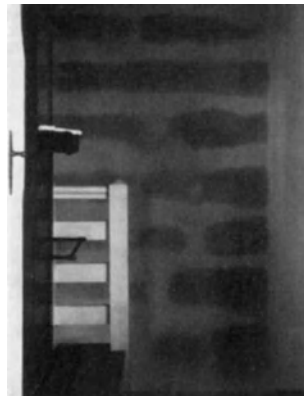


Abb. 52. Örtliche Schwitzwasserbildung bei einer Leichtziegelwand.

Der mittlere Wärmeschutz eines Mauerwerks ist also bei Verwendung gut isolierender Steine geringer als der Wärmeschutz der Steine selbst. Die Verminderung ist nicht unerheblich, wie Zahlentafel 56 zeigt.

Diese Zahlen sind natürlich nur Durchschnittswerte, da Steinformat und Mauerstärke von Einfluß sind. So ist beim NZF-Format der

Mörtelanteil 24 Vol.-% für 2 Stein starke Mauern und 18 Vol.-% für $\frac{1}{2}$ Stein Stärke.

Abgesehen von dieser Verschlechterung des mittleren Wärmeschutzes der Wand, die bei Berechnungen berücksichtigt werden muß und auch in Zahlentafel 44 zum Ausdruck kommt, besteht bei Wänden unterhalb einer Stärke von etwa 25 cm örtliche Schwitzwassergefahr, die durch das Durchschlagen von Regen verschlimmert wird, wenn nicht ein wasserabweisender Unterputz unter dem üblichen Kalkmörtelputz vorgesehen ist. Besonders in einem Läufer- und Bindeverband gut isolierender Steine zeigen sich leicht Schäden nach Abb. 52¹. Eine durchgehende Mörtelfuge besitzt nur den Wärmeschutz einer gleichwertigen Ziegelstärke wie nebenstehend.

Zahlentafel 57.

Wärmeschutz der Mörtelfuge in Mauern.

Wandstärke in cm	20	30	40
Gleichwertige Ziegelstärke der Mörtelfuge in trockenen Bauweisen	25	38	50
in normal-feuchten Bauweisen	19	28	38

Durch die geringe Breite der Mörtelfuge erfolgt allerdings ein gewisser Querausgleich der Wärmeströmung in den umgebenden Steinen.

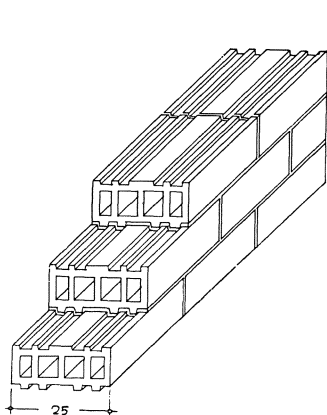


Abb. 53. Verlängerte Mörtelfuge (Frewen-Ziegel).

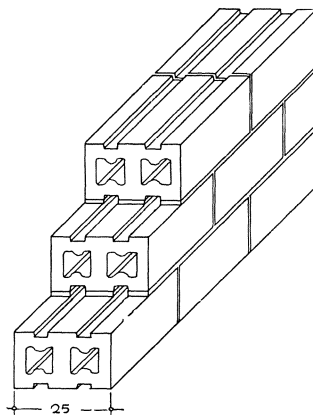


Abb. 54. Lufträume in der Mörtelfuge (Aristos-Ziegel).

Will man daher Wände in 20—30 cm Stärke ausführen, so hat man die Mörtelfuge zu verbessern. Dies geschieht z. B. durch die „verlängerte Fuge“ beim Frewen-Ziegel (Abb. 53) oder durch unterbrechende Luft-

¹ Dankenswerterweise zur Verfügung gestellt von Herrn Regierungsbaurat Dipl.-Ing. Amos, Höhen-Dölzschcn vor Dresden. Vgl. auch Amos: Gesundheitsstörungen durch ungenügenden Wärme- und Wetterschutz der Außenwände von Wohngebäuden. Wärmewirtschaft im Städtebau und Siedlungswesen 1935 S. 71.

räume beim Aristos-Ziegel (Abb. 54). Bei beiden bleibt aber die Stoßfuge ungeändert¹.

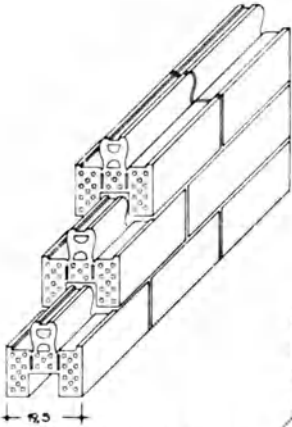


Abb. 55. Teilweise Unterbrechung auch der Stoßfuge (Ludowici-Nationalstein).

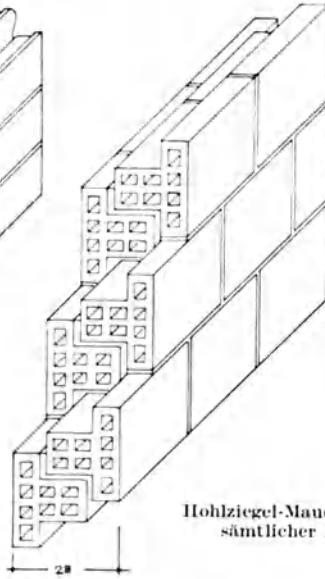


Abb. 56. Hohlziegel-Mauerwerk mit Unterbrechung sämtlicher Fugen (Nofote-Ziegel).

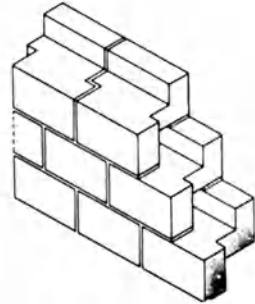


Abb. 57. Leichtbetonstein mit Unterbrechung aller Fugen (Triol-Stein).

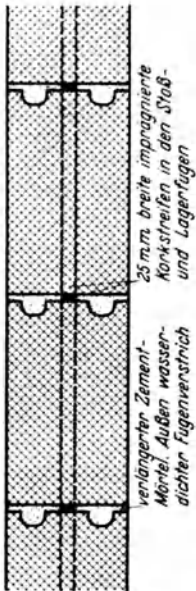


Abb. 58. Mit Korkstreifen isolierte Mörtelfuge.

Besser ist in letzterer Hinsicht der Ludowici-Nationalstein (Abb. 55), bei dem auch die Stoßfugen auf ein Drittel unterbrochen sind. Der Nofote-Ziegel weist überhaupt nirgends mehr eine durchgehende Mörtelfuge auf (Abb. 56).

Beispiel einer Lösung für Leichtbetonsteine zeigt der Triol-Stein (Abb. 57), sowie die Ausführung der Torkret G. m. b. H. bei ihrem Aerokret-Stein, wobei in der Mörtelfuge Korkstreifen eingelegt werden, eine ebenso einfache wie vorzügliche Ausführung (Abb. 58).

Selbstverständlich ist nicht nur der Verfüguung, sondern auch den durchlaufenden Materialschichten von Hohlsteinen Aufmerksamkeit zu schenken. Deshalb ist die 25 cm Wandstärke im allgemeinen als die untere Grenze anzusehen, von der ab verlässige Lösungen möglich sind. Ausführungsformen mit kleinen Lufträumen, die an Mörtelfugen grenzen, sind

nicht zweckmäßig, da die Lufträume meist mehr oder weniger von Mörtel ausgefüllt werden.

¹ Abb. 53—56 wurden entgegenkommend von der Staatl. Beratungsstelle für das Baugewerbe beim Württ. Landesgewerbeamt, Stuttgart, zur Verfügung gestellt.

b) Kältebrücken in Wandkonstruktionen.

Bei Konstruktionen unter Verwendung von Materialien sehr verschiedener Wärmeleitfähigkeit können leicht Kältebrücken auftreten.

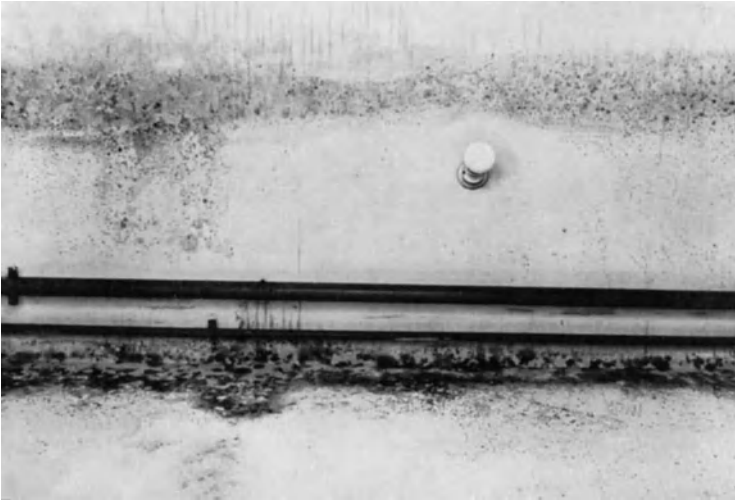


Abb. 59. Schwitzwasser- und Bakterienbildung durch zu geringen Wärmeschutz von Eisenbetonträgern in einer Wand.

Dies trifft vor allem auf den Skelettbau zu. Abb. 59¹ zeigt die unangenehmen Folgen ungeschützter Eisenbetonträger, wie örtliche Schwitzwasserbildung, Auftreten von Schimmel usw. Die hier notwendigen Maßnahmen decken sich vielfach mit denen, die zum Schutz gegen Sonnenbestrahlung notwendig sind und die schon in Abschnitt 16 c behandelt wurden.

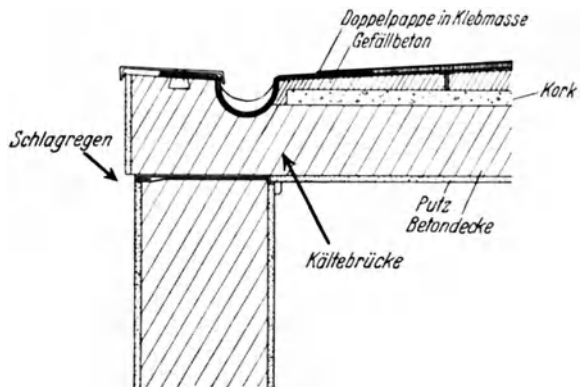


Abb. 60. Falsche Anordnung einer Beton-Regenrinne. Kältebrücke und gegen Schlagregen ungeschützte Auflagefuge des Daches, Schwitzwasserbildung.

Auch bei Flachdachkonstruktionen sind Kältebrücken häufig. So ist in Abb. 60 durch die Innenanordnung der Regenrinnen die Wärmeschicht vorzeitig abgebrochen und der Querschnitt der Massivdecke

¹ Dankenswerterweise überlassen vom Institut für Schall- und Wärmeforschung, Stuttgart.

geschwächt. Richtig ist eine überhängende Betonrinne nach Abb. 61, die gleichzeitig auch die Auflagefläche der Decke vor Schlagregen schützt.

Bei Flachdächern ist es oft schädlich, nach Abb. 62 die Fenster bis unmittelbar an die Decke¹ gehen zu lassen, wenn der Rolladenkasten den Wärmeschutz der Deckenkante schwächt. Der in diesem Beispiel vorgesehene Doppel-T-Träger verschärft

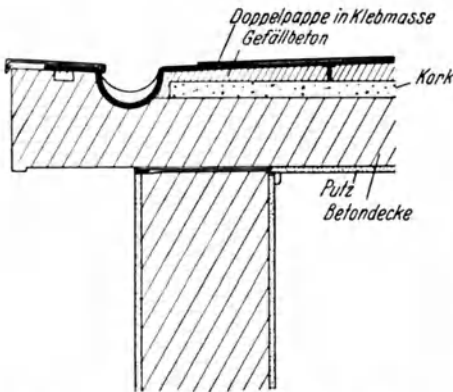


Abb. 61. Richtige Anordnung: Regenrinne überhängend, Wärmeschutzschicht bis über die Tragmauer vorgezogen.

den Fehler. Die Wärmeschutzschicht ist also über diesen Träger zu ziehen und auch am Rolladenkasten ist zweckmäßig eine Isolierung anzubringen, wenn das Fenster nicht tiefer gesetzt werden soll.

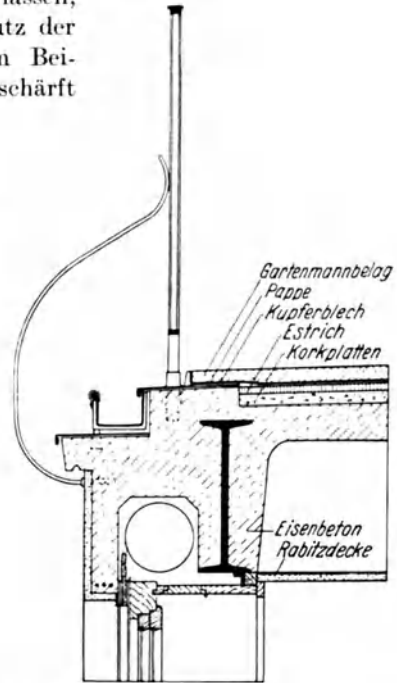


Abb. 62. Kalte äußere Oberkante der Decke durch hochgezogenes Fenster und Rolladenkasten, Eisenträger als Kältebrücke und vor Sonnenbestrahlung ungeschützt.

18. Der Einfluß der Grundrißgestaltung auf den Wärmebedarf eines Gebäudes.

Der Wärmeverbrauch für 1 m³ umbauten Raum ist nicht nur vom verwendeten Baustoff der Wände, sondern auch von der Größe des Gebäudes und seiner Ausbildung abhängig. Man wird zwar zuweilen hygienischen Gesichtspunkten (wie der Besonnung) und bei entsprechender sozialer Stellung des Besitzers auch ästhetischen Gesichtspunkten den Vorrang vor wärmewirtschaftlichen Erwägungen geben können, muß sich aber stets über die wärmewirtschaftliche Seite klar sein. Schon

¹ Ohnedies ist die Deckenaußenkante kälter als die Deckenfläche selbst.

geringe Abänderungen des Entwurfes, die ohne weiteres möglich sind, ergeben manchmal wertvolle Betriebsersparnisse.

a) Der Einfluß der Gebäudegröße.

Das Verhältnis der wärmeabgebenden Oberfläche zum Volumen ist um so kleiner, d. h. auf 1 m³ umbauten Raum entfallen um so geringere Wärmeverluste, je größer der Raum ist. Dies drückt sich bekanntlich schon im Mauerwerksbedarf aus, der unter Zugrundelegung eines quadratischen Grundrisses beträgt:

Zahlentafel 58. Abhängigkeit der Wandfläche von der Hausgröße.

Grundrißfläche in m ²	25	50	75	100
Mauerwerksbedarf in m ³ bei 38 cm Wandstärke . .	24,5	33,9	41,2	47,3
Mauerwerksbedarf pro m ² Grundrißfläche in m ³ . .	0,98	0,68	0,55	0,47

Da die an das Erdreich grenzende Grundrißfläche nur etwa den fünften Teil an Wärme verbraucht, so kann man für eine überschlägige Betrachtung die Bodenfläche außer acht lassen. Es ist dann der halbe Würfel die günstigste Hausform, also das in nebenstehender Zahlentafel angegebene Seitenverhältnis.

Zahlentafel 59.

Wärmetechnisch günstigste Hausform.

Rauminhalt des Hauses in m ³	Länge der Grundrißkante in m	Günstigste Höhe des Hauses in m	Verhältnis von wärmeabgehender Fläche zum Rauminhalt
100	5,9	2,9	1,03
200	7,4	3,7	0,82
300	8,4	4,2	0,72
400	9,3	4,6	0,65
500	10,0	5,0	0,60

Auch nachstehende Erfahrungswerte des Heizbedarfes bei Häusern verschiedener Größe zeigen, daß gerade die Beheizung kleiner Häuser, wie sie für Siedlungen in Frage kommen, besonders teuer kommt und daß daher dort dem Wärmeschutz der Wände, der Verwendung gutschließender Doppelfenster und Türen (am Hauseingang Doppeltüren oder Windfang) und einer möglichst niedrigen Raumhöhe das größte Augenmerk zuzuwenden ist. Der Heizbedarf für 1 Kubikmeter beheizten Raum beträgt:

Große Mietshäuser 25—30 kcal/m³
 Mittelgroße Wohnhäuser 35—40 kcal/m³
 Kleine einstöckige oder freiliegende Häuser 60—80 kcal/m³

b) Der Einfluß der Grundrißform.

Von der in Zahlentafel 59 angegebenen günstigsten Hausform kann in ziemlich weiten Grenzen abgewichen werden, ohne daß das Verhältnis der wärmeabgebenden Fläche zum Rauminhalt sehr verschlechtert wird.

So würde selbst eine so langgestreckte Form wie 14×5 m Grundfläche bei 4 m Höhe (Rauminhalt 280 m^3) nur eine Verhältniszahl von 0,795 ergeben, während der günstigste Werte 0,75 beträgt. Man kann also

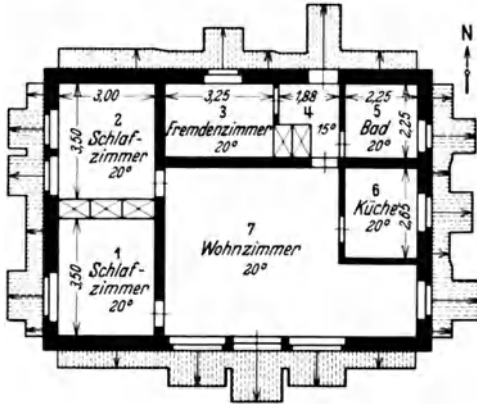


Abb. 63. Normaler Wärmebedarf bei annähernd quadratischem Grundriß eines Hauses. (Nach G. Reichow.)

durchaus wohntechnisch günstige Abmessungen wählen. Als unzulässig müssen aber Anordnungen bezeichnet werden, wie bei den bekannten Corbusier-Häusern der Weißenhofsiedlung, Stuttgart, die bei 400 m^3 umbauten Raum auf eine Verhältniszahl von 1,2 kommen, weil sogar ein Teil der Bodenfläche an die freie Luft grenzt und einzelne Räume auf das flache Dach gesetzt werden.

Ein weiteres Beispiel gibt Abb. 63 und 64 nach G. Reichow¹ für eine Grundriß-

fläche von 75 m^2 . Der Wärmebedarf für Haus I beträgt bei normaler Ausführung von Wänden und Decke und Doppelfenstern bei -15° C Außentemperatur $13\,900 \text{ kcal/h}$, bei Haus II $16\,100 \text{ kcal/h}$, also 16% mehr.

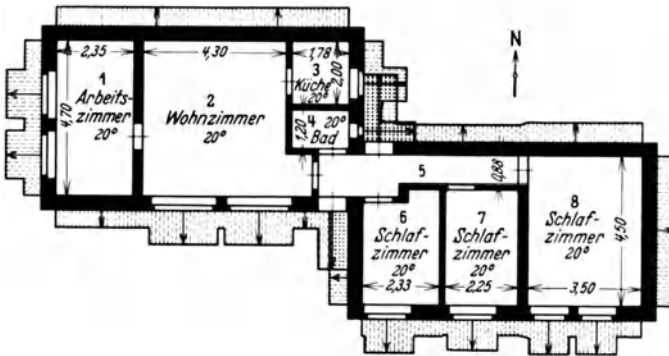


Abb. 64. Erhöhter Wärmebedarf durch langgestreckten Grundriß. (Nach G. Reichow.)

In den Abbildungen sind die durch die Umfassungswände, Außentüren und Fenster entweichenden Wärmemengen diagrammartig senkrecht zu den Außenwänden aufgetragen, woraus man die hohen Wärmeverluste an den Stellen der Türen und Fenster deutlich ersieht. Die jährlichen Mehrkosten für Heizung betragen bei Haus II RM 40,— oder

¹ Reichow, G.: „Über den Wärmeverlust bei kleinen Einfamilienhäusern“. Baugilde 1932 S. 314.

wenn man für die Schlafräume nur Temperierung annimmt (10° C) RM 34,—. Wollte man diesen Mehrverlust durch Anbringung einer 3 cm starken Kork- oder Torfplatte an der Nord- und Ostwand ausgleichen, so erhöht sich die Bausumme für Haus II um etwa RM 230,—, während die kapitalisierten Mehrkosten der Heizung und der notwendigen Vergrößerung der Heizanlage sich auf RM 625,— stellen.

Auch für Kleinhäuser lassen sich aber günstige Verhältnisse der wärmeabgebenden Fläche zum Rauminhalt schaffen, wenn man sie mit anderen Häusern zusammenfaßt. So erhält man unter Zugrundelegung der Abmessungen nach Zahlentafel 59 bei vollkommener Heizung des ganzen Hauses die nachstehende Ersparnis an wärmeabgebenden Außenflächen gegenüber dem Einzelhaus:

Als Hälfte eines Doppelhauses bzw. als Eckhaus einer Reihenanlage . . .	16%
Als Mittelhaus einer Reihenanlage	33%
Als dreiseitig eingebautes Haus einer Doppelreihe	50%

Diese Ersparnisse sind unabhängig von der Hausgröße. Sie werden natürlich geringer, wenn das Haus nicht völlig beheizt ist. So haben O. Knoblauch, R. Schachner und K. Hencky¹ für einen bestimmten Kleinhausplan (Keller mit Waschküche und Vorplatz, im Erdgeschoß Wohnküche, Wohn- oder Schlafzimmer und Reinigungsraum, im Obergeschoß 2 Zimmer mit Bad, Dachgeschoß nicht ausgebaut) die folgende Berechnung aufgestellt, wobei nur die beiden im Erdgeschoß gelegenen Räume als beheizt gedacht sind (Außentemperatur 0° C, Anzahl der Heiztage 200, Wärmeschutz der Wände und Decken = dem Wert von 40 cm Ziegelmauerwerk).

Zahlentafel 60. Wärmeverlust eines Kleinhauses ohne und mit Nebenhäusern. (Nach O. Knoblauch, R. Schachner und K. Hencky.)

Hausform	Kohlenverbrauch kg/Jahr
Kleinhaus als Einzelhaus	3200
Kleinhaus als Teil eines Doppelhauses mit nach außen gelegenen Wohnräumen	3100
Kleinhaus als Teil eines Doppelhauses mit nach innen gelegenen Wohnräumen	2500
Kleinhaus als Teil einer Reihenanlage bei gleichartiger Aneinanderreihung	2400
Kleinhaus als Teil einer Reihenanlage bei Nebeneinanderlegung der bewohnten Räume	2200
Dreiseitig eingebautes Kleinhaus bei gleichartiger Aneinanderreihung	1900

Von der Möglichkeit, bei einem Doppelhaus Wärmersparnisse durch Verlegung der ungeheizten Räume (Treppenhaus, Bad, Korridor) an

¹ Knoblauch, O., R. Schachner u. K. Hencky: „Untersuchungen über die wärmewirtschaftliche Anlage, Ausgestaltung und Benutzung von Gebäuden.“ München: Komm. Verlag, A. Mahr.

die Außenmauer zu machen, wird man in der Regel aus ästhetischen Gründen keinen Gebrauch machen. Abb. 65 zeigt noch ein Beispiel aus

der obenerwähnten Arbeit von G. Reichow, bei dem die unbeheizten Räume: Küche, Bad und Flur an die Wetterseite gelegt sind und außerdem durch eine Reihe von Schränken ein Wärmeschutz bei einer Nordwestwand hervorgerufen werden soll. Die jährliche Heizersparnis wird für -15°C Lufttemperatur zu RM 17,50 angegeben und ist in durchschnittlichen Wintern nur etwa halb so groß. Der Gewinn ist daher viel zu gering und die Ausnutzung von Schränken zu Wärmeschutzzwecken zudem be-

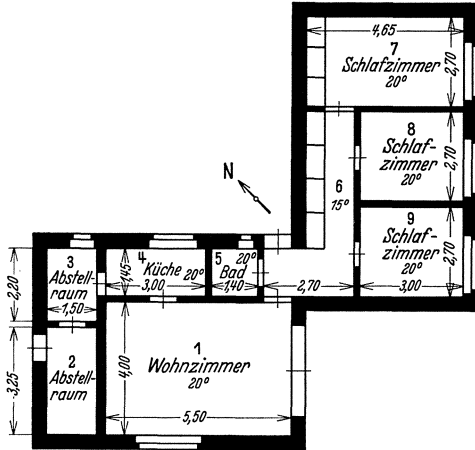


Abb. 65. Wärmeschützende Anordnung von Nebenräumen und Schränken. (Nach G. Reichow.)

denklich, weil in den Schränken eine hohe Luftfeuchtigkeit entsteht, die für den Schrankinhalt sehr nachteilig ist.

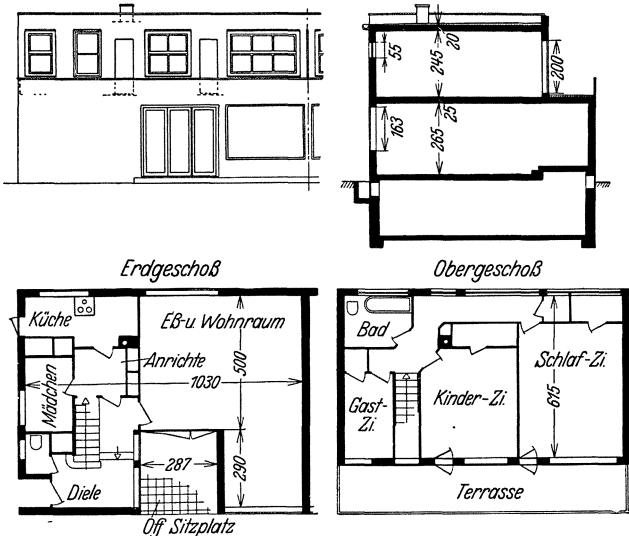


Abb. 66. Hoher Wärmebedarf eines Hauses durch einspringende offene Sitznische.

Greifen also in diesem Beispiel die wärmewirtschaftlichen Überlegungen fehl, so wären sie beim Doppelhaus Frank der Weißenhof-siedlung Stuttgart nach Abb. 66 um so mehr am Platze. Hier war im

Erdgeschoß eine Sitznische im Freien von etwa 3×3 m Grundfläche vorgesehen, die in die Vorderfront des Wohnraumes einschneidet. Läßt man diese Sitznische wegfallen, führt also die Vorderfront des Wohnraumes glatt durch, wobei die Garderobe ein Fenster in die Außenwand bekommt, während im Wohnzimmer die vierflügelige, sehr viel Wärme verbrauchende Türe fortfällt, so bedeutet dies eine stündliche Wärmersparnis von 3000 kcal bei 0°C Lufttemperatur für das Doppelhaus = 13% des Gesamtwärmebedarfs. Die glatte, rechteckige Grundrißform des Hauses ist also wärmetechnisch von erheblicher Bedeutung.

In den Regeln der Zentralheizungsindustrie ist ferner ein wohlbegründeter Zuschlag von 15% für den Wärmeverbrauch der Fenster und Türen vorgesehen, wenn diese nicht in einer, sondern in mehreren Außenflächen sitzen.

Der Grund geht aus Abb. 67a und b deutlich hervor. Im einen Fall hat die bei Windanfall durch die Fensterspalten eingepreßte Luft auch noch die Spalten der Türe zu passieren, bevor sie durch die Korridorfenster auf der Gegenseite des Hauses entweichen kann. Die Druckdifferenz zwischen Luv- und Leeseite muß sich also durch drei Widerstandsstellen ausgleichen und auf ein Fenster entfällt etwa nur ein Drittel dieser Druckdifferenz. Bei Anordnung von Fenstern in beiden Außenflächen des Raumes hat die durch den Wind in den Raum eingepreßte Luft nur zwei Widerstandsstellen zu durchdringen, die maßgebende Druckdifferenz für ein Fenster ist die Hälfte der gesamten.

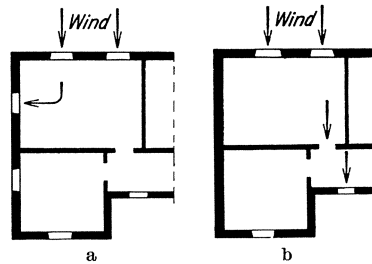


Abb. 67a und b. Luftdurchgang bei verschiedener Anordnung von Fenstern.

III. Die wichtigsten Rechenformeln.

Die nachstehend aufgeführten Rechenformeln beziehen sich ausschließlich auf den Dauerzustand der Wärmeströmung und beschränken sich auf den Umfang, der für die Praxis als Ergänzung der Rechentafeln in Teil II noch wünschenswert erscheint. Sie umfassen also nicht etwa alle Formeln, die diesem Buch zugrunde liegen. In dieser Hinsicht sei auf die an den betreffenden Stellen angegebene Literatur verwiesen, allgemein auch auf das Buch des Verfassers: „Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie“. Berlin: Julius Springer 1928.

Die allgemeinen physikalischen Erläuterungen des Wärmeaustauschvorgangs sind schon in Abschnitt 2 im Teil I dargelegt, können also hier vorausgesetzt werden.

Die drei Teilvorgänge des Wärmeaustausches durch eine Wand:
 der Wärmeübergang von der Innenluft an die innere Wandoberfläche,
 die Wärmeleitung in der Wand,
 der Wärmeübergang von der äußeren Oberfläche der Wand an die umgebende Luft

sind proportional der Länge der Zeit, während welcher sie stattfinden, der Fläche, durch die sie vor sich gehen, und der für die Teilvorgänge

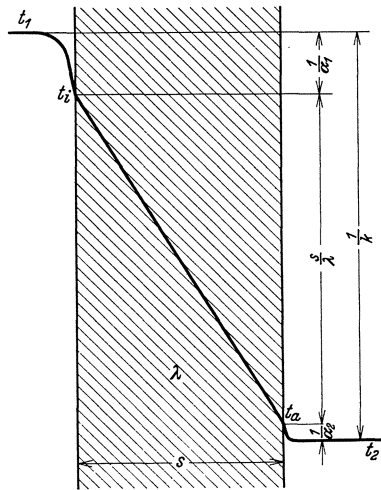


Abb. 68. Die Formelbezeichnungen für den Wärmeaustauschvorgang.

in Betracht kommenden Temperaturdifferenz. Sie sind aus Abb. 2, S. 2 und mit den nachstehend benutzten Formelbezeichnungen aus Abb. 68 zu ersehen.

Der Wärmeübergang von der warmen Luft an die innere Oberfläche der Wand ist außerdem abhängig von der

Wärmeübergangszahl,

unter der man die Wärmemenge versteht, die pro Einheit der Zeit, der Fläche und der Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträger und Oberfläche übertragen wird und die je nach den Verhältnissen (Art und Bewegungszustand der Luft, Art und Beschaffenheit der Begrenzungswände, Temperatur usw.) verschieden sein kann. Die

Wärmeübergangszahl wird in der Literatur mit dem griechischen Buchstaben α bezeichnet, ihre Dimension ist kcal/m²h °C. In der Heiztechnik pflegt man mit folgenden Werten zu rechnen:

- Senkrechte und horizontale Flächen, wärmere Seite unten 7 kcal/m²h °C
- Horizontale Flächen, wärmere Seite oben 5 kcal/m²h °C
- Wärmeübergang in Winkeln und Ecken 4 kcal/m²h °C

Zahlentafel 61. Wärmeübergangszahl bei senkrechten Wänden in Wohnräumen. (Nach Cammerer und Dürhammer¹.)

Temperaturdifferenz zwischen Luft und innerer Oberfläche der Wand in °C	Wärmeübergangszahl α in kcal/m ² h °C	Temperaturdifferenz zwischen Luft und innerer Oberfläche der Wand in °C	Wärmeübergangszahl α in kcal/m ² h °C
1	3,9	10	5,4
2	4,0	12	5,7
4	4,3	14	5,9
6	4,6	16	6,1
8	5,1		

Für die Berechnung von Schwitzwasserbildung benutzt man besser die nebenstehenden genaueren Werte.

In der Industrie kommen bei Wasser und Satttdampf in Rohren oder Kesseln Werte bis

$\alpha = 30\,000 \text{ kcal/m}^2\text{h } ^\circ\text{C}$
 vor.

¹ Vgl. Literaturangabe auf S. 42.

Die Wärmefortleitung in der Wand und ihre Erfassung bei Untersuchungen und Berechnungen mit Hilfe der

Wärmeleitzahl

ist schon zu Beginn des Teiles I behandelt worden, in dem ebenso wie in Teil II deren zahlenmäßige Größe für alle Arten von Baustoffen angegeben ist.

Für den Wärmeübergang von der äußeren Oberfläche der Wand an die umgebende Luft gilt wieder eine Wärmeübergangszahl (α), die in ihrer Definition völlig der Wärmeübergangszahl an der inneren Oberfläche entspricht, aber natürlich in ihrer zahlenmäßigen Größe meist durchaus verschieden davon ist. Bei ruhiger Luft beträgt der Mindestwert etwa $10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, bei heftigem Sturm je nach den Verhältnissen bis zu ungefähr $100 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$. Im allgemeinen rechnet man:

Innenbezirke von Städten 20 $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
 Außenbezirke von Städten 25 $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

Statt den Wärmeaustausch in diesen drei Teilen zu betrachten, kann man auch den Gesamtvorgang in einer einzigen Größe darstellen, bei der der Wärmeaustausch auf die Einheit der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft bezogen ist. Dies ist die schon auf S. 5 und 79 erwähnte

Wärmedurchgangszahl,

die mit k bezeichnet und in $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ gemessen wird.

Unter Bezugnahme auf Abb. 68 bzw. die untenstehende Buchstabenbezeichnung seien die Grundgrößen des Wärmeaustausches nochmals wie folgt zusammengestellt:

Grundgröße	Bezeichnet durch den Buchstaben	Dimension	Maßgebende Temperaturdifferenz (vgl. Abb. 68)
Wärmeübergangszahl (zwischen Luft und einer Wandoberfläche)	α	$\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$	$t_1 - t_i$ bzw. $t_a - t_2$
Wärmeleitzahl (der Wandbaustoffe) . . .	λ	$\text{kcal/m h}^\circ\text{C}$	$t_i - t_a$
Wärmedurchgangszahl (der Trennwand zwischen Innen- und Außenluft) . . .	k	$\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$	$t_1 - t_2$

Die Buchstabenbezeichnung in den nachstehenden Formeln ist wie folgt gewählt:

Q = die durch eine Raumbegrenzungsfläche in 1 Stunde ausgetauschte Wärmemenge in kcal/h ,

- F = die Größe der Raumbegrenzungsfläche in m^2 ,
 t_1 = die Temperatur der Raumluft in $^{\circ}C$,
 t_i = die Temperatur der inneren Wandoberfläche in $^{\circ}C$,
 t_a = die Temperatur der äußeren Wandoberfläche in $^{\circ}C$,
 t_2 = die Außenlufttemperatur in $^{\circ}C$,
 α_1 = die Wärmeübergangszahl an der inneren Wandseite in $kcal/m^2h^{\circ}C$,
 α_2 = die Wärmeübergangszahl an der äußeren Wandseite in $kcal/m^2h^{\circ}C$,
 λ = die Wärmeleitzahl der Wand, wenn sie homogen ist, bzw. die mittlere Wärmeleitzahl, wenn sie aus mehreren Schichten besteht, in $kcal/mh^{\circ}C$,
 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ = die Wärmeleitzahlen der einzelnen, im Sinne des Wärmestromes hintereinanderliegenden Schichten in $kcal/mh^{\circ}C$,
 k = die Wärmedurchgangszahl einer Wand in $kcal/m^2h^{\circ}C$,
 s = die Gesamtstärke einer Wand in m ,
 s_1, s_2, s_3 = die Stärken einzelner im Sinne des Wärmestromes hintereinanderliegender Wandschichten in m .

Wärmeaustausch durch homogene Wände:

Nach den gegebenen Definitionen ist ohne weiteres die Aufstellung folgender Gleichungen möglich:

Für den Wärmeaustausch zwischen Innen- und Außenluft:

$$Q = k \cdot F \cdot (t_1 - t_2) \quad (1)$$

für den Wärmeaustausch von der Innenluft an die innere Wandoberfläche:

$$Q = \alpha_1 \cdot F \cdot (t_1 - t_i) \quad (2)$$

für den Wärmeaustausch innerhalb einer Wand:

$$Q = F \cdot (t_i - t_a) \cdot \frac{\lambda}{s} \quad (3)$$

für den Wärmeaustausch von der äußeren Wandoberfläche an die Außenluft:

$$Q = \alpha_2 \cdot F \cdot (t_a - t_2) \quad (4)$$

In vorstehenden vier Gleichungen sind im Dauerzustand der Wärmeströmung die Wärmemengen Q untereinander völlig gleich, d. h. die von der Innenluft an die Außenluft verlorene Wärmemenge ist gleich der Wärme, die von der Innenluft an die innere Wandoberfläche übertragen, von dort an die äußere Wandoberfläche weitergeleitet und von dieser an die Außenluft abgegeben wird. Es läßt sich deshalb aus Gleichung (2) bis (4) die Beziehung zwischen der Wärmedurchgangszahl k und den Wärmeübergangszahlen, der Stärke und der Wärmeleitfähigkeit der Wand ableiten. Diese Gleichung lautet:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (5)$$

Wärmeaustausch durch mehrschichtige Wände.

Besteht eine Wand nicht aus einer einzigen Schicht, sondern liegen im Sinne des Wärmestromes mehrere Schichten hintereinander, so schreibt sich Gleichung (5) wie folgt:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} \dots + \frac{1}{\alpha_2} \quad (5a)$$

Bei Luftschichten ist die äquivalente Wärmeleitfähigkeit λ' (vgl. Zahlen-
tafel 18, S. 36 und den Schluß dieses Abschnittes) an Stelle der Wärme-
leitfähigkeit einzusetzen.

Die einzelnen Summanden auf der rechten Seite der Gleichung (5a) lassen sich (wie ähnlich schon in Abschnitt 16 bei der Ermittlung der Temperaturverteilung in einer Wand geschildert) als Widerstände bezeichnen, also als Wärmeübergangswiderstand an der Innenseite der Wand, Wärmeleitfähigkeitswiderstand in der 1., 2., 3. Schicht usw.

Gleichung (5a) läßt sich dann wie folgt aussprechen:

Gesamter Wärmedurchgangswiderstand = Summe aller
Einzelwiderstände.

Aus Gleichung (3) und (5a) folgt für die mittlere Wärmeleitfähigkeit einer zusammengesetzten Wand:

$$\lambda = \frac{s}{\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \dots} \quad (6)$$

Liegen Flächen verschiedenen Wärmedurchgangs, sei es aus Einfach- oder Mehrschichten, im Sinne des Wärmestromes nebeneinander, handelt es sich also beispielsweise um die Ermittlung des Gesamtwärmschutzwertes von Fachwerk, so ist in der Weise vorzugehen, daß man gemäß Abb. 39a und b, S. 77 die Gesamtwandkonstruktion in „Einheitsflächen“ aufteilt, die durch fortlaufende Aneinanderfügung die Gesamtwandfläche bilden. Bezeichnet man mit

- F_0 = die Größe der Einheitsfläche in m^2 ,
 - F_I, F_{II}, F_{III} = die Größe der Teilflächen verschiedenen Wärmedurchgangs in m^2 ,
 - $\lambda_I, \lambda_{II}, \lambda_{III}$ = die mittlere Wärmeleitfähigkeit der Teilflächen nach Gleichung (6) in $kcal/mh^\circ C$,
 - k_I, k_{II}, k_{III} = die Wärmedurchgangszahl der Teilflächen in $kcal/m^2h^\circ C$
- so gelten folgende Bedingungen:

Mittlere Wärmedurchgangszahl:

$$k = \frac{F_I \cdot k_I + F_{II} \cdot k_{II} + F_{III} \cdot k_{III} + \dots}{F_0} \quad (7)$$

Will man daraus die mittlere Wärmeleitfähigkeit der Gesamtwandkonstruktion ermitteln, so ist:

$$\lambda = \frac{s}{\frac{1}{k} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}} \quad (8)$$

Für viele Berechnungen, insbesondere mit Hilfe der gleichwertigen Vollziegelstärke, ist es erwünscht, diese Gleichungen zu vereinfachen und zu setzen:

$$\frac{\lambda}{s} = \frac{F_I \cdot \frac{\lambda_I}{s} + F_{II} \cdot \frac{\lambda_{II}}{s} + F_{III} \cdot \frac{\lambda_{III}}{s} + \dots}{F_0} \quad (9)$$

oder:

$$\lambda = \frac{F_I \cdot \lambda_I + F_{II} \cdot \lambda_{II} + F_{III} \cdot \lambda_{III} + \dots}{F_0} \quad (9a)$$

Der dadurch begangene Fehler ist je nach den herrschenden Wärmeübergangszahlen etwas verschieden. Er hängt auch vom Unterschied des Wärmedurchganges der einzelnen Teilflächen ab. Nimmt man als zulässigen Mindestwärmeschutz der Skeletteile nach Abschnitt 15 die 1 Stein starke Ziegelmauer an und rechnet man mit einer Ausfachung von doppeltem Wärmeschutzvermögen, so wird der Fehler von Gleichung (9) gegenüber Gleichung (7):

Flächenverhältnis von Skelet zur Ausfachung	1 : 10	1 : 4	1 : 2	1 : 1
Fehler in %	1,2	2,1	2,8	2,9

Man sieht, daß man für die üblichen Konstruktionen ohne weiteres nach Gleichung (9) und Gleichung (9a) rechnen kann, da ja die Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Baustoffe doch niemals genauer als mit $\pm 10\%$ bekannt ist. Deshalb durfte die in Abschnitt 14 angegebene Berechnungsweise gewählt werden. Bei Zwischendecken ist der Fehler etwa um 50% größer infolge der niedrigeren Wärmeübergangszahl an der kalten Oberfläche. Bei extrem großen Unterschieden zwischen Skelet und Ausfachung (Unterschied der Wärmedurchgangszahlen größer als 1 : 3, Flächenverhältnis kleiner als 1 : 10) empfiehlt sich allerdings auf Gleichung (7) und (8) zurückzugreifen.

Die gleichwertige Ziegelstärke.

Die Berechnung der gleichwertigen Vollziegelwand ergibt sich ohne weiteres aus ihrer Definition.

Bezeichnet man mit:

- λ_z die Wärmeleitfähigkeit der normalen Vollziegelwand in kcal/m h °C (= 0,75 bei Außenwänden, = 0,60 bei Innenwänden),
- s_z die gleichwertige Vollziegelstärke in m,

so ist für eine beliebige Wand mit der Wärmeleitzahl λ und der Stärke s :

$$s_z = s \cdot \frac{\lambda_z}{\lambda} \quad (10)$$

$$= \lambda_z \cdot \left(\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \dots \right) \quad (10a)$$

Wärmeaustausch durch Luftschichten.

In den nachstehenden Formeln pflegt man der Übersichtlichkeit halber zwei Hilfsgrößen einzuführen, die sich aus folgenden Beziehungen ergeben:

„Temperaturfaktor“ $a = \frac{\left(\frac{T'}{100}\right)^4 - \left(\frac{T''}{100}\right)^4}{t' - t''}$

„Konstante des Strahlungsaustausches“ $C^1 = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s}}$

In diesen beiden Gleichungen bedeutet:

t' = die Temperatur der wärmeren Begrenzungsfläche der Luftschicht in $^{\circ}\text{C}$,

t'' = die Temperatur der kälteren Begrenzungsfläche der Luftschicht in $^{\circ}\text{C}$,

T' = die absolute Temperatur der wärmeren Begrenzungsfläche der Luftschicht = $273^{\circ} + t'$ $^{\circ}\text{C}$,

T'' = die absolute Temperatur der kälteren Begrenzungsfläche der Luftschicht = $273^{\circ} + t''$ $^{\circ}\text{C}$,

C_1 = die Strahlungszahl der wärmeren Begrenzungsfläche in $\text{kcal/m}^2\text{h}$ ($^{\circ}\text{abs.}$) 4 ,

C_2 = die Strahlungszahl der kälteren Begrenzungsfläche in $\text{kcal/m}^2\text{h}$ ($^{\circ}\text{abs.}$) 4 ,

C_s = die Strahlungskonstante des absolut schwarzen Körpers = $4,96 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ ($^{\circ}\text{abs.}$) 4 .

Die Strahlungszahlen sind aus Zahlentafel 17, S. 34 zu entnehmen.

Die äquivalenten Wärmeleitzahlen λ' ergeben sich dann aus folgenden Gleichungen:

Vertikale Luftschicht:

$$\lambda' = \lambda_0 + \lambda_k + a \cdot s \cdot C^1. \quad (11)$$

Horizontale Luftschicht, Wärmedurchgang von unten nach oben:

$$\lambda' = \lambda_0 + \lambda_k + a \cdot s \cdot C^1. \quad (12)$$

Horizontale Luftschicht, Wärmedurchgang von oben nach unten:

$$\lambda' = \lambda_0 + a \cdot s \cdot C^1. \quad (13)$$

Dabei bedeutet s die Stärke der Luftschicht in Meter. Zur Vereinfachung der Berechnung ist in **Zahlentafel 62** der Temperaturfaktor α für die im Bauwesen in Betracht kommenden Temperaturen angegeben. Über die Wärmeleitzahl λ_0 der Luft und die Konvektionszahl λ_k vgl. S. 33.

Zahlentafel 62. Temperaturfaktor α bei Luftschichten.

Temperatur der wärmeren Begrenzungsfläche °C	Temperatur der kälteren Begrenzungsfläche in °C		
	0	20	40
0	0,81		
20	0,91	1,01	
40	1,01	1,11	1,23
60	1,12	1,23	1,35

Abschließend seien noch einige andere Formeln angeführt, deren Verwendung an Stelle des in Teil II angegebenen Rechnungsganges zuweilen nützlich ist:

Schwitzwasserbildung an einer Wand

wird dann vermieden, wenn folgende Gleichung (14) erfüllt ist:

$$k_{\max} = \alpha_1 \cdot \frac{t_1 - t_s}{t_1 - t_2} \quad (14)$$

Darin bedeutet:

k_{\max} = die höchst zulässige Wärmedurchgangszahl in kcal/m²h °C,
 t_s = die Sättigungstemperatur der Innenluft in °C (nach Zahlentafel 2).

Die Temperaturverteilung in einer mehrschichtigen Wand

errechnet sich unter Benutzung der physikalischen Grundkonstanten wie folgt, wenn mit Δt_I , Δt_{II} die jeweilige Temperaturdifferenz in der betrachteten Schicht bezeichnet ist (vgl. auch Abb. 68):

$$1. \text{ Schicht: } \quad \Delta t_I = (t_1 - t_2) \cdot \frac{\frac{s_1}{\lambda_1}}{\frac{1}{k}} \quad (15)$$

$$2. \text{ Schicht: } \quad \Delta t_{II} = (t_1 - t_2) \cdot \frac{\frac{s_2}{\lambda_2}}{\frac{1}{k}} \quad (15a)$$

usw.

Auf den Wärmeübergang an den Oberflächen der Wand entfällt:

$$\text{Innen: } \quad \Delta t_i = (t_1 - t_2) \cdot \frac{\frac{1}{\alpha_1}}{\frac{1}{k}} \quad (16)$$

$$\text{Außen: } \quad \Delta t_a = (t_1 - t_2) \cdot \frac{\frac{1}{\alpha_2}}{\frac{1}{k}} \quad (16a)$$

Wärmespeicherung.

Es sei noch die Berechnungsformel für die Speicherwärme einer Wandschicht von der mittleren Temperatur t_m angefügt, wenn der Feuchtigkeitsgehalt berücksichtigt wird, da sich diese Formel in der Literatur nicht findet:

$$W = (t_m - t_2) \cdot (c \cdot R + 10 \cdot f) \cdot s_1 \tag{17}$$

Darin ist:

- W = die pro 1 m² Wandfläche in der Schicht gespeicherte Wärme in kcal/m²,
- c = die spezifische Wärme des trockenen Wandmaterials in kcal/kg⁰C,
- R = das Raugewicht des trockenen Stoffes in kg/m³,
- f = die Feuchtigkeit im Baustoff in Vol.-%.

Die spezifische Wärme der trockenen Baumaterialien kann allgemein mit folgenden Zahlenwerten angesetzt werden, von denen bei den einzelnen Materialien nur geringe Abweichungen vorkommen:

Anorganische, nicht metallische Baumaterialien	$c = 0,21$ kcal/kg ⁰ C
Organische Baumaterialien (Holz, Kork ohne Bindemittel, Torf)	0,45 kcal/kg ⁰ C
Pechimprägnierter Korkstein	0,34 kcal/kg ⁰ C
Eisen, Stahl	0,115 kcal/kg ⁰ C

Auf Grund dieser Angaben und der Formel (17) ist in Teil II, Abschnitt 16a die Zahlentafel 53 berechnet.

Die durch Fenster eindringende Sonnenwärme.

Durch ein Fenster dringt nicht die ganze auf die Fensteröffnung fallende Sonnenenergie ein, da nur in kurzen Augenblicken genau senkrechte Bestrahlung möglich ist, so daß die Wand im allgemeinen einen gewissen Teil der Fensterfläche beschattet.

Es bezeichnet:

- J_w = die Sonnenstrahlung auf eine gleichgerichtete Wandfläche in kcal/m²h.
- J_s = die Sonnenstrahlung auf eine zur Fensterebene senkrechte Vertikalfläche in kcal/m²h.
- J_h = die Sonnenstrahlung auf eine Horizontalfläche in kcal/m²h.
- J = die auf die gesamte Fensterfläche entfallende Strahlung in kcal/h.
- H = die Höhe des Fensters in m.
- B = die Breite des Fensters in m.
- s = die Wandstärke vor dem Fenster¹.

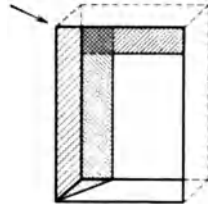


Abb. 69. Beschattung einer Fensteröffnung.

¹ Bei einem Doppelfenster ist die Größe s bis zur Mitte der beiden Glasscheiben zu rechnen. Außerdem dringen nur 81% der auf die Scheiben treffenden Strahlung hindurch. Die Holzteile sind von den Größen A und B abzuziehen (vgl. Fußnote zur Zahlentafel 34, S. 57).

Nimmt man an, daß die auf die begrenzenden Wandflächen des Fensters entfallende Strahlung der Erwärmung des Raumes nicht zugute kommt, soweit sie außerhalb des Fensters liegen, jedoch dazu beitragen, soweit sie sich hinter dem Fenster befinden, so gilt

$$J = J_w \cdot H \cdot B - J_s \cdot H \cdot s - J_h \cdot B \cdot s + \frac{J_s \cdot J_h}{J_w} \cdot s^2 \quad (18)$$

In dieser Gleichung berücksichtigt der letzte Summand auf der rechten Seite die kleine in Abb. 69 doppelt schraffiert gezeichnete Fläche, in der sich beide Schatten überdecken, die also nur einmal von der zugestrahlten Wärme in Abzug gebracht werden dürfen. Die Werte J_u , J_s und J_H sind aus Zahlentafel 33, S. 55 zu entnehmen.

IV. Literatur-Zusammenstellung.

In das nachstehende Verzeichnis sind lediglich Veröffentlichungen aufgenommen, deren Studium als Ergänzung zum Inhalt dieses Buches empfehlenswert ist. Die erforderlichen Hinweise auf die Originalveröffentlichungen, auf denen sich das Buch selbst aufbaut, sind an den betreffenden Stellen des Textes gebracht und ermöglichen so eine beliebige Vertiefung in den Stoff.

A. Bücher.

1. Cammerer, J. S.: Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie. Berlin: Julius Springer 1928.
2. Hencky, K.: Die Wärmeverluste durch ebene Wände. München u. Berlin: R. Oldenbourg 1921.
3. Rietschels Leitfaden der Heiz- und Lüftungstechnik, 10. Aufl., bearb. von H. Gröber. Berlin: Julius Springer 1934.
4. Siedler, Ed. Jobst: Die Lehre vom neuen Bauen. Bauwelt-Verlag 1932.
5. Schmidt, E.: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden und der Heizkörper- und Kesselgrößen von Warmwasser- und Niederdruckdampfheizungsanlagen. Herausgegeben vom Verband der Zentralheizungsindustrie E. V. Berlin.

B. Aufsätze.

6. Cammerer, J. S. u. W. Dürhammer: Untersuchungen über den notwendigen Mindestwärmeschutz von Hauswänden in Deutschland. Wärmewirtsch. Nachr. 1934 S. 46.
7. Cammerer, J. S. u. H. Krause: Grundlagen für wirtschaftlichen Wärmeschutz. Der Einfluß der klimatischen Verhältnisse in Deutschland auf den Heizbedarf und den wirtschaftlichen Wärmeschutz von Wohn- und Industriebauten. Arch. Wärmewirtsch. 1933 S. 117.
8. Cammerer, J. S.: Über die Erwärmung von Wohnräumen im Sommer. Wärmewirtsch. Nachr. 1934 S. 71.
9. Müller, K.: Wärmewirtschaftliche Bewertung und Bemessung baulicher Anlagen. Gesundh.-Ing. 1929 Heft 13.
10. Raisch, E.: Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionsteilen. Gesundh.-Ing. 1928 S. 481.
11. Raisch, E. u. H. Steger: Die Luftdurchlässigkeit von Bau- und Wärmeschutzstoffen. Gesundh.-Ing. 1934 S. 553.
12. Reiher, H., K. Fraass u. E. Settele: Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. Wärmewirtsch. Nachr. 1933 S. 42, 55 u. 111.
13. Settele, E.: Versuche über die Auskühleigenschaften von Wänden. Gesundh.-Ing. 1935 S. 73.
14. Schauer, A.: Grundsätzliches zur Frage einer wirtschaftlich günstigen und hygienisch ausreichenden Bemessung des Wärmeschutzes von Außenwänden. Dissertation, Berlin 1931.
15. Schmidt, E.: Die Wärmeleitahlen von Stoffen auf Grund von Meßergebnissen. Mitt. Forsch.-Heim Wärmeschutz München 1924 Heft 5.

H. Rietschels Leitfaden der Heiz- und Lüftungstechnik. Zehnte, verbesserte Auflage von Prof. Dr.-Ing. Heinrich Gröber, Berlin. Mit einem meteorologisch-klimatischen und einem hygienischen Abschnitt von Dr. F. Bradtke, Berlin. Mit 284 Textabbildungen, 18 Zahlentafeln und den Hilfstafeln I bis VII. XII, 294 Seiten. 1934. Gebunden RM 30.—

Amerikanische Heizungs- und Lüftungspraxis. Von Ing. Karl R. Rybka. Mit 139 Abbildungen im Text und auf 1 Tafel. VI, 174 Seiten. 1932. Gebunden RM 18.—

Die Heiz- und Lüftungsanlagen in den verschiedenen Gebäudearten, einschließlich Warmwasserversorgungs-, Befeuchtungs- und Entnebelungsanlagen. Von M. Hottinger, Dozent für Heizung und Lüftung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, und W. v. Gonzenbach, Professor für Hygiene an der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich. IX, 191 Seiten. 1929. Gebunden RM 9.—

Luftbehandlung in Industrie- und Gewerbebetrieben. Be- und Entfeuchten, Heizen und Kühlen. Von Dipl.-Ing. L. Silberberg. Mit 96 Abbildungen im Text und 1 Tafel. VI, 174 Seiten. 1932. RM 16.50; gebunden RM 18.—

Wärme- und Kälteverluste isolierter Rohrleitungen und Wände. Tabellarische Zusammenstellung für die Praxis. Herausgegeben von Grünzweig & Hartmann, G.m.b.H., Ludwigshafen a. Rh. 269 Seiten. 1928. Gebunden mit Daumenregister RM 14.40

Wind und Wärme bei der Berechnung hoher Schornsteine aus Eisenbeton. Von Dr.-Ing. Karl Döring, Ludwigshafen a. Rh. Mit einem Geleitwort von Dipl.-Ing. Obering. Hermann Goebel, Ludwigshafen a. Rh. Mit 69 Abbildungen im Text und 3 Tafeln. VII, 62 Seiten. 1925. RM 6.75

Untersuchungen über das Wärmeisolierungsvermögen von Baukonstruktionen. Von Prof. H. Kreüger, Stockholm, und Architekt A. Eriksson. Aus dem Schwedischen übersetzt von Herbert Frhr. Grote. Mit 55 Abbildungen. IV, 69 Seiten. 1923. RM 1.80

Die Berechnung der Anheizung und Auskühlung ebener und zylindrischer Wände (Häuser und Rohrleitungen). Theorie und vereinfachte Rechenverfahren. Von Dr.-Ing. W. Esser, M.-Gladbach, und Dr.-Ing. O. Krischer, Darmstadt. Mit 22 Textabbildungen und 2 Tafeln. IV, 88 Seiten. 1930. RM 13.50

Verlag von Julius Springer in Berlin

Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie. Von Privatdozent Dr.-Ing. J. S. Cammerer, Berlin. Mit 94 Textabbildungen und 76 Zahlentafeln. VIII, 276 Seiten. 1928. Gebunden RM 19.35

Prioform-Handbuch. Herausgegeben von den Deutschen Prioform-Werken **Bohlander & Co.**, G. m. b. H., Köln. Zweite, vollkommen neu bearbeitete und erheblich erweiterte Auflage. Erster Teil: Die theoretischen Grundlagen der Wärmeschutztechnik und ihre praktische Auswertung. Zweiter Teil: Zusammenstellungen, Tabellen und Diagramme. Mit 16 Figuren und 13 Seiten Schreibpapier. 283 Seiten. 1930. Gebunden RM 13.50

Wärme- und Kälteschutz in Wissenschaft und Praxis. Herausgegeben von den Deutschen Prioform-Werken **Bohlander & Co.**, G. m. b. H., Köln. Mit 46 Abbildungen. XIII, 186 Seiten. 1928. Gebunden RM 14.40

Die Grundgesetze der Wärmeübertragung. Von Prof. Dr.-Ing. **H. Gröber**, Berlin, und Regierungsrat Dr.-Ing. **S. Erk**, Berlin. Zugleich zweite, völlig neubearbeitete Auflage des Buches: H. Gröber, Die Grundgesetze der Wärmeleitung und des Wärmeüberganges. Mit 113 Textabbildungen. XI, 259 Seiten. 1933. Gebunden RM 22.50

Die Wärmeübertragung. Ein Lehr- und Nachschlagebuch für den praktischen Gebrauch. Von Prof. Dipl.-Ing. **M. ten Bosch**, Zürich. Dritte, völlig umgearbeitete Auflage. Mit etwa 160 Textabbildungen und 5 Nomenclaturtafeln. Etwa 320 Seiten. Erscheint Anfang 1936.

Wärmetechnische Tafeln. Unterlagen für die Rechnungen des Wärmeingenieurs in Schaubildern und Zahlentafeln. Zusammengestellt und bearbeitet von Dipl.-Ing. **F. Habert**. Herausgegeben mit Unterstützung der Wärmestelle Düsseldorf des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. (Anlage: „Wo finde ich?“ Schrifttumsverzeichnis für feuerungstechnische Berechnungen, zusammengestellt von Dr.-Ing. **H. Schwiedessen**.) Mit 36 Tafeln. V, 145 Blätter (einseitig bedruckt) und Seiten. 1935. In Mappe mit Schraubklammern RM 14.50 (Gemeinsam mit Verlag Stahl Eisen m. b. H., Düsseldorf.)

Kälteprozesse, dargestellt mit Hilfe der Entropietafel. Von Prof. Dipl.-Ing. **P. Ostertag**, Winterthur. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 72 Textabbildungen und 6 Tafeln. IV, 112 Seiten. 1933. RM 7.50; gebunden RM 880

Der Wärme- und Stoffaustausch. Dargestellt im Mollierschen Zustandsdiagramm für Zweistoffgemische. Von Priv.-Doz. Dr.-Ing. **Adolf Busemann**, Dresden. Mit 51 Textabbildungen. VIII, 76 Seiten. 1933. RM 6.—

Zu beziehen durch jede Buchhandlung