

Zeitschrift: Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art

Band: 31 (1944)

Artikel: Wärmeschutz und Raumklima

Autor: Häusler, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-25059>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wärmeschutz und Raumklima

von Ing. W. Häusler, Institut für Wärmewirtschaft, Zürich

Das durch die vielartigen heute auf dem Markt befindlichen Baustoffe entstandene Bestreben, sich gegenseitig mit immer höheren Isolierwerten zu überbieten, führte in den letzten Jahren zu einer äußerst abstrakten und einseitigen Auslegung der wissenschaftlichen Erkenntnisse des Wärmeschutzes. Ganz allgemein wird bei der Bewertung des Verhaltens von theoretisch idealen Voraussetzungen ausgegangen, ohne die praktisch mitspielenden Faktoren zu würdigen. Der bewohnte Raum wird sozusagen einem luft- und feuchtigkeitsdichten Behälter gleichgestellt, und aus dem sich daraus ergebenden einfachsten Idealfall werden Schlußfolgerungen für das Verhalten im Bauwerk gezogen. Eine solche Betrachtungsweise birgt für die Beurteilung der Wärmehaltung der verschiedenen Baustoffe schwere Irrtümer in sich. Einige grundsätzliche Klarstellungen der den Wärmeschutz und das Raumklima bestimmenden Faktoren werden deshalb dem Architekten und Baubeflissenem von Nutzen sein.

Der effektive Wärmeschutz des bewohnten Raumes wird bestimmt von

1. dem Wärmedurchgang der Umfassungsflächen
2. dem Feuchtigkeitsverhalten der Baustoffe
3. der Luftdurchlässigkeit der Umfassungsflächen
4. der Wärmespeicherung der Umfassungsflächen,
5. den Wandinnenflächen-Temperaturen sowie der Bewegungsgröße der Raumluft.

Wie sich die unter 1-5 aufgeführten Faktoren im Bauwerk auswirken, sei anhand einer kurzen Übersicht mit Beispielen aus der Praxis gezeigt:

Tabelle 1 Feuchtigkeitsgehalt von Baustoffen

Materialgruppe	Gesamtzahl der beob- achteten Fälle	Beob- achtetes Feuchtig- keitsgebiets- Vol. —%	Normaler Feuchtig- keits- bereich Vol. —%	Häufigster Wert Vol. —%
				Vol. —%
Ziegel- und Kalksandsteine beliebiger Konstruktion*	22	0,2—3,0	0,2—1,0	0,5
Beton jeder Art und Porosität, Gips	21	3,0—17,0	4,0—10,0	7
Bimsbeton	10	3,4—24,0	5,0—17,0	13
Lehm	17	4,2—14,5	4,0—10,0	7

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

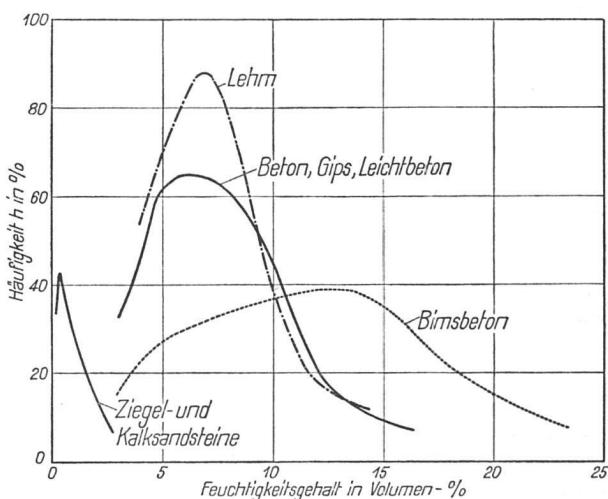


Diagramm 1. Einfluß eines Feuchtigkeitsgehaltes auf die Wärmeleitzahl von Baustoffen und Wärmeschutzmaterialien bei Wänden, aufgezeichnet nach J. S. Cammerer.

1. Der Wärmedurchgang

Der Wärmedurchgang bildet die Hauptgrundlage jeder Wärmeschutzberechnung. Er gibt an, welche Wärmemengen von der warmen Raumluft

durch Berührung und Leitung der Luft- und Materialteilchen an die kalte Außenluft verloren gehen.

Die *Wärmedurchgangszahl* bestimmt sich aus den Dicken und den Wärmeleitzahlen der einzelnen Baustoff-

schichten sowie den inneren und äußeren Wärmeübergangszahlen von Luft an Wand, bzw. von Wand an Luft nach der Formel:

$$\frac{I}{k} = \frac{I}{a_i} + \frac{d}{\lambda_i} + \frac{d}{\lambda_{ii}} + \dots + \frac{I}{a_a}$$

Darin bedeuten:

k = Wärmedurchgangszahl in kcal/h, m^2 , $^{\circ}\text{C}$

d = Dicken in m der einzelnen Baustoffschichten I, II...

λ = Wärmeleitzahlen der einzelnen Baustoffschichten I, II...

a = Wärmeübergangszahlen der inneren (i) und der äußeren Wandflächen (a).

Je größer also die Dicken und je niedriger die Wärmeleitzahlen der Baustoffschichten sind, um so kleiner wird der theoretische Wärmedurchgang der Wand.

2. Feuchtigkeitsverhalten

Zur richtigen Bewertung des Wärmedurchgangs im Bauwerk müssen ebenso die Feuchtigkeitseigenschaften der Baustoffe berücksichtigt werden.

Mit steigender Materialfeuchtigkeit nimmt nämlich die Wärmeleitzahl zu und damit der Wärmeschutz der Wandung ab.

Über die wertmäßige Verschlechterung des Wärmeschutzes durch Feuchtigkeitsaufnahme sowie die in der Praxis vorkommenden Feuchtigkeitsgehalte der Außenwände gibt Dr.-Ing. habil. J. S. Cammerer in seinem Buche «Die konstruktiven Grundlagen des Wärme- und Kälteschutzes im Wohn- und Industriebau»* sehr instruktive Anhaltspunkte. Tabelle 1 zeigt hieraus eine Übersicht der an Bauwerken in der Praxis festgestellten Wandfeuchtigkeiten, während Diagramm 1 ihren Einfluß auf die Wärmeleitzahlen wiedergibt.

Beispiel: Für einen Baustoff werde die laboratoriumsmäßig ermittelte Wärmeleitzahl mit 0,3 für den völlig trockenen Zustand angegeben; der mittlere Feuchtigkeitsgehalt in der Praxis betrage 15%. Daraus ergibt sich die für den praktischen Wärmedurchgang maßgebende Wärmeleitzahl zu:

Theoretische Wärmeleitzahl . . . 0,3
Zuschlag für Feuchtigkeit (Diagramm 1) = 132% 0,4

Praktische Wärmeleitzahl somit . . . 0,7

* 1936, Verlag von Julius Springer, Berlin.

Ing. P. Haller, EMPA, Zürich, gelangt auf Grund von Laboratoriumsuntersuchungen, die mit schweizerischen Baustoffen durchgeführt wurden, zu folgenden Ergebnissen (1942, EMPA-Diskussionsbericht Nr. 139):

Tabelle 2 Feuchtigkeitsgehalt von Mauern und Wänden von Wohngebäuden

Baustoffart	Fugenmörtel	Gleichgewichtsfeuchtigkeit Vol. —%	Feuchtigkeitsgehalt für wärmetechnische Berechnungen Vol. —%
Backsteinmauerwerk Normalformat . . .	Hydr. Kalk	1,1	1,5
	Zementmörtel	1,6	2,5
Spezialsteine . . .	Hydr. Kalk	1,0	1,5
	Zementmörtel	1,5	2,0
Kalksteinmauerwerk Normalformat . . .	Hydr. Kalk	3,0	4,5
	Zementmörtel	3,5	5,5
Zementsteinmauerwerk (12 cm hoch) . . .	Hydr. Kalk	3,5	5,5
	Zementmörtel	3,8	6,0
Tuffzementmauerwerk (12 cm hoch) . . .	Hydr. Kalk	5,6	8,5
	Zementmörtel	6,0	9,0
Beton (ohne Verputz) .	—	4,2	6,5

Dichter Außen- und Innenverputz je 2 cm. $1\frac{1}{2}$ cm Fugenstärke.

Diagramm 1 zeigt, daß auch schon bei geringem Feuchtigkeitsgehalte eine erhebliche Verschlechterung der Wärmeisolierfähigkeit des Baustoffes eintritt.

Während die Verminderung des Wärmeschutzes durch Materialfeuchtigkeit auf die größere Wärmeleitung des Baustoffes – infolge der ganz oder teilweise mit dem gut wärmeleitenden Wasser angefüllten Poren – zurückzuführen ist, entstehen die Wärme-

verluste bei der Bauaustrocknung wegen der Wasserverdunstung.

Der zusätzliche Wärmeaufwand zur Wasserverdunstung kann sich besonders bei Neubauten fühlbar auf die Heizkosten auswirken und wird fälschlicherweise meist gar nicht in Betracht gezogen.

Aus dem genannten EMPA-Bericht Nr. 139 lassen sich die Austrocknungseigenschaften einiger Baustoffe wie folgt entnehmen:

Tabelle 3 Austrocknungseigenschaften einiger Baustoffe

Baustoff	Feuchtigkeit (Austrocknung in Luft von 70% rel. Feuchtigkeit)				
	naß eingesetzt	nach 56 Tagen	nach 1 Jahr	nach 4 Jahren	Δ
Backstein	40 %	0,9%	0,9%	0,9%	0 %
Zementstein	13,3%	4,7%	3,9%	3,7%	1 %
Beton	11,7%	5,8%	4,6%	4,2%	1,6%
Kalksandstein	26,4%	8,4%	6,2%	6,1%	2,3%

Δ = Austrocknungsdifferenz nach 56 Tagen und nach 4 Jahren.

Obige Zusammenstellung veranschaulicht, daß Backstein trotz der starken Wasseraufnahme nach 56 Tagen ausgetrocknet ist. Die anderen Baustoffe nehmen wohl weniger An-

machwasser auf, doch benötigen sie zur Austrocknung eine viel längere Zeit und weisen auch nachher einen viel höheren Feuchtigkeitsgehalt auf.

Ein Neubau wird also bei Beginn der Heizperiode einen um so geringeren Wärmeaufwand zur Wasserverdunstung benötigen, je größer die natürliche Austrocknungsfähigkeit des Baustoffes ist. Nach Tabelle 3 ist z. B. Backstein 56 Tage nach Herstellung trocken; die anderen Baustoffe geben nach diesem Zeitpunkt bis 4 Jahre später noch einen Anteil von 1-2,3% Wasser ab. Jedes Kilogramm Wasser benötigt zur Verdunstung rund 600 kcal.

Die Nachrechnung ergibt, daß z. B. theoretisch für ein kleineres Einfamilienhaus (von 200 m² Außenwandfläche, Fenster bereits abgezogen, und Mauerwerk, 38 cm dick, von 2 T/m³ Gewicht) zur Verdunstung von 1% Wassergehalt rund 1 Million Kalorien notwendig sind, was ca. 220 kg Koks ausmacht.

Die Richtigkeit der Folgerung wird im übrigen durch die Erfahrungen in der Zentralheizungsindustrie bestätigt, nach welchen die Kesseltemperaturen von Zentralheizungen in Neubauten in der ersten Heizperiode wesentlich höher gehalten (10% und mehr) werden müssen und dementsprechend auch der Koksvorbrauch je nach Baukonstruktion größer ist.

3. Luftdurchlässigkeit

Für den praktischen Wärmeschutz ist ferner die Luftdurchlässigkeit der Außenflächen von Bedeutung. Ihr Einfluß besteht darin, daß in jedem Bau-

werk durch die Poren und Ritzten der Wände, Fenster sowie Türen ein gewisser Austausch von Raum- und Außenluft (Luftwechsel) erfolgt. Die von außen in den Raum gelangende Luftmenge muß dabei von außen auf Raumtemperatur erwärmt werden, was einen zusätzlichen Wärmeaufwand erfordert. Der eintretende Luftwechsel hängt ab von der Beschaffenheit der betreffenden Außenflächen und nimmt zu mit steigender Druckdifferenz zwischen Außen und Innen, also mit vermehrter Windstärke. Der durch den Luftwechsel eintretende Wärmeverlust wird damit um so größer, je höher der Luftwechsel und je größer der Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen ist.

Der *Wärmeverlust durch Luftdurchlässigkeit* bestimmt sich wie folgt:

$$W = L \cdot 0,306 \cdot (t_i - t_a) \cdot F$$

worin bedeuten:

W = Wärmeverlust in kcal/h

L = Luftdurchgang in Nm³/h bei einem bestimmten Druckunterschied pro m² Wandfläche (bei Fenstern und Türen auch pro Meter Falzlänge)

t_i = Raumtemperatur 0°C

t_a = Außentemperatur 0°C

F = Größe der Fläche in m² (resp. Falzlänge in m)

Über den Luftdurchgang der heute üblichen Wandkonstruktionen bestehen wenig brauchbare Untersuchungsdaten. Nachstehend seien einige typische Angaben aus der Literatur entnommen:

Tabelle 4 Luftdurchgang von Baukonstruktionen (nach E. Raisch). «Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionen.» Gesundh.-Ing. Bd. 51 (1928), S. 481/489.

Art	Dicke in m	Luftdurchgang bei einem Druckunterschied von 1 mm WS in m ³ /m ² h, bei Fenstern und Türen in m ³ /Gesamtfläche und h
Ziegelmauer beiderseits verputzt	0,4	0,28
Holzhohlwand mit beiderseitiger Dachpappe und freigespannter Asphaltwellpappe	0,102	1,05
Gutschließendes Kastendoppelfenster (1,66 × 2,1 m). Fenster mit doppelter Verglasung in einfachem Rahmen, abgedichtet (1,51 × 1,21 m)		20 12

Die Luftdurchlässigkeit kann natürlich durch Flächenbehandlung (Putz, Anstrich, Abdichtung usw.) in gewissem Grade beeinflußt werden. Aller-

dings gelangt man hier in Widerspruch mit den Erfordernissen des Feuchtigkeitsdurchlasses; durch Anbringung von Schutzstoffen wie z. B. Dach-

pappe, Folien usw. in Hohlräumen und andere Maßnahmen läßt sich wohl der Luftdurchlaß unterbinden, doch entstehen infolge der gleichzeitigen Unterbrechung der *Feuchtigkeitswanderung* von der Gebäude-Innenseite nach außen Feuchtigkeitsstauungen, welche zu Kondensationen und damit zu Bauschäden führen können.

Wie die Tabelle zeigt, ist der Luftdurchgang bei den Fenstern verhältnismäßig am größten. Er wird z. B. in den USA. schon längst gesondert in die Wärmebedarfsrechnungen einbezogen und bildet einen mehr oder weniger festen Verlust, der unabhängig von der Wandisolierung vorhanden ist. Sein prozentualer Anteil wird naturgemäß um so größer, je besser die Wandisolierung und infolgedessen je geringer die Verluste durch den Wärmedurchgang sind.

Für die Außenwände gewinnt die Luftdurchlässigkeit seit der Einführung der *leichten und sog. hochisolierenden Bauweisen* nun ebenfalls eine vermehrte Bedeutung. Wenn hierüber auch noch keine genauen Meßresultate bestehen, so kann immerhin mit Sicherheit angenommen werden, daß der Luftdurchgang bei dünnen und leichten Wänden im allgemeinen höher ist als bei massiven dicken Konstruktionen. Auch wird der Einfluß der Arbeitsausführung sowie der Wittringung bei den ersteren natürlich viel größer sein als bei den letzteren. Die Messungen von Raisch, Steger und Henky geben hiefür bereits deutliche Anhaltspunkte. Aus der Gegenüberstellung der Tabellenwerte für die Ziegelwand von 40 cm Dicke und einer Holzhohlwand von 10 cm Dicke – die annähernd denselben Wärmedurchgang besessen haben dürften – ist festzustellen, daß der Luftdurchgang bei der letzteren fast viermal größer ist als bei den ersteren. Bezogen auf eine Hauswand von 100 m² Fläche (ohne Fenster), eine Raumtemperatur von 20°C und eine mittlere Außentemperatur von 0°C würde sich ein

Wärmeverlust ergeben:

für die Ziegelwand von 172 kcal/h oder ca. 115 kg Koks pro Heizsaison
für die Holzwand von 650 kcal/h oder ca. 430 kg Koks pro Heizsaison.

Diese Zahlen beziehen sich auf den Druckunterschied von 1 mm WS gemäß Tabelle, was dem Staudruck eines schwachen Windes entspricht; bei größerer Windstärke würde der Wärmeverlust wesentlich höher.

4. Wärmespeicherung

Die Wärmespeicherung der Außenwände hat die wichtige Aufgabe, die äußeren – durch die Witterungsänderungen bedingten – und die inneren – durch Ungleichmäßigkeiten der Heizung hervorgerufenen – *Temperaturschwankungen* auszugleichen. Hierzu genügt die Wärmeisolierung der Wände allein nicht, da es sich bei Häusern, wie früher schon bemerkt, nicht um hermetisch abgeschlossene Räume handelt, sondern diese – nach Kap. 3 – einem ständigen natürlichen Luftwechsel unterworfen sind. Die von außen in den Raum einströmende Luft muß also bei reduzierter oder unterbrochener Heizung aus der Wärmereserve in den Wänden erwärmt werden. Wenn die Wärmereserve, d. h. Speicherung, gering ist, so werden sich die Wände in kurzer Frist auskühlen, und damit wird auch die Zimmertemperatur rasch abfallen. Abgesehen davon spielt die Wärmespeicherung eine nicht zu unterschätzende Rolle für den *Ausgleich der Rückwirkungen des Luftdurchlasses*. Die von außen eindringende Kaltluft wird sich in einer dicken wärmespeichernden Wand auf annähernd Wandinnenflächentemperatur erwärmen können und dadurch keine merkbaren Zugerscheinungen hervorrufen. Anders dagegen bei einer dünnen, hochisolierenden, aber nicht wärmespeichernden Wand. Hier kann sich die Kaltluft in der dünnen, mit Hohlräumen durchsetzten Wand kaum fühlbar erwärmen und müssen als Folge davon Zugstörungen im Raume auftreten. Solche Erscheinungen sind heute von Baracken- und anderen Notbauten her zur Genüge bekannt.

Zur bestmöglichen Ausnutzung der temperatursausgleichenden Eigenschaften der Wärmespeicherung sollten Massivwände daher eigentlich nicht – wie allgemein üblich – innen, sondern *außen isoliert* werden. Auf diese Weise würde bei Abkühlung der Wand der größere Wärmeanteil nach innen abfließen und somit nutzbar verwertet.

Im Sommer wirken sich die Vorteile der Wärmespeicherung noch viel prägnanter aus, nur im umgekehrten Sinne. Die Wände stellen dann vielmehr Kältespeicher dar. Sie kühlen sich während der Nacht und in kühleren Witterungsperioden ab und senken tagsüber und bei wärmerem Wetter die Raumtemperatur. Wegen des ständig stattfindenden Luftwechsels (einschließlich Öffnen der Fenster) nützt hier die Wärmeisolierung der

Wände ohne gleichzeitige wesentliche Speicherfähigkeit noch viel weniger. In den USA. werden z. B. Ventilationsanlagen verwendet, die nachts in Betrieb gesetzt werden, um die Gebäudewände zu kühlen. Tagsüber sind sie jedoch abgestellt und erfolgt die Kühlhaltung der Räume nur noch durch die in den Wänden aufgespeicherte Kälte.

Der große Nutzen einer angemessenen Wärmespeicherung der Außenwände ist durch zahlreiche Versuche einwandfrei bestätigt worden. Architekt Andr. Bugge und Dipl.-Ing. Alf. Kolflaath führten in Norwegen Untersuchungen an 25 z. T. aus Stein und z. T. aus Holz gebauten und gleich konstruierten Versuchshäusern durch. Diese ergaben, daß bei Abschaltung der Heizung – nach Erreichen von 20°C Raumtemperatur – sich die Leichtbauten viel rascher auskühlen als die Massivbauten. Auch Ing. chem. O. F. Vetter* kommt auf Grund von Untersuchungen, die an Kleinwohnungen in Zürich durchgeführt wurden, zum Schlusse, daß die Wärmespeicherung der Wände für die Gewährleistung eines zuträglichen Raumklimas sehr wesentlich ist.

Wärmewirtschaftlich gesehen ist die Wärmespeicherung für dauernd beheizte Gebäude praktisch ohne Einfluß; für unterbrochen beheizte Gebäude wirkt sie sich dann nachteilig aus, wenn sich der Unterbruch auf mehrere Tage ausdehnt, die Wand also Gelegenheit hat, sich gänzlich auszukühlen. Für kurze Unterbrüche oder vorübergehend reduzierte Heizung, wird ein Teil der Speicherwärme bei Ausschalten der Heizung wiederum an den Raum zurückgegeben, während der andere Teil nach außen verloren geht. Die Anfangstemperatur bei Wiedereinsetzen der Heizung ist somit bei der wärmespeichernden Bauweise höher als bei der speicherlosen, wodurch die Verluste zu einem gewissen Betrag kompensiert werden. Es ist dieser Faktor übrigens auch von Wichtigkeit wegen der Fensterlüftung.

5. Wandinnenflächentemperaturen und Raumluftbewegung

Die moderne Forschung vermittelt uns die Erkenntnis, daß das Wärmeempfinden des Menschen in einem Raume nicht nur von der Lufttemperatur abhängig ist, sondern in erheblichem Maße auch von den Oberflä-

chenperaturen der Umfassungs-wände, Decken usw., sowie ferner der Bewegungsgröße der Raumluft beeinflußt wird.

Zur Gewährleistung eines *behaglichen Raumklimas* im Winter ist es notwendig, neben einer genügend hohen Raumlufttemperatur ebenso zureichend hohe und möglichst geringe Schwankungen unterworfene Wandinnenflächentemperaturen und außerdem eine möglichst geringe Luftbewegung zu erreichen. Um diese Bedingungen zu erfüllen, ergeben sich einerseits bestimmte Anforderungen an die Heizung und andererseits aber an die Baukonstruktion. Eine gute Wärmeisolation ermöglicht es, die Wandinnenflächentemperaturen zu steigern, während eine angemessene Wärmespeicherung der Wand es gestattet, die Schwankungen der Heizung auszugleichen. Durch die Baukonstruktion bedingte Einwirkungen auf die Luftbewegung sind infolge Luftpelzässigkeit der Wände vorhanden. Hier gilt das bereits unter Kapitel 3 Gesagte. Eine dicke, wärmespeichernde Wand erwärmt die ein-tretende Luft und schaltet dadurch Störungen auf das Raumklima aus, während dagegen die speicherschwache Wand die Luft fast mit Außentemperatur eindringen läßt, wodurch Zugerscheinungen auftreten.

Der Ausgleich der Wandtemperaturrenschwankungen durch die Wärmespeicherung ist zudem wichtig wegen der *Schwitzwasserbildung*. Sobald nämlich nach Aussetzen der Heizung die Wandinnenflächentemperatur unter den Taupunkt fällt, tritt Kondenswasserabscheidung ein, die andauernde Schäden für die Gesundheit der Bewohner und die Gebäudekonstruktion nach sich ziehen kann.

Der vorstehende Überblick der heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisse veranschaulicht, daß die Isolierung der Baukonstruktionen allein die Wärmehaltung in der Praxis weder in wirtschaftlicher noch in hygienischer Hinsicht kennzeichnen kann und dazu Fragen der Haltbarkeit noch ungelöst sind. Auch das Problem der Arbeitsausführung verlangt vermehrte Beachtung. Es erhält für dünne, leichte und hochisolierende Wände logischerweise relativ viel größere Bedeutung als für massive und weniger stark isolierende Mauern. Eine angemessen isolierende, wärmespeichernde und feuchtigkeitsbeständige Wand bietet daher, alle Faktoren zusammengefaßt, immer noch die größte Sicherheit.

* Dissertation «Heiztechnische und hygienische Untersuchungen an Einzelöfen und Kleinwohnungen», EMPA Zürich, 1924.