

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 86 (1968)  
**Heft:** 49: Eduard Amstutz zum 65. Geburtstag, 2. Sonderheft

**Artikel:** Die neue k-Wert-Kammer an der EMPA  
**Autor:** Sagelsdorff, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-70198>

### **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:** 23.01.2026

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

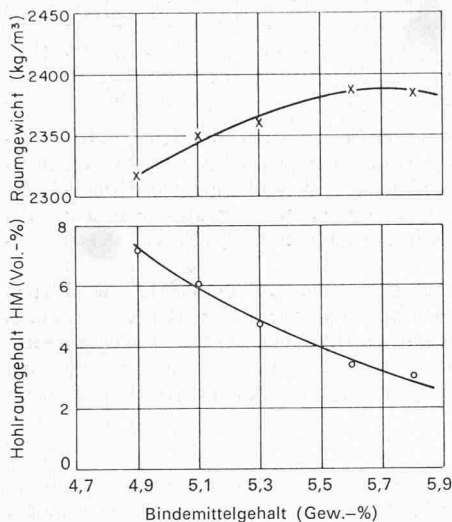


Bild 2. Raumgewicht und Hohlraumgehalt von Marshall-Prüfkörpern in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt

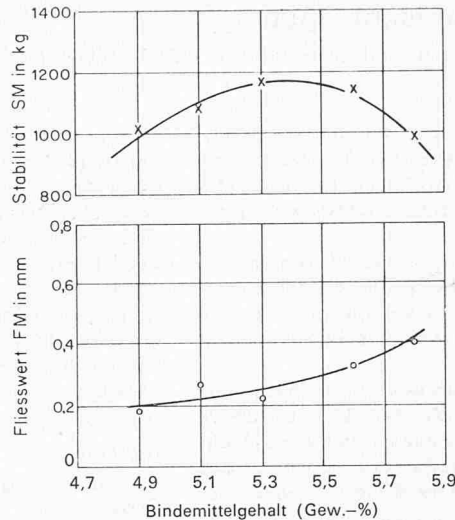


Bild 3. Stabilität und Fließwert von Marshall-Prüfkörpern in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt

und der Fließwert abgelesen. Vorgängig der mechanischen Prüfung werden Raumgewicht und Hohlraumgehalt der Prüfkörper bestimmt. In den Bildern 2 und 3 ist der typische Verlauf der in diesem Versuch bei Variation des Bindemittelgehalts ermittelten Kurven angegeben. Daraus ist ersichtlich, dass die Stabilitäts- und die Raumgewichtskurve je ein Maximum erreichen. Mit zunehmendem Bindemittelgehalt steigt die Kurve des Fließwertes stetig. Der Hohlraumgehalt der Prüfkörper nimmt mit steigendem Bindemittelgehalt ab.

Wird der Bindemittelgehalt zu klein gewählt, so liegt der Hohlraumgehalt über dem oberen zulässigen Grenzwert. Bei einem Überschuss an Bindemittel nimmt der Fließwert stark zu und erreicht unzulässige Werte. Ein solcher Belag kann sich unter der Verkehrseinwirkung deformieren.

Nicht nur Bindemittelgehalt und Viskosität des Bindemittels beeinflussen den Kurvenverlauf, sondern auch Form und Art der Mineralstoffe. Die in den beiden Bildern dargestellten Kurven beziehen sich auf eine Mineralmischung, die ausschliesslich aus gebrochenen Gesteinen bestand. Bei ausschliesslich runden Körnungen ergeben sich bedeutend kleinere Stabilitäten. Anhand der abgebildeten Kurven kann der optimale Bindemittelgehalt nicht mit einer für jeden Fall gültigen Formel berechnet werden. Vielmehr sind dazu die Lage, die örtlichen Verhältnisse sowie die Verkehrsbeanspruchung zu berücksichtigen. Durch Variation der einzelnen Komponenten kann für jeden Fall mit Hilfe des Marshall-Versuches eine optimale Lösung gefunden werden.

## Die neue k-Wert-Kammer an der EMPA

Von R. Sagelsdorff, Vorsteher der Abt. natürliche Bausteine und künstliche Baumaterialien der EMPA, Dübendorf-Zürich

DK 536.24.001.4

### 1. Einleitung

Eine genügende Wärmeisolation der Aussenwände im Wohnungsbau ist notwendig, um im Winter ein behagliches Wohnen zu ermöglichen und Schäden infolge Kondenswasser an den Wandoberflächen zu vermeiden. Für die Behaglichkeit spielen bekanntlich die Lufttemperatur und die mittlere Oberflächentemperatur der umgebenden Flächen eine massgebende Rolle. Je kälter diese Flächen sind, um so höher muss die Lufttemperatur sein, um die grössere Wärmeabgabe durch Strahlung des Menschen zu kompensieren.

Eine Kondensation kann der Architekt durch die Vermeidung von Wärmebrücken und eine geschickte Anordnung der Heizung einschränken. Um auch in den Ecken, wo Schäden am häufigsten vorkommen, eine Kondensation zu verhindern, ist ein minimaler Wärmedurchlasswiderstand  $1/\Lambda$  gemäss Bild 1 zu wählen.

Für den Nachweis eines genügenden Wärmeschutzes ist der Architekt verantwortlich. Er muss zudem die wirtschaftlichste Lösung suchen. Eine zusätzliche Isolation verursacht wohl grössere Kapitalkosten, bringt aber auch Einsparungen an jährlichen Heizkosten.

Sofern es sich nicht um altbewährte, in der Praxis erprobte Wandkonstruktionen handelt, die für gleiche Verhältnisse einfach übernommen werden können, besteht heute üblicherweise der Nachweis darin, dass die Wärmedurchgangszahl ( $k$ -Wert) berechnet wird. Dabei werden die Wärmeleitfähigkeiten der verwendeten Materialien und die Wärmeübergangszahlen Tabellen oder Normen entnommen. Für normale Verhältnisse des schweizerischen Mittellandes hat man bisher einen  $k$ -Wert von maximal  $1,0 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$  als zulässig erachtet.

Dieses einfache Vorgehen genügt heute nicht mehr. Die Schadenfälle, die dabei aufgetreten sind, zeigen, dass oft ungenügend isoliert und der Wasserdampfdurchgang nicht beachtet wird. Heute werden in Wohnräumen Temperaturen bis  $23^\circ \text{C}$  festgestellt und durch künstliche Befeuchtung höhere Luftfeuchtigkeiten aufrecht erhalten. Man baut die Gebäude immer höher und stellt sie ohne schützende Vordächer an wind- und wetter-

### 3. Prüfungen und Kontrollen vor und während des Einbaus

Diejenigen Prüfungen, die am Objekt selbst ausgeführt werden, insbesondere Griffigkeits- und Ebenheitsmessungen, werden hier nicht behandelt.

#### Schichtverbund, Temperaturen

Ein einwandfreier Schichtverbund der bituminösen Beläge und Tragschichten untereinander muss gewährleistet sein. Vor und während dem Einbau ist deshalb zu prüfen, ob und welche geeigneten Massnahmen zu treffen sind, um diese Forderung erfüllen zu können. Während des Aufbereitens und Einbaues muss auf das Einhalten der vorgeschriebenen Temperaturen geachtet werden. Besteht der Verdacht, dass das Bindemittel eines Mischgutes eine ungewöhnlich starke Verhärtung erfahren hat, so ist es empfehlenswert, im Labor das extrahierte Bindemittel aufarbeiten und untersuchen zu lassen.

#### Mischgutkontrollen

Während des Einbaus ist die Zusammensetzung des Mischgutes im Labor ständig zu überprüfen, um unerwünschte Abweichungen vom gewählten Rezept möglichst rasch feststellen und korrigieren zu können. Neben der Kontrolle des Bindemittelgehalts und des Kornaufbaus ist auch der Marshall-Versuch durchzuführen. Die Zahl der zur Kontrolle täglich zu entnehmenden Mischgutproben ist von der Einbauleistung abhängig.

#### Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad

Von grösster Wichtigkeit ist der Hohlraumgehalt und der Verdichtungsgrad eines Belages. Anzustreben ist ein Hohlraumgehalt der verdichteten Belagsschicht, der innerhalb des in den Normen vorgeschriebenen Bereiches und möglichst nahe beim unteren Grenzwert liegt. Keinesfalls darf der in unseren Normen vorgeschriebene obere Grenzwert überschritten werden.

Der Verdichtungsgrad lässt sich aus dem Verhältnis der Raumgewichte von Belagsausschnitten oder Bohrkernen und von Marshall-Prüfkörpern berechnen. Ein ungenügend verdichteter Belag kann eine wesentliche Nachverdichtung durch die Verkehrsbeanspruchung erfahren. Damit treten an einem anfänglich noch ebenen Belag Deformationen auf. Diese äussern sich an der Fahrbahnoberfläche in Spuren- und Rillenbildung. Nach beendetem Einbau soll deshalb jede Schicht so verdichtet sein, dass unter der Verkehrseinwirkung möglichst geringe Formänderungen auftreten. Um diese Forderung zu erfüllen, muss der am eingebauten Belag erreichte Verdichtungsgrad praktisch 100% betragen.

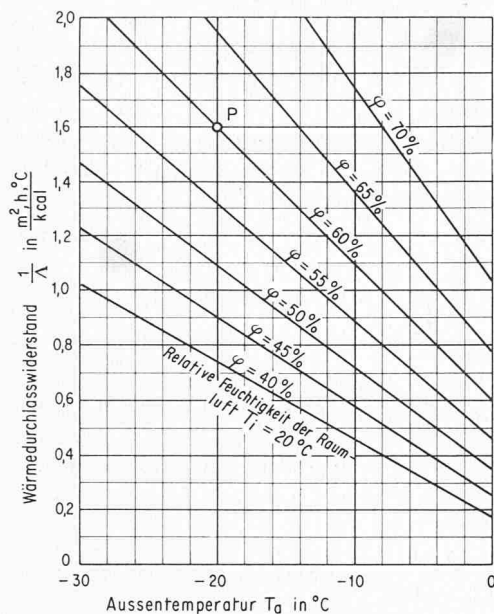


Bild 1. Minimaler Wärmedurchlasswiderstand einer einschichtigen Wand, der erforderlich ist, damit bei einer Temperatur der Raumluft von 20 °C in den Ecken keine Kondensation auftritt. Beispiel (Punkt P): Bei einer Aussentemperatur von -20 °C und einer Raumluftfeuchtigkeit von 60 % ist ein minimaler Wärmedurchlasswiderstand von 1,6 m²·h·°C/kcal erforderlich

exponierter Lage ins Gelände. Die leichten Wände vermögen wegen ihres kleineren Wärmespeichervermögens kurzfristige Schwankungen und Extremwerte nur noch wenig auszugleichen. Besonders bei einem mehrschichtigen Wandaufbau aus verschiedenen Baustoffen besteht die Gefahr einer Kondenswasserauscheidung im Wandinnern. Die Konstruktion wird stärker beansprucht und verlangt eine sorgfältigere Untersuchung. Dabei müssen die effektiven örtlichen Verhältnisse und die wirklichen Materialeigenschaften berücksichtigt werden. Dies trifft vor allem für die neu auf den Markt kommenden Materialien und Konstruktionen zu.

Die bis heute üblichen Wärmedurchgangsversuche haben den Nachteil, dass die Materialien im «lufttrockenen» Zustand im eher trockenen Klima des Labors geprüft werden. Es war bis heute nicht möglich, Wärmedurchgangs-Versuche durchzuführen, die gleichzeitig auch den Feuchtigkeitsdurchgang berücksichtigen. Diese Lücke ist nun durch die Inbetriebnahme einer neuen *k*-Wert-Kammer geschlossen worden. Diese Einrichtung (Bild 2) wurde entsprechend den Anforderungen der EMPA durch die Firma Frigorex AG für Kälte und Klima, Luzern, gebaut und sei nachfolgend kurz beschrieben.

## 2. Beschreibung der *k*-Wert-Kammer, Bild 3

Die *k*-Wert-Kammer besteht aus einer festen warmen Kammer, einem fahrbaren Rahmen mit einer Öffnung von 1,50 mal 2,00 m für den Einbau der Prüfwand und einer ebenfalls fahrbaren kalten Kammer. Für die Prüfung werden diese drei Teile luft- und dampfdicht zusammengeschraubt.

Die warme Kammer enthält eine elektrische Heizung und zwei Verdampfer, die über Mess- und Regelgeräte eine bestimmte Temperatur und Feuchtigkeit aufrecht erhalten. Die Temperatur kann zwischen +20 °C und +30 °C geregelt werden mit einer grössten Schwankung der Mitteltemperatur von nur ±0,1 °C. Die Feuchtigkeit kann höchstens so hoch gewählt werden, dass auf der Oberfläche des Prüfkörpers keine Kondensation auftritt. Die Regelung erfolgt dabei mit einer grössten Schwankung der mittleren Feuchtigkeit von ±1,0 %. Weiter enthält die warme Kammer einen Ventilator, der eine geringe Luftströmung über die Oberfläche der Prüfwand von oben nach unten erzeugt. Mit steuerbaren Klappen kann die Luftgeschwindigkeit von einem Kleinstwert, der der natürlichen Konvektion entspricht, bis maximal 0,5 m/s eingestellt werden. Die in der warmen Kammer produzierte totale Energie (Heizung, Ventilator, Verdampfer) wird

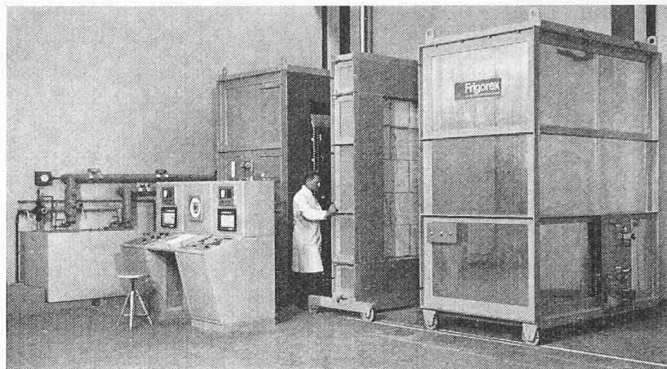


Bild 2. Ansicht der dreiteiligen *k*-Wert-Kammer mit Messpult und Eiswasserbehälter

durch einen Präzisionszähler, die verdampfte Wassermenge durch eine Präzisionswaage gemessen.

In der kalten Kammer halten Kühlröhren die Temperatur auf etwa +5 °C. Das in den Kühlröhren zirkulierende Wasser wird in einem Eiswasserbehälter abgekühlt und die Temperatur über ein Mischventil so geregelt, dass die grössten Schwankungen der Mitteltemperatur in der kalten Kammer ±0,1 °C betragen. Es ist auch hier ein Ventilator mit einstellbaren Klappen für die Regulierung der Luftströmung eingebaut. Die maximale Geschwindigkeit der von oben nach unten über die Oberfläche strömenden Luft beträgt 5 m/s. Der durch die Prüfwand diffundierende Wasserdampf kondensiert an den Kühlröhren, tropft in die Fangschale und kann von dieser periodisch abgelassen werden.

Die Messung der Lufttemperaturen, Luftfeuchtigkeiten und Luftgeschwindigkeiten für die Regelung erfolgt in beiden Kammern in der Mitte der Prüfwand zwischen Prüfkörperoberfläche und Leitwand. Zusätzlich sind total 75 Kupfer-Konstantan-Thermoelemente angeschlossen, mit denen interessierende Temperaturen mit einer Genauigkeit von ±0,1 °C gemessen werden können (Temperaturverteilung an den Oberflächen und im Innern der Prüfwand, Temperaturen der Luftströmung und der Leitwände).

Die *k*-Wert-Kammer ist mit 40 cm dicken Wänden gegen den Laborraum isoliert, wo eine Temperatur von etwa +20 °C ±1 °C herrscht. Der Wärmeverlust der warmen Kammer durch die Kammerwände wurde in Eichversuchen ermittelt und kann berücksichtigt werden. Er beträgt zum Beispiel für eine Temperaturdifferenz Laborraum – warme Kammer von 10 °C 12,7 kcal/h (14,8 W).

Die für den Wärme- und Feuchtigkeitsdurchgang massgebenden Messungen werden im stationären Zustand durchgeführt. Je

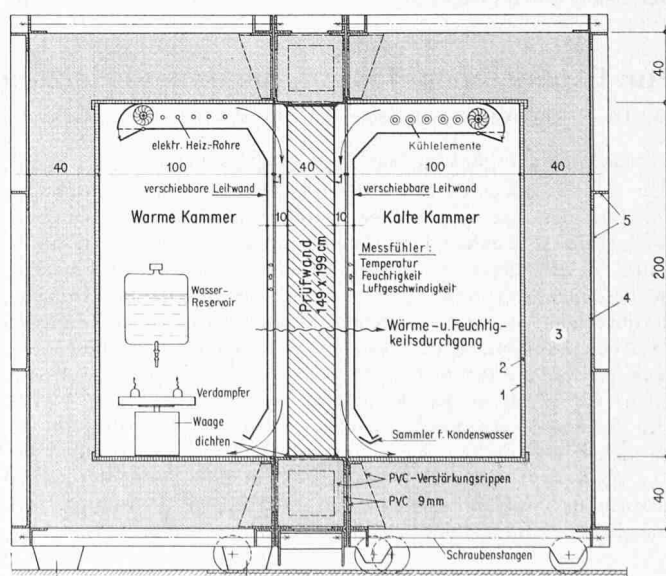


Bild 3. Schematischer Schnitt durch die *k*-Wert-Kammer. Typischer Wandaufbau: 1 Kupferblech gelötet 1 mm, 2 Asbestzementplatte 20 mm, 3 extrud. Polystyrol 378 mm, 4 Alumanblech 1,5 mm, 5 Stahlrahmen

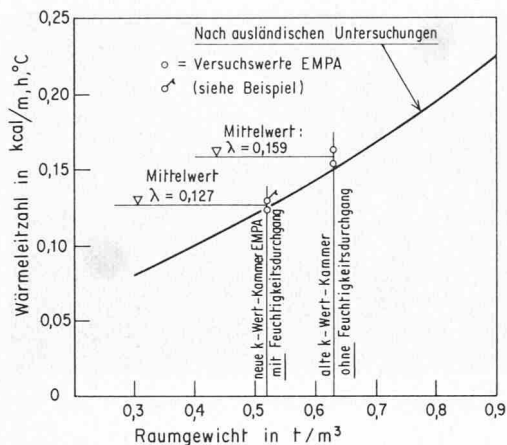


Bild 4. Wärmeleitfähigkeit von Gasbeton in Abhängigkeit vom Raumgewicht

nach der Trägheit, dem Feuchtigkeitsgehalt und der Durchlässigkeit der Prüfwand kann es mehrere Wochen dauern, bis dieser Zustand erreicht ist. Die Versuchseinrichtung erlaubt die Prüfung von Wänden mit  $k$ -Werten von 0,4 bis 1,5 kcal/m<sup>2</sup> h °C, ist also für alle Wandkonstruktionen des Hochbaues geeignet.

### 3. Beispiel eines Versuches

Als Prüfwand wurde eine 7,5 cm dicke Wand aus Gasbeton-Steinen ausgewählt, mit Fugen von 2 bis 3 mm Stärke und einem Raumgewicht von 0,52 t/m<sup>3</sup>. Im stationären Zustand, der etwa nach zwei Wochen erreicht war, wurden folgende mittlere Werte gemessen:

#### Temperaturen

Luft auf der warmen Seite	$T_i = + 30,4 \text{ } ^\circ\text{C}$
Luft auf der kalten Seite	$T_a = + 6,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Prüfwandoberfläche auf der warmen Seite	$T_{oi} = + 27,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Prüfwandoberfläche auf der kalten Seite	$T_{oa} = + 7,7 \text{ } ^\circ\text{C}$
Leitwandoberfläche auf der warmen Seite	$+ 29,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
Leitwandoberfläche auf der kalten Seite	$+ 6,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

#### Luftgeschwindigkeiten

auf der warmen Seite	$V_i = 0,4 \text{ m/s}$
auf der kalten Seite	$V_a = 2,5 \text{ m/s}$

#### Wärmedurchgang

total produzierte Energie	129,8 W = 111,6 kcal/h
Verlust durch Kammerwände	14,8 W = 12,7 kcal/h
Durchgang durch Prüfwand	= 115,0 W = 98,9 kcal/h

#### Feuchtigkeiten

auf der warmen Seite 60 % r. F., Dampfdruck  $P_i = 19,56 \text{ mmHg}$   
auf der kalten Seite 100 % r. F., Dampfdruck  $P_a = 7,08 \text{ mmHg}$

#### Feuchtigkeitsdurchgang

auf warmer Seite verdampfte Wassermenge:  $\dot{Q}_D = 7,49 \text{ g/h}$

Mit diesen Werten lassen sich für die Prüffläche von  $F = 2,96 \text{ m}^2$  folgende Werte berechnen:

Wärmedurchgangszahl:

$$k = \frac{\dot{Q}}{F(T_i - T_a)} = 1,37 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} (1,59 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Wärmeübergangszahlen  $\alpha$ :

$$\alpha_i = \frac{\dot{Q}}{F(T_i - T_{oi})} = 9,8 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} (11,4 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\alpha_a = \frac{\dot{Q}}{F(T_{oa} - T_a)} = 19,6 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} (22,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Wärmedurchlasszahl  $\Lambda$ :

$$\Lambda = \frac{\dot{Q}}{F(T_{oi} - T_{oa})} = 1,73 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} (2,01 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Wärmedurchlasswiderstand:

$$1/\Lambda = 0,58 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/kcal} (0,50 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W})$$

mittlere Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ :

$$\lambda = d \Lambda = 0,130 \text{ kcal/m h } ^\circ\text{C} (0,151 \text{ W/m } ^\circ\text{C})$$

Feuchtigkeitsdurchgangszahl  $k_D$ :

$$k_D = \frac{\dot{Q}_D}{F(p_i - p_a)} = 0,203 \text{ g/m}^2 \text{ h mm Hg}$$

Feuchtigkeitsleitfähigkeit  $\lambda_D$ :

$$\lambda_D = d k_D = 0,0152 \text{ g/m h mm Hg}$$

Ein Vergleich der gemessenen Wärmeleitfähigkeit mit ausländischen Versuchsergebnissen ist in Bild 4 dargestellt und zeigt eine gute Übereinstimmung.

Der Gasbeton weist eine niedrige Wärmeleitfähigkeit auf, ist somit gut wärmeisolierend. Er ist dampfdurchlässig, so dass beim Verputzen und bei mehrschichtigen Wandkonstruktionen grösste Vorsicht geboten ist, da die Gefahr einer unzulässigen Kondenswasserauscheidung besteht. Die geprüfte 7,5 cm dicke, unverputzte Wand stellt natürlich keine zulässige Aussenwand dar. Sie wurde ausgewählt, um die Leistungsfähigkeit und die Genauigkeit der  $k$ -Wert-Kammer für hohe  $k$ -Werte zu überprüfen.

## Von Expansionsgefässen, die unsere Heizungen zerstören

DK 697.4:620.193.22

Von Dr. P. Esenwein, Vorsteher der Abt. Wasser- und Bauchemie der EMPA, Dübendorf-Zürich

Obwohl vor allem in der ausländischen Fachliteratur mehrfach auf Schäden in Warmwassersystemen infolge unrichtiger Funktion der Expansionsgefässe aufmerksam gemacht wurde<sup>1)</sup>, scheint dieses Problem in unserem Lande vielerorts noch unbekannt zu sein, denn derartige Schäden sind hier überaus häufig. Sie bestehen, ganz kurz gesagt, darin, dass das in der Heizung zirkulierende Wasser im offenen Expansionsgefäss mit Luft in Berührung kommt, dabei Sauerstoff aufnimmt und diesen sodann im System zur Korrosion, d. h. zur Anrostung von Eisenteilen, vor allem in den Radiatoren, wieder verbraucht. Würde kein Sauerstoff ins System nachgespiesen, so wäre der im ursprünglich eingefüllten Wasser enthaltene Sauerstoff (rund 5 bis 10 g Sauerstoff pro m<sup>3</sup> Wasser) in kürzester Zeit durch die Erwärmung ausgetrieben und für geringfügige Oxydation verbraucht, es könnten keine schädlichen Korrosionen erfolgen.

<sup>1)</sup> Eine besonders gute und ausführliche Darstellung des Problems gibt die Arbeit von H. Schmeken: Ergebnisse von Untersuchungen über Korrosionsursachen in Warmwasserheizungen, «Mitt. Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung» 1966, Nr. 8/9, S. 130.

In unseren alten, pumpenlosen Schwerkraft-Heizanlagen, in denen eine nur ganz geringfügige Wasserzirkulation im Ausgleichsgefäss stattfindet, waren Korrosionsschäden äusserst selten, um so weniger, wenn diese Heizungen noch dickwandige Gussradiatoren besaßen, die ohnehin viel korrosionsbeständiger sind als solche aus dünnwandigem und korrosionsempfindlicherem Stahl. Viel kritischer wurden die Verhältnisse in den modernen Heizanlagen, die fast durchwegs dünnwandige Stahlradiatoren enthalten und die Wasserzirkulation durch starke Umwälzpumpen betrieben wird, dann, wenn sie offene Expansionsgefässe besitzen, und der Wasserkreislauf auch das Ausgleichsgefäss erfasst. Hier steht dann das «sauerstoffhungrige» Heizwasser in ständiger Berührung mit der offenen Luft und vermag dadurch dauernd erhebliche Mengen von Sauerstoff ins System nachzuliefern.

Die Untersuchung zahlreicher Korrosionsschäden, die in grossen Anlagen katastrophales Ausmass annehmen können, hat gezeigt, dass fast ohne Ausnahme die unrichtige Ausbildung oder Funktion des Expansionsgefässes unmittelbare Ursache solcher Störungen sind. Als besonders krasses Beispiel sei hier ein Fall angeführt, wo in der Heizanlage eines modernen Bürohochhauses