

# K-Werte von Mauerwerk: Prüfmethoden der EMPA

Autor(en): **Sagelsdorff, Ralph**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **110 (1992)**

Heft 37

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77955>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die gemeinschaftlich zu tragenden Kosten des neuen Rhein-Linth-Werks belaufen sich auf rd. 2.1 bis 2.3 Milliarden Franken.

### Schlussbemerkungen und Dank

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen eines Forschungsprojekts am Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung der ETH Zürich. Die zentrale Aufgabe der Wissenschaft besteht darin, Hypothesen zu entwerfen und diese hart auf ihre Zweckmässigkeit und ihren Wahrheitsgehalt zu überprüfen. Der Politik obliegt die schwierige Aufgabe, das Gesamtinteresse der Öffentlichkeit zu wahren und jene Lösung durchzusetzen, welche dem ganzen Rheintal zugute kommt. Der Verfasser

möchte darauf hinweisen, dass er sich mit seinen auf den ersten Blick vielleicht etwas unkonventionellen Hypothesen natürlich irren kann. Es ist anzunehmen, dass auch unsere Nachkommen für unser heutiges fehlerhaftes Denken und Handeln oft nur ein Kopfschütteln übrig haben werden, wie Götz [7] treffend schreibt. Die Bedeutung der ganzen Arbeit ist nicht grösser als diejenige eines schmalen Pfads in einem riesigen Wald unerforschter Entwicklungsmöglichkeiten, von dem aus nur schwer übersehen werden kann, ob man auf ihm den besten Möglichkeiten begegnet ist. Die Bestimmung der Arbeit ist es, verbessert zu werden. Sie soll Anregung sein für erneute eindringliche Forschung.

Es ist dem Verfasser ein Bedürfnis, allen zu danken, welche die Arbeit in mehrfacher Hinsicht tatkräftig gefördert haben. Es sind dies: Prof. Dr. J. Maurer (Referent) und Prof. Dr. D. Vischer (Koreferent), beide ETHZ, Prof. C. Lichtenhahn, Bern, H. Ringli, Chr. Göldi und Dr. M. Jäggi, Zürich, Dr. M. Broggi, Vaduz, A. Götz, E. Kessler und H. Weiss, Bern, L. Kalt, St. Gallen.

Adresse des Verfassers: F. Schlegel, dipl. Bauing. ETH/SIA, Raumplaner ETH/NDS, Dorfstrasse 43, 7323 Wangs.

## k-Werte von Mauerwerk

### Prüfmethoden an der EMPA

#### Bedeutung des k-Wertes

Der k-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) ist ein Vergleichswert zur Beurteilung des Transmissionswärmeverlustes von Bauelementen der Gebäudehülle (Definition siehe Kästchen).

Der Transmissionswärmeverlust in einer bestimmten Zeitperiode, z.B. einem Monat der Heizperiode, berechnet sich zu:

$$Q_t = k \cdot A \cdot (\bar{\vartheta}_i - \bar{\vartheta}_a) \cdot \frac{h}{1000} \quad (\text{kWh})$$

mit A	Bauteilfläche	(m <sup>2</sup> )
$\bar{\vartheta}_i$	mittlere Raumlufthtemperatur	(°C)
$\bar{\vartheta}_a$	mittlere Aussenlufttemperatur	(°C)
h	Anzahl Stunden	

Je kleiner der k-Wert, desto niedriger ist auch der zur Deckung des Transmissionswärmeverlustes notwendige Heizenergiebedarf. Zulässige k-Werte sind in der Empfehlung SIA 380/1 gegeben, aber auch in kantonalen oder kommunalen Energie- resp. Baugesetzen zwingend vorgeschrieben.

Für den normalen Wohnungsbau können folgende k-Werte als vernünftige obere Grenzwerte angesehen werden:

Wandkonstruktionen	0.4 W/m <sup>2</sup> K
Dachkonstruktionen	0.3 W/m <sup>2</sup> K

Für «Niedrigenergie-Häuser», Gebäude ohne Heizenergiebedarf oder für Gebäude in extremen Aussenklimas

VON RALPH SAGELSDORFF,  
GRÜT

sind sehr niedrige k-Werte der Gebäudehülle eine der unabdingbaren Voraussetzungen. Hier werden k-Werte von  $\leq 0.2$  W/m<sup>2</sup> K angestrebt.

Es ist zu beachten, dass die in der Fläche des Bauteiles enthaltenen Wärmebrücken wie z.B. Bügel, Mörtelfugen im k-Wert des Bauteils einzubeziehen sind. Der bei Anschlussdetails erhöhte Wärmefluss ist jedoch in einer Energiebilanz separat zu erfassen.

Für eine zutreffende Energiebilanz eines Bauteils sind neben der Temperaturdifferenz zwischen Raumlufthtemperatur und Aussenluft aber noch die Strahlungsvorgänge an der äusseren Oberfläche zu berücksichtigen. Die kurzwellige Sonnenstrahlung erwärmt die Oberfläche und reduziert damit den Transmissionswärmeverlust, während die langwellige Wärmeabstrahlung an einen klaren, kalten Himmel diesen erhöht.

Die «echte» Monatsbilanz ergibt sich zu:

$$Q = k \cdot A \cdot [(\bar{\vartheta}_i - \bar{\vartheta}_a) \cdot \frac{h}{1000} - \frac{a_s \cdot G}{\alpha_a} + \frac{\epsilon_o \cdot \Delta IR}{\alpha_a}] \quad (\text{kWh})$$

Der k-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) gibt an, welcher Wärmestrom (in W) durch 1 m<sup>2</sup> des Bauteils fliesst, wenn die Temperaturdifferenz der angrenzenden Lufträume 1 K beträgt. Einheit: W/m<sup>2</sup> K.

Er berechnet sich als Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes R:  $k = \frac{1}{R}$ .

Bei Bauteilen aus ebenen, homogenen Baustoffschichten gilt:

$$R = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a} \quad (\text{m}^2 \text{ K/W})$$

mit:  $\alpha_i$  = Wärmeübergangskoeffizient an der inneren Oberfläche,

Normwert  $\alpha_i = 8$  W/m<sup>2</sup> K

$\alpha_a$  = Wärmeübergangskoeffizient an der äusseren Oberfläche,

Normwert  $\alpha_a = 20$  W/m<sup>2</sup> K

d,  $\lambda$  = Dicke, resp. Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Baustoffschichten  
d in m,  $\lambda$  in W/m K

mit $a_s$	Absorptionsgrad für Sonnenstrahlung	(-)
G	Globalstrahlung auf Bauteilebene	(kWh/m <sup>2</sup> )
$\epsilon_o$	Emissionsgrad für Wärmestrahlung, IR	(-)
$\Delta IR$	IR-Zusatzverlust an den Himmel	(kWh/m <sup>2</sup> )
$\alpha_a$	Wärmeübergangskoeffizient aussen	(W/m <sup>2</sup> K)

Die Reduktion des Transmissionsverlustes infolge der Strahlungsvorgänge kann gerade in den Übergangsmontaten beträchtlich sein, siehe Bild 1.

Bei einem Nachweis des Heizenergiebedarfs gemäss Empfehlung SIA 380/1



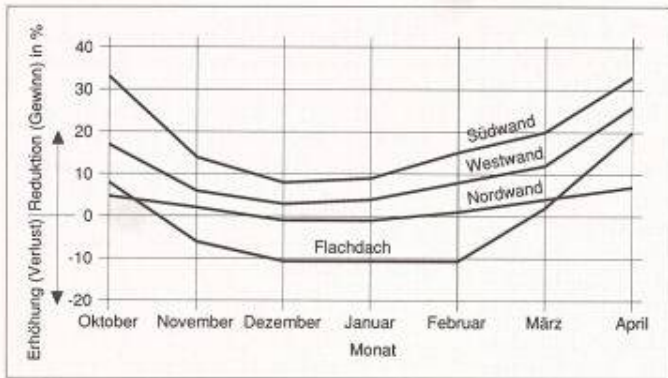


Bild 1. Reduktion der Transmissionswärmeverluste infolge Sonneneinstrahlung. Einfluss der Bauteilorientierung ( $\alpha_s = 0.6$ . Klima Zürich-SMA, exponierte Lage)



Bild 3. Ansicht der kalibrierten k-Wert-Kammer der EMPA. Die beiden Kammern sind leicht vom Prüfelementrahmen weggeschoben. Der Rahmen ist bereit für den Einbau eines neuen Prüfelementes. Die obere Abdeckung des Rahmens liegt auf der rechten Kammer. Links vorn das Steuer- und Messpult für den Betrieb während der Prüfung. Links hinten (verdeckt) die Kältemaschine

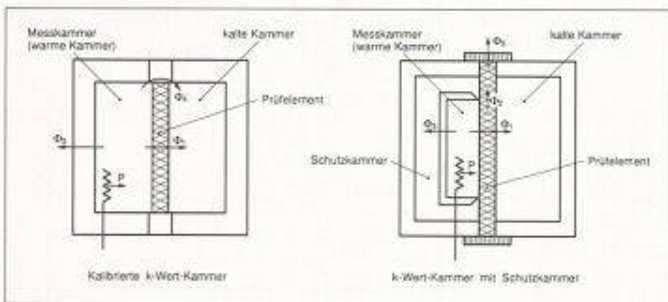
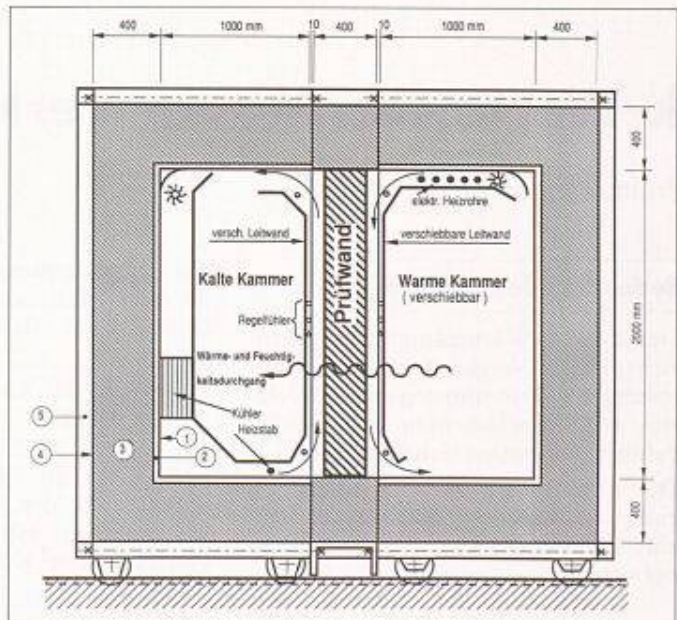


Bild 2. Schemas für die Prüfeinrichtungen für k-Wert-Messungen

$P$  Heizenergie

- $\phi_1$  Wärmestrom durch Prüfelement, massgebend für k-Wert
- $\phi_2$  seitlicher Wärmestrom längs Messkammerrand (Korrektur)
- $\phi_3$  Wärmestrom durch Kammerwände (Kastenverlust)
- $\phi_4$  Wärmestrom durch Wärmebrücke am Prüfelementrand
- $\phi_5$  seitlicher Wärmestrom am Prüfelementrand (Randverlust) (Korrektur)

Bild 4. Schematischer Querschnitt durch die k-Wert-Kammer. Typischer Wandaufbau: (1) = 1 mm Kupferblech gelötet, (2) = 20 mm Asbestzementplatte, (3) = 378 mm extrudiertes Polystyrol, (4) = 1.5 mm Alumanblech, (5) = Stahlrahmen



ist die Berücksichtigung der Strahlungseinflüsse auf die opake Gebäudehülle nicht vorgesehen. Bei einer detaillierten monatsweisen Bilanz über die Heizperiode sollten die Strahlungseinflüsse jedoch einbezogen werden.

Die Reduktion des Transmissionsverlustes ist – wie Theorie und Versuchsergebnisse belegen – unabhängig von der Masse der Wandkonstruktion. Die an der Aussenoberfläche absorbierte, nach innen geleitete Sonnenenergie ( $\alpha_s \cdot G/\alpha_a$ ) wird so zu 100% ausgenutzt. Nur wenn die Strahlungseinwirkung gegenüber dem Transmissionswärmeverlust überwiegt und somit dem Innenraum einen Gewinn bringt, kann u.U. dieser Gewinn nicht voll ausgenutzt werden.

Bei leichten Wandkonstruktionen, die eine geringe Temperaturamplituden-

dämpfung resp. einen geringen dynamischen Wärmedurchlasswiderstand aufweisen, kann dies zutreffen.

Während k-Werte von Bauteilen aus ebenen homogenen Schichten problemlos rechnerisch bestimmt werden können (Formel siehe Kästchen), sind für inhomogene Bauteile oder solche mit Wärmebrücken Prüfungen im Labor notwendig. Unter bestimmten Voraussetzungen (u.a. bekannte Baustoffeigenschaften) ist auch eine Berechnung mittels eines dreidimensionalen Wärmebrücken-Rechenprogrammes möglich. Ein solches Verfahren wird auch im Rahmen einer zukünftigen Europäischen Zertifizierung zulässig sein.

Im folgenden werden die Bedingungen für die Prüfung im Labor näher beschrieben.

### Prüfeinrichtung

Die Prüfung erfolgt in einer sogenannten «k-Wert-Kammer». Es sind zwei unterschiedliche Systeme möglich:

- die kalibrierte k-Wert-Kammer
- die k-Wert-Kammer mit Schutzkammer,

beide näher beschrieben in der Norm ISO DIS 8990.

Bild 2 zeigt schematisch das Messprinzip dieser beiden Anordnungen. Die gegenwärtig in Bearbeitung stehende CEN-Normen basieren weitgehend auf der vorliegenden ISO-Norm.

Zusätzlich wird eine Methode unter Verwendung von Wärmeflussmessern aufgenommen.

Die Abteilung Bauphysik der EMPA prüft Wandelemente mit einer kali-



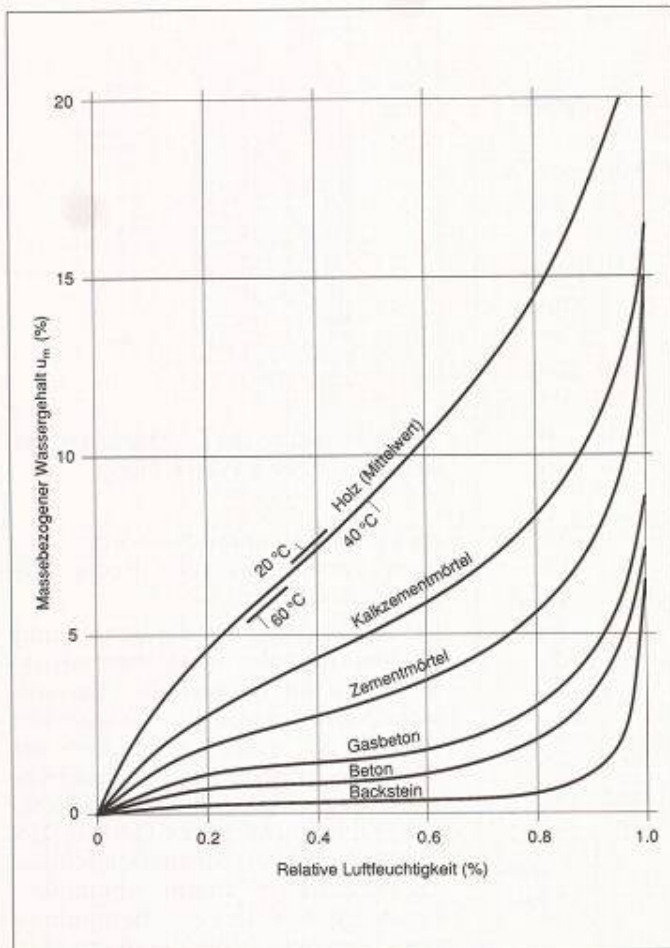


Bild 5. Sorptionsisothermen für verschiedene Baustoffe nach Klopfer

brierten k-Wert-Kammer. Der Aufbau geht aus den Bildern 3 und 4 hervor.

Die k-Wert-Kammer besteht aus einer festen, kalten Kammer, einem fahrbaren Rahmen mit einer Öffnung von 150 x 200 cm für den Einbau der Prüfwand und einer ebenfalls fahrbaren, warmen Kammer. Für die Prüfung werden diese drei Teile praktisch luft- und dampfdicht zusammengeschraubt.

Die warme Kammer enthält eine elektrische Heizungsanlage, die über Mess- und Regelgeräte eine bestimmte Temperatur der warmseitigen Luft aufrechterhalten kann. Ein Walzenventilator erzeugt von oben nach unten eine Luftströmung entlang der Prüfwandoberfläche. Mit Drosselklappen kann die Geschwindigkeit dieser Luftströmung von ca. 0.2 bis 0.5 m/s variiert werden. Die in die warme Kammer eingeführte totale Energie (Heizung + Ventilator) wird durch einen Präzisions-kWh-Zähler gemessen.

In der kalten Kammer erfolgt die Abkühlung der Luft durch einen Lamellenkühler, der über ein Mischventil mit einem Kältespeicher verbunden ist. Die Feinregulierung erfolgt durch einen Heizstab. Die Lufttemperatur in der kalten Kammer kann bis auf ca. -15°C

eingestellt werden. Die Luftströmung wird gleich wie in der warmen Kammer erzeugt und ist zwischen 0.5 und 2.5 m/s regulierbar. Die Luftströmung verläuft hier jedoch von unten nach oben, so dass für den ganzen Prüfkörper eine möglichst gleichmässige Temperaturdifferenz zwischen Warm- und Kaltseite entsteht.

Für die Messung der Temperaturen werden überall CuKo-Thermoelemente verwendet. Fühler und Regler liegen im Genauigkeitsbereich von  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ .

Anzahl der Messstellen, kalt- und warmseitig je:

Temperaturen:	Luft	9
	Oberfläche	16
	Regelfühler	1
Feuchtfühler:	Luft	1

Die beiden Kammern und der Prüfrahmen besitzen eine 380 mm dicke Wärmedämmung gegen den Laborraum, wo während der Prüfdauer eine Lufttemperatur von ca. 21°C herrscht. Der Wärmeverlust durch die Wand zwischen der warmen Kammer und dem Laborraum beträgt 1.6 Watt pro Kelvin Temperaturdifferenz. Der Wärmeverlust durch die Wärmebrückenwirkung am Prüfwandrand (Rahmenverlust) wird in Abhängigkeit der Prüfwanddicke be-

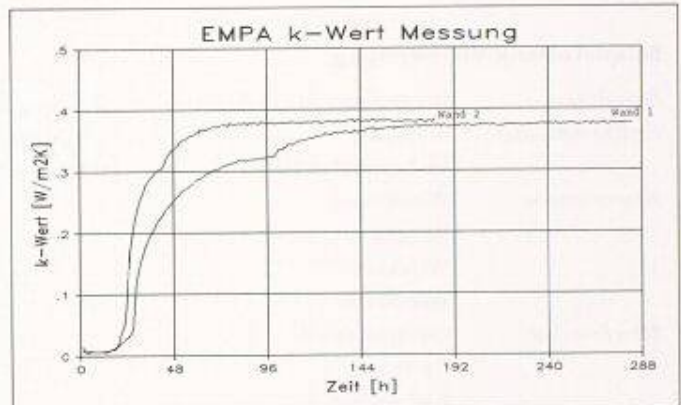


Bild 6. Einlaufdauer von zwei Prüfwänden unterschiedlicher Masse (Prüfungen der EMPA)



Bild 7. Austrocknungsverlauf der Prüfwand während der Lagerung bis zur k-Wert-Prüfung

stimmt (Kalibriermessungen unterstützt durch mehrdimensionale Temperaturfeldberechnungen).

### Prüfbedingungen für Mauerwerke

Ein Mauerwerk besteht aus Mauersteinen, Mauermörtel, Verputz und u.U. zusätzlichen Einlagen von Wärmedämmstreifen. Streuungen der Materialqualitäten, der Ausführung und des vorhandenen Feuchtegehaltes beeinflussen das Prüfergebn. In der Praxis können zudem andere Mauermörtel- und Verputztypen verwendet werden. Dies alles führt dazu, dass ein Prüfwert nicht direkt für die Praxis zutrifft. Aufgrund von Prüfungen sollte jedoch ein auf der sicheren Seite liegender Mittelwert bestimmbar sein, der in der Praxis für Energiebedarfsberechnungen als Rechenwert verwendet werden kann.

Bis die CEN die entsprechenden Prüfbedingungen und Auswerteverfahren festgelegt hat und in Kraft sind, gelten in der Abteilung Bauphysik die im 4. Kapitel aufgeführten Grundsätze. Es ist besonders zu beachten, dass in der Norm SIA 180 in Art. 334 festgelegt wird, dass der k-Wert für inhomogene Bauteile durch Prüfungen nachzuwei-



**Beispiel einer k-Wert-Prüfung**

<i>Prüfobjekt:</i>	Backsteinwand mit Aussenwärmedämmung beidseitig verputzt	
<i>Erstellungsdatum:</i>	07. April 1991	(Mauerwerk roh)
	13. September 1991	(Verputz aufgebracht)
<i>Abmessungen:</i>	Wandbreite	150.3 cm
	Wandhöhe	190.0 cm
	Wanddicke	27.0 cm
	Wandfläche	2.856 m <sup>2</sup>
<i>Schichtaufbau:</i>	Gipsputz innen	1.5 cm
	Backstein	15.0 cm
	Klebemörtel	1.5 cm
	Polystyrolplatte	8.0 cm
	Aussenverputz	1.0 cm
<i>Masse der Wand:</i>	Austrocknungsverlauf gemäss Bild 7	
	Vor Prüfbeginn	773.0 kg
	Nach Prüfende	773.2 kg
	mittlere Rohdichte	1002.8 kg/m <sup>3</sup>
	mittleres Flächengewicht	270.7 kg/m <sup>2</sup>
<i>Prüfbedingungen:</i>	Lufttemp. Warmseite	21.29 °C
	Lufttemp. Kaltseite	-10.30 °C
	Luftgeschw. warmseitig	0.3 m/s
	Luftgeschw. kaltseitig	1.5 m/s
	rel. Feuchte warmseitig	30.6 %
	rel. Feuchte kaltseitig	57.2 %
	Messdauer bis stationärer Zustand erreicht wird	6 Tage
	Messdauer bei stationären Bedingungen	2 Tage
	(siehe Bild 6, Wand 2)	
<i>Messergebnisse:</i>	Gem. Heizleistung	$\dot{Q}_H$ 38.67 W
	Verlust durch Rahmenergänzung	$\dot{Q}_E$ -0.63 W
	Kastenverlust Prüfstand	$\dot{Q}_K$ -0.36 W
	Randverlust	$\dot{Q}_R$ -3.00 W
	Wärmeverlust Wand	$\dot{Q}_W$ 34.68 W
	mittl. Wärmestromdichte	q 12.14 W/m <sup>2</sup>
	mittl. Temperaturdifferenz	$\Delta\vartheta_{oi-oa}$ 29.39 °C
	Wärmedurchlasswiderstand (mit vorhandenem Verputz)	R 2.421 m <sup>2</sup> K/W
	normierter Wand-k-Wert (mit vorhandenem Verputz)	$k_N$ 0.385 W/m <sup>2</sup> K

Bestimmung der Feuchteverteilung der Wand in Massen-% siehe Bild 8, mittlerer Feuchtegehalt der Mauersteine:

0.6 Masse-%

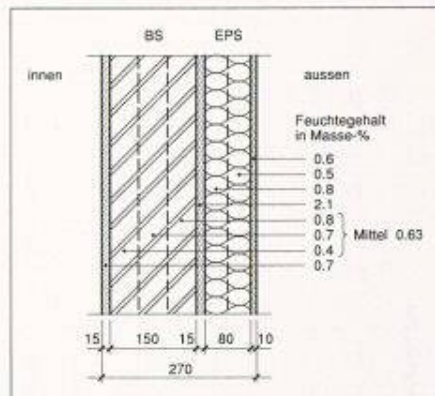


Bild 8. Verteilung der Feuchte in der Prüfwand nach der k-Wert-Prüfung

tes auch auf rechnerischem Wege, evtl. unter Verwendung eines Rechenprogrammes, erfolgen.

Die Bezugsgrösse für die Bestimmung des vom Hersteller zu deklarierenden k-Wertes ist im Rahmen der Europäischen Normierung noch nicht festgelegt worden. Sie sollte sicher über der Gleichgewichtsfeuchte der Mauersteine bei Lagerung bei 20°C und 60% relativer Luftfeuchte liegen. Gemäss DIN 52 620 (April 1991) wird in Deutschland z.B. der früher übliche «praktische Feuchtegehalt» für die Bestimmung eines Zuschlages auf die Wärmeleitfähigkeit ersetzt durch die Ausgleichsfeuchte bei 23°C und 80% relativer Luftfeuchte.

Neben der Umrechnung auf einen definierten Feuchtegehalt erfolgt eine weitere Umrechnung des Prüfwertes auf die normierten Wärmeübergangswiderstände. Um weiter unterschiedliche Verputztypen in der Praxis berücksichtigen zu können – wie z.B. ein äusserer Wärmedämmputz – sollte der vom Hersteller deklarierte k-Wert sich auf das unverputzte Mauerwerk beziehen oder normierte Werte von Innen- und Aussenputz beinhalten.

### Bestimmungen der EMPA für die Durchführung und Auswertung von k-Wert-Prüfungen im Labor

(Prüfreglement der EMPA)

#### Zweck der Prüfung:

Nachweis des k-Wertes gemäss Norm SIA 180, dass eine Anforderung erfüllt ist (z.B. SIA 380/1, kantonale Vorschriften). Verwendung der Prüfrésultate für Werbezwecke.

#### Vorgehen:

Die Prüfung erfolgt in der Abteilung Bauphysik, zuständiger Sachbearbeiter ist Herr Christoph Tanner. Es werden 1 ÷ 3 Prüfwände von 1.5 x 2.0 m Grösse hergestellt und in der kalibrierten k-

sen ist und im Zweifelsfall die Werte der EMPA massgebend sind.

Ein bedeutender Einfluss ist der Feuchtegehalt von Mauersteinen, Mörtel und Verputz. Die verschiedenen Arten von Mauersteinen zeigen im massgebenden hygroscopischen Bereich ein sehr unterschiedliches Verhalten, siehe Bild 5. Während z.B. Backstein durchwegs eine sehr geringe Menge Wasser anlagert, steigt die absorbierte Wassermenge für Porenbeton und zementgebundene Mauersteine beträchtlich mit zunehmender Umgebungsfeuchte, was sich entsprechend verschlechternd auf das Wärmedämmvermögen auswirkt. Solche Mauerwerke weisen auch ent-

sprechend längere Austrocknungsfristen nach der Herstellung auf.

Es ist nun besonders wichtig, den Feuchtezustand zu definieren, der einem vom Hersteller deklarierten k-Wert zugrunde liegt. Da in einer Prüfung der vorhandene Feuchtezustand erst nach der k-Wert-Messung durch Probenahmen bestimmt werden kann, sind u.U. mehrere Prüfungen mit unterschiedlichen Feuchtegehalten notwendig. Wenn für den Mauerstein-Baustoff die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Feuchtegehalt bekannt ist (z.B. aus der Literatur oder aufgrund von Grundlagenversuchen des Herstellers) kann eine Korrektur des Prüfwer-



Wert-Kammer nach ISO/DIS 8990 geprüft. Als Messergebnis wird der Wärmedurchlasswiderstand bestimmt. Dieser wird auf die vereinbarte Gleichgewichtsfeuchte der Mauersteine umgerechnet und damit der normierte k-Wert unter Berücksichtigung der normierten Werte von Aussen- und Innenputz und Wärmeübergangswiderstände (gemäss SIA 381/1 und SIA 180) berechnet. Die Anzahl der Versuche wird so festgelegt, dass eine Umrechnung der Messergebnisse auf die vereinbarte Gleichgewichtsfeuchte möglich ist und die Streuung der Mauerstein-Qualität enthalten ist.

Im allgemeinen erfordert dies 2 Prüfwände mit Mauersteinen aus verschiedenen Chargen und 2 bis 3 Messwerte bei unterschiedlicher Mauerfeuchte.

### Gleichgewichtsfeuchte:

Die vereinbarte Gleichgewichtsfeuchte ist klar aufzuführen. Fehlt eine Vereinbarung, wird der k-Wert auf die am Prüfende vorhandene, durch Bohrkerne bestimmte Feuchte bezogen.

### Prüfwände

#### Mauersteine

Es wird bestimmt:  
Dimensionen der Mauersteine (L x B x H) in mm  
Lochanteil in %  
Wassergehalt im Anlieferungszustand in Masse-%  
Rohdichte des Steines trocken in kg/m<sup>3</sup>  
Rohdichte des Steinscherbens trocken in kg/m<sup>3</sup>

#### Mauermörtel

Es wird bestimmt:  
Mörtelzusammensetzung in kg/m<sup>3</sup>  
vom Frischmörtel: Setzmass, Ausbreitmass, Luftporengehalt, Rohdichte  
Würfeldruck- und Biegezugfestigkeit an 4 x 4 x 16 cm-Prismen im Alter von 7 und 28 Tagen in N/mm<sup>2</sup>  
Rohdichte des Mauermörtels im Prüfalter in kg/m<sup>3</sup>

#### Verputz

Die Prüfwand wird aus versuchstechnischen Gründen beidseitig mit einem EMPA-Normputz von 12 + 15 mm Dicke versehen. Die für die Auswertung notwendigen Kennwerte werden von der EMPA angegeben. Der Verputz kann auch nach Absprache mit dem Auftraggeber je nach Mauerwerk in Abweichung davon festgelegt werden;

die Auswertung wird jedoch auch dann gemäss dem Abschnitt Auswertung vorgenommen.

### Herstellung der Prüfwände

Die Prüfwände können durch Personal der EMPA oder des Auftraggebers gemauert werden. Das Verputzen erfolgt durch die EMPA. Die Prüfwände lagern bis zur Prüfung bei (20 ± 2)°C, (50 ± 5) % r.F., wobei der Austrocknungsverlauf durch regelmässiges Wägen bestimmt wird. Der Prüfungstermin wird aufgrund des Austrocknungsverlaufes und des angestrebten Feuchtezustandes festgelegt. In jedem Fall beträgt die minimale Lagerungsdauer 6 Wochen.

### Prüfapparatur und Durchführung

Kurzbeschreibung und schematischer Querschnitt siehe Bild 4. Für die Auswertung sind die Messwerte im stationären Zustand massgebend. Je nach Masse (Speicherfähigkeit) des Prüfelementes kann die Einlaufdauer einige bis viele Tage dauern, Beispiele siehe Bild 6.

### Prüfresultate

Im Prüfbericht sind aufzuführen:

Kenngrossen der Materialien gemäss dem Abschnitt Prüfwände. Zeitlicher Ablauf der Prüfungen. Austrocknungsverlauf und Verlauf des Wärmestromes durch das Prüfelement während der Einlaufdauer (graphische Darstellungen).

Messwerte:

- beidseitige Temperaturen an der Oberfläche und der Luftschichten (als Einzelwerte und Mittelwerte) im stationären Zustand in °C
- relative Luftfeuchte der beidseitigen Luftschichten in %
- Strömungsgeschwindigkeit der beidseitigen Luftschichten in m/s
- gemessener Wärmestrom und Korrekturen für Kammer- und Rahmenverluste in W
- genaue Abmessungen der Prüfwand und der Wandschichten
- Feuchteverteilung nach der Prüfung gemäss dem folgenden Abschnitt und daraus mittlerer Feuchtegehalt der Prüfwand in Masse-%

*Bestimmung der Feuchteverteilung der Mauersteine ohne Mauermörtel nach k-Wert-Versuch:*

Entnahme von 2 x 4 Bohrkerne (von beiden Seiten, je 2 im oberen und unteren

Wandbereich), Aufteilung in die verschiedenen Wandschichten und Bestimmung des Feuchtegehaltes in Masse-% durch Trocknen im Ofen und Wägen.

### Auswertung

Die Auswertung besteht in den folgenden Berechnungsschritten. Mit den Grössen:

Wärmestrom durch Prüfwand  $\dot{Q}$  [W]  
Fläche der Prüfwand A [m<sup>2</sup>]  
Temperaturgefälle durch Prüfwand (Oberfläche - Oberfläche)  $\Delta\vartheta_0$  [K]  
Verputzdicke  $d_v$  [m]  
Mauerdicke ohne Verputz  $d_M$  [m]  
Wärmedurchlasswiderstand Verputz  $R_V = \frac{d_v}{\lambda_v}$  [m<sup>2</sup> K/W]

Wärmedurchlasswiderstand Prüfwand (mit Verputz) R [m<sup>2</sup> K/W]  
Wärmedurchlasswiderstand Prüfwand (ohne Verputz)  $R_M$  [m<sup>2</sup> K/W]

berechnet sich für jeden Versuch

$$R = \frac{A \cdot \Delta\vartheta_0}{\dot{Q}} \quad [\text{m}^2 \text{ K/W}]$$

$$R_M = R - R_{V_i} - R_{V_a} \quad [\text{m}^2 \text{ K/W}]$$

Umrechnung der Versuchswerte auf die vereinbarte Gleichgewichtsfeuchte ergibt  $R_F$ .

Normierter k-Wert:

$$k_{\text{Norm}} = \frac{1}{R_F + 0.22} \quad [\text{W/m}^2 \text{ K}]$$

(Der Widerstandswert 0.22 berücksichtigt normierte Verputze und Wärmeübergangswiderstände:

$$\frac{1}{\alpha_a} + \left(\frac{d_v}{\lambda_v}\right)_a + \left(\frac{d_v}{\lambda_v}\right)_i + \frac{1}{\alpha_i} = \frac{1}{20} + \frac{0.020}{0.87} + \frac{0.015}{0.7} + \frac{1}{8} = 0.22 \text{ W/m}^2 \text{ K})$$

Spezielle Verputze wie z.B. Leichtputze, Wärmedämmputze sind rechnerisch aufgrund der entsprechenden Rechenwerte zu berücksichtigen.

Adresse des Verfassers: *Ralph Sagelsdorff*, dipl. Ing. ETH/SIA, Rebrainstr. 63, 8624 Grüt.