

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 111 (1993)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Ersatzwärmeleitfähigkeitswerte: Werte für Luft in langen Hohlräumen  
**Autor:** Braun, Walter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78143>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

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

von Luft, zwei Drittel von Wasser durchströmt; die hygienischen Anforderungen definieren dieses Splitting. Die Werte in den Kühldecken: Die Temperatur der Primärluft vor der Kühldecke beträgt 16, am Austritt zum Raum als Zuluft 22°C. In einem typischen Fall beträgt die Raumluft 23°C und die Abluft, an der Öffnung, 25°C. Die Primärluft-Temperatur ist durch die zentrale Aufbereitungsanlage gegeben. Nach dem Umbau aller Räume wird die Zuluft mit 14°C gefahren. Das in den Kühlrippen (Sekundärkreis) fließende Wasser misst 17°C, dasjenige des primären Kreises, das in die Lamellen der Kühldecken eingespritzt wird,

13°C. (Bei 17°C Oberflächentemperatur an der Kühldecke, 60% relativer Feuchte und einer Raumtemperatur bis 26°C ist eine Kondensation ausgeschlossen.) In einem 20 m<sup>2</sup> grossen Büro werden stündlich 550 l Sekundärwasser und 140 l Primärwasser umgewälzt, wofür ein 1/2-Zoll-Rohr ausreicht.

Adresse des Verfassers: O. Humm, Ing. HTL, Edisonstrasse 22, 8050 Zürich.

## Ersatzwärmeleitfähigkeitswerte

Werte für Luft in langen Hohlräumen

**Rechenprogramme für die thermische Bauteilanalyse (z. B. ISO2-Programm, welches an der Ingenieurschule Brugg-Windisch entwickelt worden ist), werden Eingang in die europäische Normierung finden. Somit muss auch das «Hohlraumproblem» eine allgemein anerkannte, wissenschaftlich fundierte Lösung finden. Der folgende Beitrag zeigt einen Weg dazu.**

Für zweidimensionale Wärmeflussberechnungen an Fensterrahmen mit Hilfe von Computerprogrammen wer-

VON WALTER BRAUN,  
WINTERTHUR

den Ersatz-Wärmeleitfähigkeitswerte für Lufthohlräume benötigt. Dazu wurde bei der Firma Geilinger AG, Winterthur, ein einfaches Modell entwickelt. In Zusammenarbeit mit EMPA wurde im Mai 1991 eine kleine Tabellensammlung ([1], Figur 1) erstellt und, obwohl es sich um ein internes Dokument handelt, als Arbeitshilfsmittel einem kleinen Benutzerkreis zur Verfügung gestellt.

### Problemstellung

Die Mechanismen des Wärmeflusses in einem Lufthohlraum sind Wärmeleitung und Konvektion der Luft sowie infraroter Strahlungsaustausch zwischen den Umschliessungsflächen. Geometrische Anordnung, Temperaturverteilung

und Oberflächenbeschaffenheit der Umschliessungsflächen sind deshalb die bestimmenden Grössen.

Im Idealfall hat der hier zu untersuchende Hohlraum einen rechteckigen Vertikalschnitt und eine unendliche horizontale Ausdehnung. Die Seitenwände links und rechts sind je isotherm mit den Temperaturen  $\vartheta_1$  (kalte Seite) und  $\vartheta_2$  (warme Seite). Die obere Begrenzungsfläche ist wärmeleitend mit Temperatur  $\vartheta_3$  = konstant oder isolierend mit der Temperaturverteilung  $\vartheta_3 = \vartheta_3(x)$ . Entsprechendes gilt für die untere Begrenzung. Die Emissivität ist für jede Seite wählbar:  $\epsilon_1, \dots, \epsilon_4$ .

Gesucht ist der *Ersatz-Wärmeleitfähigkeitswert* (EWL) für den horizontalen Wärmefluss.

### Theoretische Grundlagen

Die horizontale Wärmeflussdichte ist bestimmt durch

$$q_{\text{hor}} = \lambda_{\text{hor}}^* \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) / d \quad (1)$$

mit  $q_{\text{hor}}$  = horizontale Wärmeflussdichte in [W/m<sup>2</sup>]

### Literatur

- [1] ARGE Amstein + Walthert, INTEP: Sparpotential beim Elektrizitätsverbrauch von zehn ausgewählten typischen Dienstleistungsgebäuden. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1990
- [2] INTEP: Energieverbrauch neuartiger Lüftungstechnischer Anlagen. Zürich 1991
- [3] Fanger: Ole Fanger, Laboratorium Heating and Air Conditioning, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby
- [4] Bauzeitung: Deutsche Bauzeitung, D-7000 Stuttgart 10

$d$  = Abstand zwischen der kalten und warmen Seite, in [m]

$\lambda_{\text{hor}}^*$  = Ersatz-Wärmeleitfähigkeitswert für horizontalen Wärmefluss, [W/mK]

$\vartheta_1$  = Temperatur kalte Seite, [°C]

$\vartheta_2$  = Temperatur warme Seite, [°C]

Die nach der hier vorgestellten Theorie berechneten Ersatz-Wärmeleitfähigkeitswerte  $\lambda_{\text{hor}}^*$  werden als Materialwerte in den erwähnten Wärmefluss-Berechnungsprogrammen eingesetzt. Im Unterschied zu den festen Materialien ist der EWL von Lufthohlräumen temperaturabhängig. Im Tabellenwerk werden anstelle der Temperaturen links und rechts die Mitteltemperatur  $\vartheta_m = (\vartheta_1 + \vartheta_2) / 2$  und die Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$  angegeben:

$$\lambda_{\text{hor}}^* (\vartheta_m, \Delta\vartheta)$$

Der horizontale Wärmetransfer setzt sich zusammen aus:

$$q_{\text{hor}} = q_{\text{hor, rad}} + q_{\text{hor, LK}} \quad (2)$$

mit  $q_{\text{hor, rad}}$  = Strahlungsanteil

$q_{\text{hor, LK}}$  = Anteil Leitung/Konvektion

Der Berechnung des *Strahlungsaustausches*  $q_{\text{hor, rad}}$  liegt folgende Vorstellung zugrunde: Die Wände links und rechts sind isotherm. Die Umschliessungs-

### Literatur:

- [1] Braun/Mathis, Ersatzwärmeleitfähigkeitswerte für Luft in langen Hohlräumen, unveröffentlichte Tabellensammlung, Geilinger AG/EMPA, Mai 1991.
- [2] Siegel/Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, McGraw-Hill, 1972.
- [3] Merker, Konvektive Wärmeübertragung, Springer, 1987.

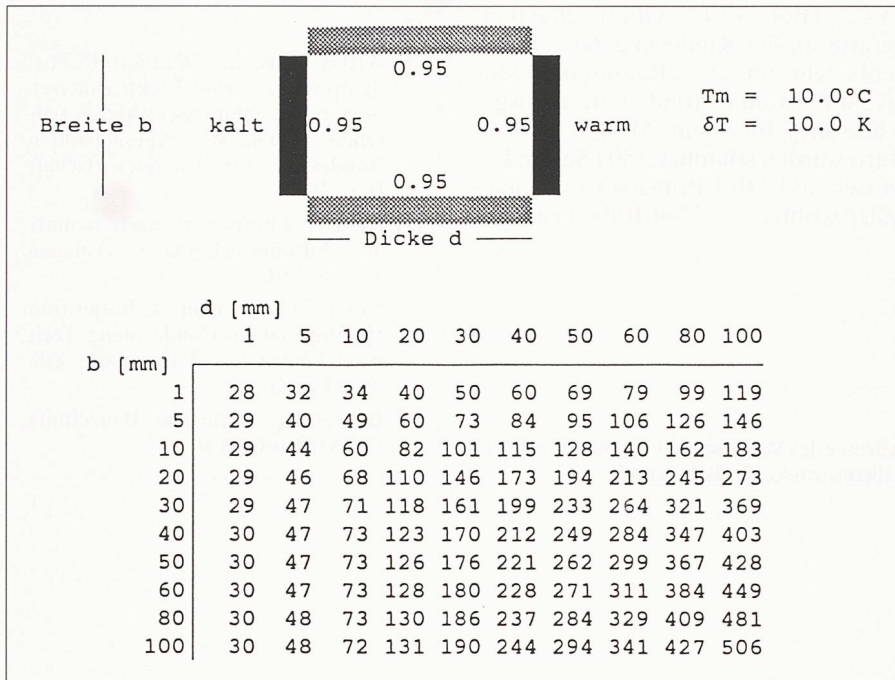


Bild 1. Ersatz-Wärmeleitfähigkeitswerte in  $[mW/(m\cdot K)]$  für die Berechnung des horizontalen Wärmeflusses in langen Lufthohlräumen mit isolierten Verbindungen zwischen der warmen und der kalten Seite (aus [1]). Die Emissionszahlen sind überall 0.95. Die tabellierte Zahlen sind Durchschnittswerte für die liegende und stehende Lage des Hohlräume.

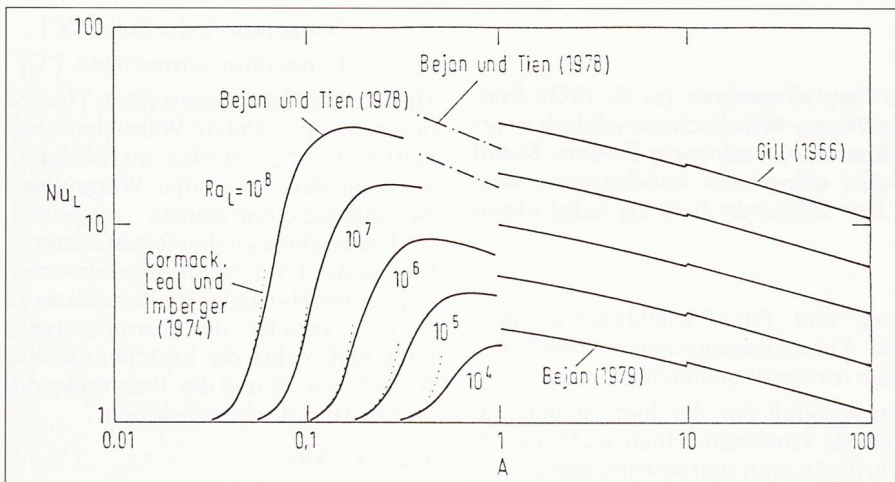


Bild 2. Nusseltzahl für den horizontalen Wärmefluss in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses  $A$  und der Rayleighzahl  $Ra$ . Aus Merker [3]

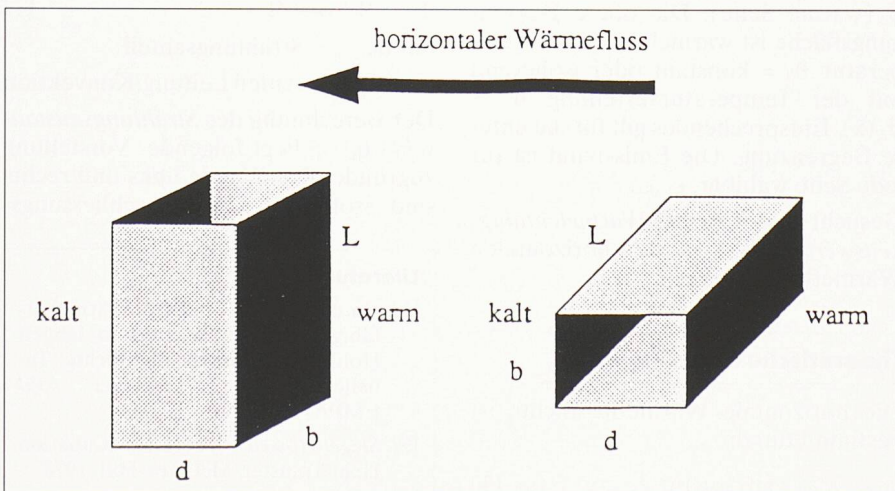


Bild 3. Stehender (links) bzw. liegender (rechts) langer Hohlraum und Richtung des betrachteten Wärmeflusses [1]

flächen oben und unten sind je in 10 Abschnitte aufgeteilt. Es wird die «Netto-Strahlungsaustausch-Methode» unter Zuhilfenahme der Konfigurationsfaktoren angewandt [2].

Der horizontale Wärmefluss durch Leitung/Konvektion ist gegeben durch:

$$q_{hor,LK} = \alpha \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad (3)$$

und

$$\alpha = \lambda_0 \cdot Nu_{hor} / d \quad (4)$$

mit  $\lambda_0 = 0.0241\text{ W/m}^\circ\text{K}$  = Wärmeleitfähigkeit für ruhende Luft

$Nu_{hor} = f(Ra, A)$  = Nusseltzahl

$Ra$  = Rayleighzahl

$A$  = Seitenverhältnis des Querschnitts der Konvektionszelle

Die Nusseltzahl für den horizontalen Wärmefluss durch Konvektionszellen mit unendlich ausgedehnter, horizontaler Rotationsachse,  $Nu_{hor}(Ra, A)$ , wird verschiedenen Untersuchungen, welche im Buch von Merker [3] dargestellt sind, entnommen (Figur 2).

### Praktische Anwendung

Die nach der oben dargelegten Theorie berechneten Ersatz-Wärmeleitfähigkeitszahlen sind für liegende Hohlräume (Figur 3) gut geeignet. Bei Fenster Rahmen kommen aber gleich viele stehende Hohlräume (z. B. in Pfosten) dazu. Der Strahlungsaustausch kann mit der gleichen, zuverlässigen Methode berechnet werden. Die Konvektion wird, mangels besserer Theorie, unter der Hypothese berechnet, die Konvektionszellen hätten ebenfalls eine unendlich lange, horizontale Drehachse. In Wirklichkeit ist die Konvektionszelle kurz, und die seitlichen Reibungskräfte wirken dämpfend. Das Modell ergibt deshalb Werte, welche den konvektiven Anteil  $q_{hor,LK}$  überschätzen. Bei praktischen Anwendungen liegt man so auf der sicheren Seite!

In vielen Fällen reicht es, die Grössenordnung der Ersatz-Wärmeleitfähigkeitszahl zu kennen (z. B. bei Metallprofilen). Daneben gibt es aber Situationen, bei denen ein genauere Wert erwünscht ist, beispielsweise, wenn es um die Frage geht, ob ein Hohlraum ausgeschäumt werden soll oder nicht.

Adresse des Verfassers: Dr. W. Braun, Geilinger AG, Grüzefeldstr. 47, 8401 Winterthur.

Frau K. Mathis, EMPA, hat in verdankenswerter Weise das Hohlraummodell überprüft und war für die Zusammenstellung der Tabellen besorgt.