

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 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: 28.01.2026

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 Kühlkammern (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 m² 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.

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

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 ϑ_1 (kalte Seite) und ϑ_2 (warme Seite). Die obere Begrenzungsfläche ist wärmeleitend mit Temperatur ϑ_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_{hor} = horizontale Wärmeflussdichte in [W/m²]

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

λ_{hor}^* = Ersatz-Wärmeleitfähigkeitswert für horizontalen Wärmefluss, [W/mK]

ϑ_1 = Temperatur kalte Seite, [°C]

ϑ_2 = Temperatur warme Seite, [°C]

Die nach der hier vorgestellten Theorie berechneten Ersatz-Wärmeleitfähigkeitswerte λ_{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.

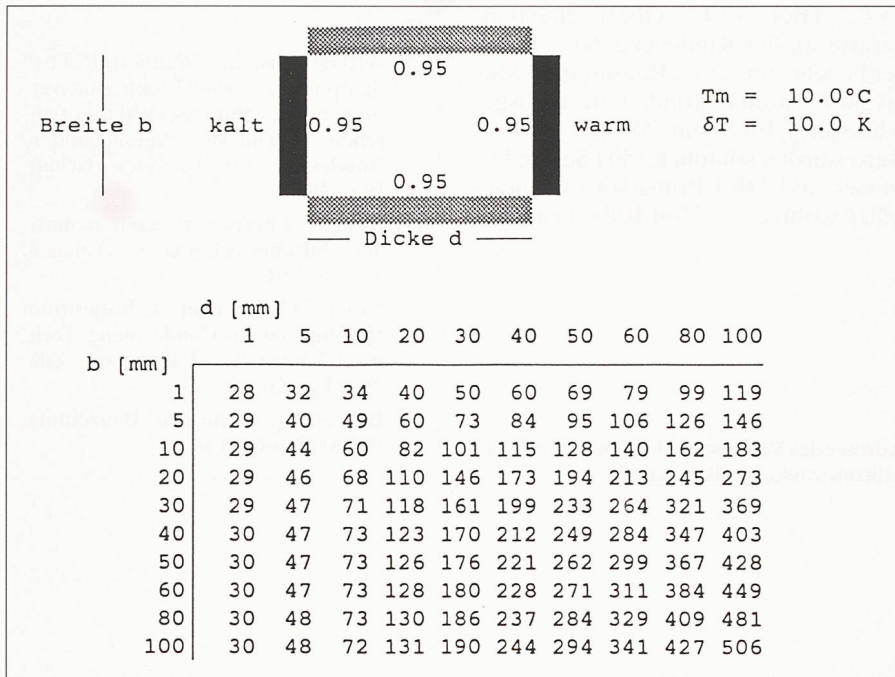


Bild 1. Ersatz-Wärmeleitfähigkeitswerte in $[mW/(m \cdot K)]$ für die Berechnung des horizontalen Wärmetransfers in langen Lufthohlräumen mit isolierten Verbindungen zwischen der warmen und der kalten Seite (aus [1]). Die Emissionszahlen sind überall 0.95. Die tabellierte Zahlen sind Durchschnittswerte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

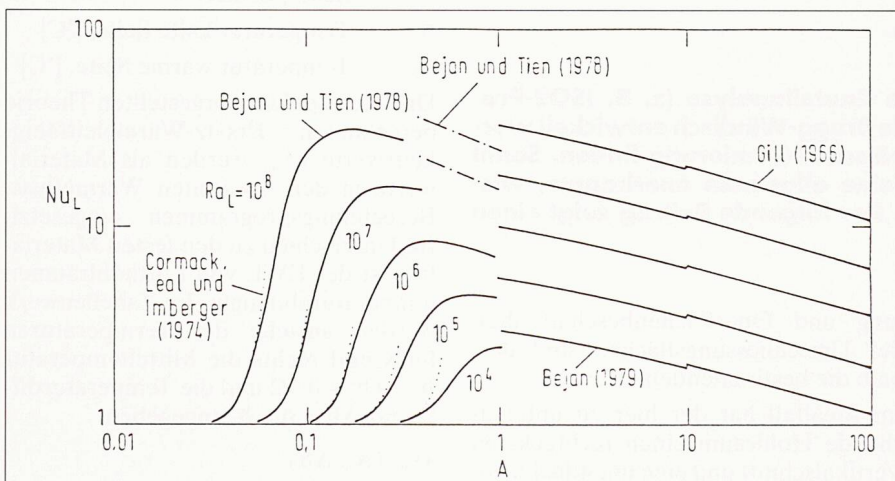


Bild 2. Nusseltzahl für den horizontalen Wärmetransfer in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses A und der Rayleighzahl Ra. Aus Merker [3]

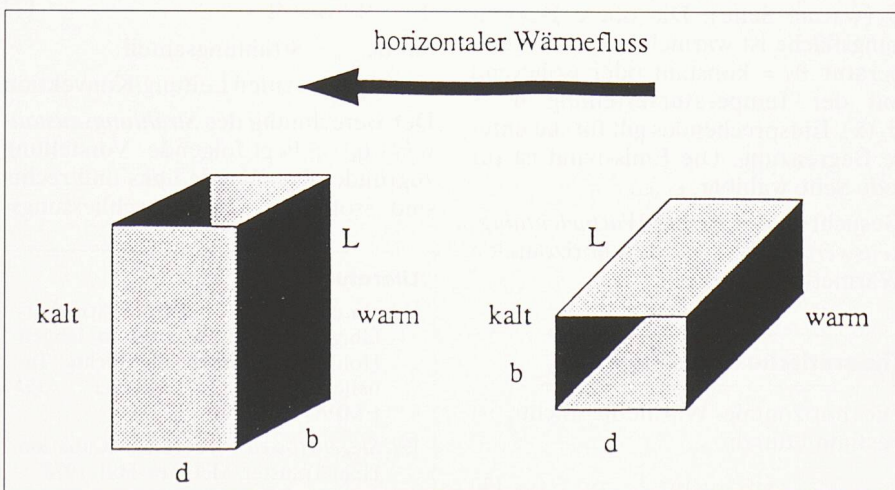


Bild 3. Stehender (links) bzw. liegender (rechts) langer Hohlraum und Richtung des betrachteten Wärmeflusses [1]

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

Der horizontale Wärmetransfer durch Leitung/Konvektion ist gegeben durch:

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

und

$$\alpha = \lambda_0 \cdot \text{Nu}_{\text{hor}} / d \quad (4)$$

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

$\text{Nu}_{\text{hor}} = f(\text{Ra}, A)$ = Nusseltzahl

Ra = Rayleighzahl

A = Seitenverhältnis des Querschnitts der Konvektionszelle

Die Nusseltzahl für den horizontalen Wärmetransfer durch Konvektionszellen mit unendlich ausgedehnter, horizontaler Rotationsachse, $\text{Nu}_{\text{hor}}(\text{Ra}, A)$, 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 gleichviele 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 $q_{\text{hor, LK}}$ 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 genauerer 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, Grüzfeldstr. 47, 8401 Winterthur.

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