Ersatzwärmeleitfähigkeitswerte: Werte für Luft in langen Hohlräumen

Autor(en): **Braun, Walter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **111 (1993)**

Heft 10

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-78143

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://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 Kühllamellen (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 ½-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.

VON WALTER BRAUN, WINTERTHUR

Für zweidimensionale Wärmeflussberechnungen an Fensterrahmen mit Hilfe von Computerprogrammen werden 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: $\epsilon_1..\epsilon_4$.

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

Theoretische Grundlagen

Die horizontale Wärmeflussdichte ist bestimmt durch

$$q_{hor} = \lambda^*_{hor} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)/d \qquad (1)$$

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 Termperaturen links und rechts die Mitteltemperatur $\vartheta_m = (\vartheta_1 + \vartheta_2)/2$ und die Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$ angegeben:

$$\lambda^*_{hor}(\vartheta_m, \Delta\vartheta)$$

Der horizontale Wärmetransfer setzt sich zusammen aus:

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

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

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

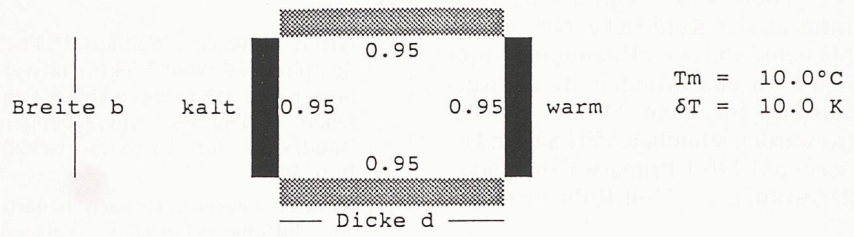
Der Berechnung des *Strahlungsaustausches* $q_{hor,\,rad}$ liegt folgende Vorstellung zugrunde: Die Wände links und rechts sind isotherm. Die Umschliessungs-

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.



b [mm] \ d [mm]	1	5	10	20	30	40	50	60	80	100
1	28	32	34	40	50	60	69	79	99	119
5	29	40	49	60	73	84	95	106	126	146
10	29	44	60	82	101	115	128	140	162	183
20	29	46	68	110	146	173	194	213	245	273
30	29	47	71	118	161	199	233	264	321	369
40	30	47	73	123	170	212	249	284	347	403
50	30	47	73	126	176	221	262	299	367	428
60	30	47	73	128	180	228	271	311	384	449
80	30	48	73	130	186	237	284	329	409	481
100	30	48	72	131	190	244	294	341	427	506

Bild 1. Ersatz-Wärmeleitfähigkeitswerte in [mW/(m·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 tabellierten Zahlen sind Durchschnittswerte für die liegende und stehende Lage des Hohlraums.

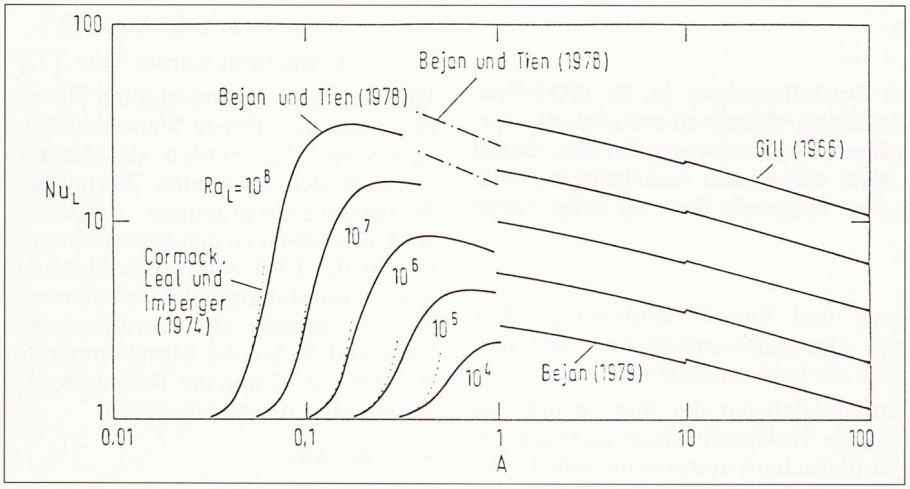


Bild 2. Nusseltzahl für den horizontalen Wärmetransfer in Abhängigkeit des Seitenverhältnisses A und der Rayleighzahl Ra. Aus Merker [3]

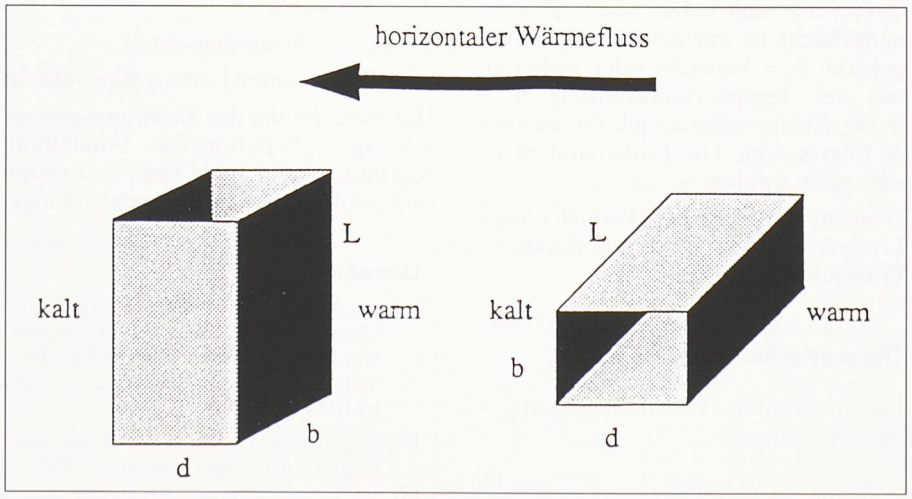


Bild 3. Stehender (links) bzw. liegender (rechts) langer Hohlraum und Richtung des betrachteten Wärmeflusses [1]

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:

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

und

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

mit λ_0 = 0.0241 W/m^K = Wärmeleifähigkeitszahl für ruhende Luft

NU_{hor} = f (Ra,A) = Nusseltzahl

Ra = Rayleighzahl

A = Seitenverhältnis des Querschnitts der Konvektionszelle

Die Nusseltzahl für den horizontalen Wärmetransfer 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 Fensterrahmen 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 Konvektionswalze 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 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, Grüzefeldstr. 47, 8401 Winterthur.

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