

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

**Artikel:** Lüftung und Sanierung: Quelllüftung und Kühldecken für etappenweise Sanierung  
**Autor:** Humm, Othmar  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78142>

### 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:** 15.01.2026

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

# Lüftung und Sanierung

Quelllüftung und Kühldecken für etappenweise Sanierung

**Viele lüftungstechnische Anlagen grosser Bürohäuser sind sanierungsbedürftig. Mit zunehmendem Alter lösen die Systeme, die oft in den sechziger Jahren installiert wurden, Reklamationen aus: «Es zieht», «zu warm» oder «zu wenig Luft» sind für den Hausdienst Alltagsbotschaften. Den zuständigen Fachleuten stellt sich das Problem, Systeme zur Lüfterneuerung und Klimatisierung mit kleineren Energiekosten und gleichzeitig grösserer Behaglichkeit zu planen und zu installieren. Oft ist die etappenweise Realisierung eine unabdingbare Voraussetzung.**

Höhere Komfortansprüche und grössere Wärmelasten waren die Gründe für neue Entwicklungen in der Lüftungs-

VON OTHMAR HUMM, ZÜRICH

und Klimatechnik. Spezifische interne Wärmegewinne über  $35 \text{ W/m}^2$  Bürofläche mit konventionellen Lüftungssystemen abzuführen, bedeutet unbehagliche Luftgeschwindigkeiten und zu tiefe Temperaturen der Zuluft. Zudem erzwingt bei vielen Systemen die Lage der Luftaustrittsöffnungen eine höchst unliebsame Anströmung der sich im Raum aufhaltenden Personen. Sogenannte Mischluftsysteme «drücken» die Zuluft mit hohen Geschwindigkeiten – bis zu  $2 \text{ m/s}$  – in den Raum, um eine möglichst gute Durchmischung zu erreichen. Der «windige» Zustand in derartigen Arbeitsräumen lässt sich durchaus rechnerisch belegen. Beispiel: Ein  $20 \text{ m}^2$

grosses Büro mit einer Kubatur von  $60 \text{ m}^3$  erfordert eine Kühlleistung von  $1 \text{ kW}$ , entsprechend  $50 \text{ W/m}^2$ . Falls die Zuluft  $8 \text{ K}$  kälter als die Raumluft ist, müssen stündlich  $400 \text{ m}^3$  Luft eingeblasen werden, um eine ausreichende Kapazität für die Wärmeentsorgung zu schaffen – mithin ein 6- bis 7-facher Luftwechsel. Bei einem Induktionsverhältnis von 20 – das heisst 20mal mehr Sekundär- als Primärluft – werden jede Stunde  $8\,000 \text{ m}^3$  Luft, entsprechend 130 Raumvolumina, umgewälzt. Fazit: Die Kühllastberechnung sollte keinesfalls die Grösse des Zuluftvolumenstroms bestimmen; die thermischen und stofflichen Raumlasten sind vorteilhaftweise entkoppelt. Nicht nur energetische, auch hygienische Nachteile haften den Mischluftsystemen an: Sie «verdünnen» die belastete Luft, eine ineffiziente Technik zur Verbesserung der Luftqualität. Vorhandene Luftverun-

## Prioritäre Massnahmen

Natürgemäss sind «vorsorgliche» Energiesparmassnahmen die ergiebigsten, weil gar keine Energienachfrage entsteht. Dazu gehört die Reduktion der externen und internen Wärmelasten. Sonnenschutz, Tageslichtnutzung, effizientere und geregelte Beleuchtung, weniger und verbrauchsärmere Geräte sowie energiebewusstes Verhalten der Raumnutzer sind die Stichworte dazu. Wo dies nicht ausreicht, ist der Aufwand zur Abführung der Kühllast durch die Wahl geeigneter Systeme und präzise Dimensionierung zu minimieren.

## Kriterien für Klimatisierungs- und Lüftungssysteme

- Behaglichkeit
- Hoher Lüftungseffekt bei geringem Aussenluftbedarf
- Etappenweise Realisierung
- Verwendung bestehender lüftungstechnischer Komponenten, Leitungs- und Kanalnetze
- Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten
- Entkopplung der thermischen und stofflichen Raumlasten
- Geringer thermischer und elektrischer Energiebedarf

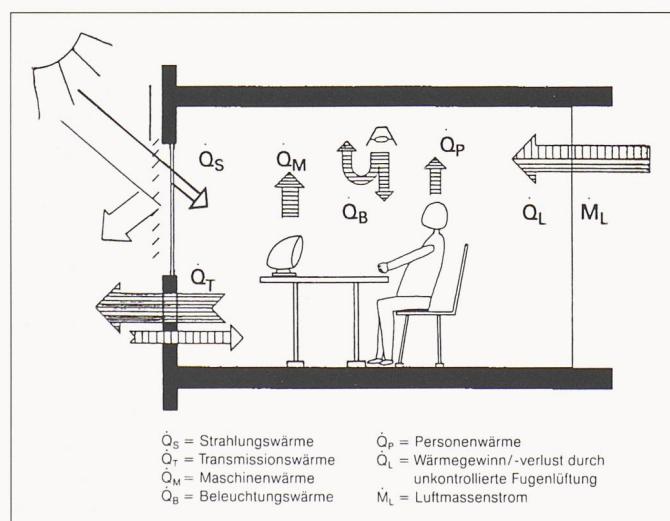


Bild 1. Wärmebilanz eines modernen Büroraumes. Quelle: Bauzeitung

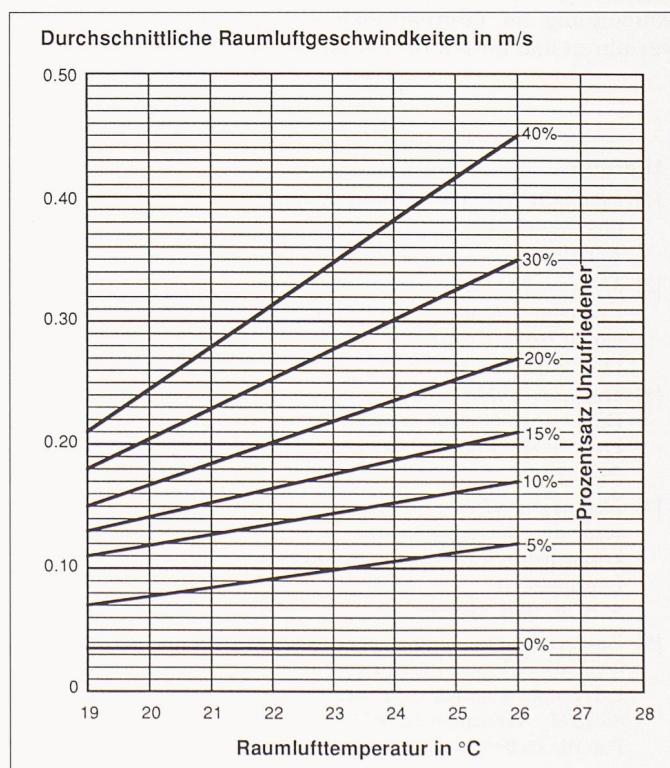


Bild 2. Anteil der «Unzufriedenen» in Abhängigkeit der Temperatur der Raumluft. Quelle: Fanger

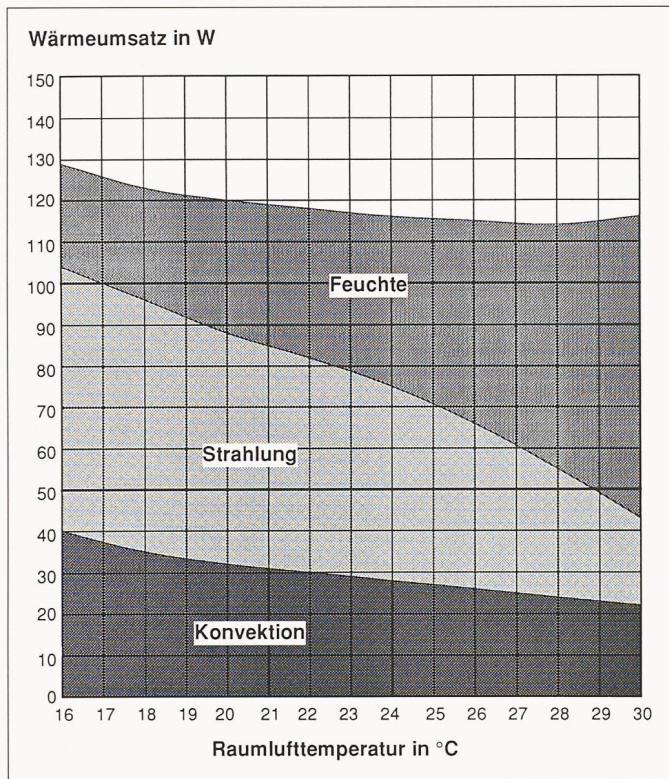


Bild 3. Wärmeabgabe des sitzenden Menschen in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur. Quelle: Fanger

reinigungen werden verteilt statt lokal abgesaugt. (Quelllüftungen, die Schadstoff-Emissionen mehr oder weniger gezielt wegführen, schneiden in dieser Beziehung besser ab.)

### Kühler Kopf, warme Füsse

Komfortable Lüftungssysteme unterstützen und nutzen die natürliche Luftströmung im Raum, die sogenannte raumeigene Dynamik. Quelllüftungen sind dafür ein gutes Beispiel. Die im Vergleich zum Raum 1 bis 2 K kühtere Zuluft strömt bei diesen Systemen laminar – also weitgehend ohne Turbulenzen – über grossflächige Öffnungen,

oft in Bodennähe, in den Arbeitsraum. Unabhängig von der Lage des Lufteintrittes bildet sich ein «Frischluftsee» in den untersten 50 cm des Raumes. Wärmequellen, Menschen und Geräte, aber auch warme Umschliessungsflächen, insbesondere der Fassade, erzwingen Auftrieb und Erwärmung kühler, unbelasteter Luft. Im obersten Bereich des Raumes, wo die Warmluft ein Polster bildet, befindet sich die Abluftöffnung. Derartige Quelllüftungssysteme haben sowohl hygienische als auch energetische Vorteile; es können aber nur geringe Kühllasten übernommen werden – bis zu 30 W/m<sup>2</sup>. Bei grösseren Lasten sind ergänzende Lösungen, beispielsweise mit Strahlungsflächen, zu suchen.

Mit Kühldecken greift man am Ort mit der grössten Wirkung in den Kreislauf ein. Denn die Raumluft strömt, bei gleichzeitig steigender Temperatur, von unten nach oben. Die grossen Wärmetauscherflächen erlauben relativ warme Medien, was exergetisch vorteilhaft ist und die Gefahr der Kondensation bannt. Trotzdem gilt, bei 18 bis 20°C an der Kühldecke, die alte Regel für ein angenehmes Klima: kühler Kopf und warme Füsse.

### Drei Gründe für Kühlflächen

Geringere umgesetzte Luftvolumen und damit kleinere Luftgeschwin-

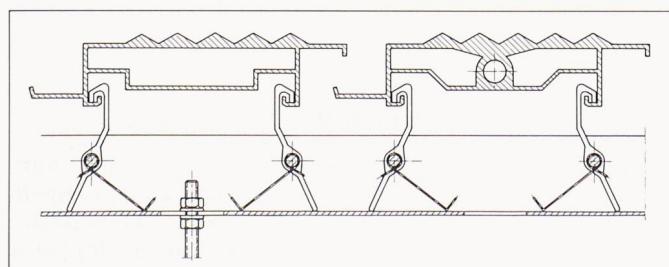


Bild 5. Profile von wasser- (links) und luftführenden Kühldeckenlamellen (rechts). Bild: BARCOL-AIR

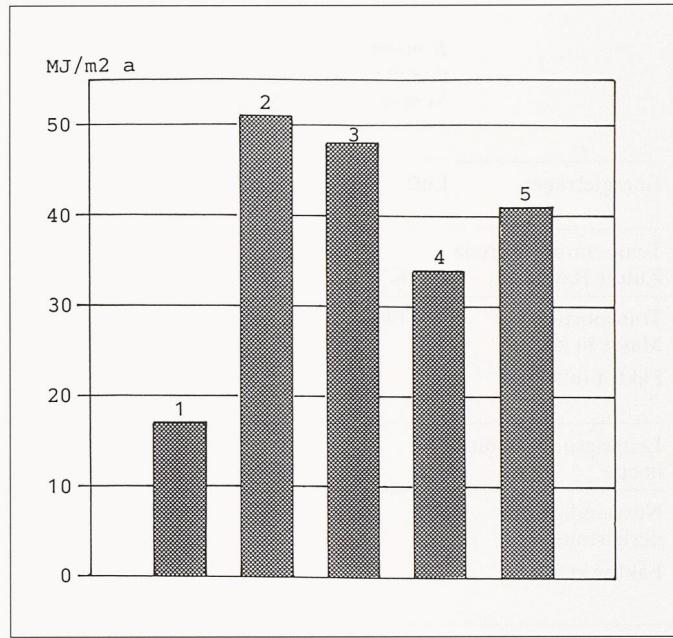


Bild 4. Jahresenergiebedarf verschiedener Klima- und Kühldeckensysteme. 1: Fensterlüftung mit Wasser-Kühldecke; 2: Mischlüftungssystem mit variablem Volumenstrom; 3: Quelllüftungssystem mit variablem Volumenstrom; 4: Quelllüftungssystem mit minimaler Außenluftzufuhr und Wasser-Kühldecke; 5: Quelllüftungssystem mit variablem Volumenstrom und Luft-Kühldecke. Quelle: INTEP



Bild 6. Chefbüro mit Kühldecke in einer Bank an der Zürcher Bahnhofstrasse. Bild: SBG

	Konventionelles System	Luft-System	Systeme mit Kühldecken		
			Wasser-System	Hybrides System	
Energieträger	Luft	Luft	Wasser	Luft Wasser	$\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$
Temperaturdifferenz Zuluft-Raumluft	8 K	14 K	3 K	Luft Wasser	14 K 3 K
Transportierte Masse in kg/s	0,124	0,071	0,080	Luft Wasser	0,024 0,053
Faktor in %	100	57,3	64,5	Luft Wasser	19,35 42,74
Leitungsquerschnitt in cm <sup>2</sup>	214	123	2	Luft Wasser	19,44 0,05
Notwendige Förderleistung in W	315	175	20	Luft Wasser	+ 5
Faktor in %	100	55	6	24	

Tabelle 1. Vergleich der konventionellen Klimatisierung und Systeme mit Kühldecken (Büro mit 20 m<sup>2</sup> Fläche und 1 kW Kühlleistung).

digkeiten, höherer Anteil von Kühlung durch Strahlung sowie möglichst niedrige Energiekosten führen zu Lösungen mit *Kühldecken*. Dabei werden drei Bauformen unterschieden: luftdurchströmte, wasserdurchströmte sowie hybride, also wasser- und luftdurchströmte Kühldecken. Das Kühlmedium Wasser bewirkt aufgrund der grossen Speicherfähigkeit – nur noch Wasserdampf und Helium können mehr spezifische Energie aufnehmen – ein sehr gutes Platz/Leistungs-Verhältnis. Für denselben Wärmetransport muss, bezogen auf das Volumen, tausendmal mehr Luft gefördert werden als Wasser. Oder:

Nur etwa sechs Prozent des Stromes einer leistungsgleichen Warmluft-Klimaanlage benötigen die Umwälzpumpen einer Wasserkühlung. Fazit: Luft ist für den Transport von Wärme sehr teuer. Deshalb werden Wärmelasten über 60 W/m<sup>2</sup> vorteilhafterweise über Wasserleitungen entsorgt, wobei ergänzend folgende Faustregeln gelten: Bei spezifischen Wärmelasten unter 35 W/m<sup>2</sup> stehen Kühldecken allgemein, unter 50 W/m<sup>2</sup> die wasserführenden und über 70 W/m<sup>2</sup> die luftführenden Systeme nicht zur Diskussion. Bei Wärmelasten zwischen 20 und 35 W/m<sup>2</sup> sind andere Massnahmen wirtschaftlicher, beispielsweise gezielte Nachtkühlung oder konventionelle Lüftungsanlagen kombiniert mit einer Kältemaschine.

### Beteiligte Körperschaften

Bauherrschaft und Planung:	Schweizerische Bankgesellschaft Planung Gebäude-technik, 8021 Zürich
Projektleitung und Auskunft:	Heinrich Kozakiewicz
Lüftungstechnische Anlagen:	K. Hottinger, 8002 Zürich
Kühldeckensysteme:	Barcol-Air AG, 8712 Stäfa

### Preisauszeichnung

Im Energiewettbewerb ENECO ist der 1. Preis der Kategorie Planer für die Entwicklung dieses Lüftungs- und Klimatisierungssystems Heinrich Kozakiewicz zuerkannt worden. Das Preisgericht, in dem unter anderen der ETH-Stromsparprofessor Daniel Spreng Mitglied ist, bewertete die Arbeit des Preisträgers als «innovativer und origineller Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs».

bzw. Kühlwasser mit einer Vorlauf-temperatur von 40, bzw. 12 sowie 16°C warmer Zuluft.

### Verhältnisse vorher

Die Zuluftanlage fördert Aussenluft, auch als Primär Luft bezeichnet, über Wärmerückgewinnung, Vorwärmer, Befeuchter, Zonen-Nachwärmern bzw. Zonen-Kühler schliesslich durch die Klima-Konvektoren in die Büroräume. Mit hoher Geschwindigkeit tritt die 16°C warme Primär Luft aus den Düsen, erzeugt einen Sog und induziert damit eine achtmal grössere Menge Raumluft (Sekundär Luft). Die Primär Luft treibt sozusagen einen rauminternen «Umluft-Betrieb» an. Wahlweise wird die Sekundär Luft im Wärmetauscher erwärmt, gekühlt oder gar nicht beeinflusst; das heisst, je nach Jahreszeit fliesst Wasser mit einer Temperatur von 40 respektive 12°C durch den Wärmetauscher, oder der Kreislauf ist unterbrochen.

### Randbedingungen des Umbaus

Die 1960 im Hauptgebäude einer Bank an der Zürcher Bahnhofstrasse installierte Klimakonvektoranlage mit zwei Leitern, die alternierend Kühl- oder Heizwasser führen, erfüllte die aktuellen Anforderungen in bezug auf Kühlleistung und Komfort nicht mehr. An eine Ausräumung des Gebäudes oder auch einzelner Trakte zum Einbau neuer Systeme war indessen nicht zu denken. Es kam nur ein etappenweiser Umbau mit Losen von ein bis zwei Büroräumen in Frage. Zudem war für den Einbau grösserer Kanalquer-schnitte kein Platz vorhanden. Für die Haustechnik- und Lüftungsfachleute stellte sich das Problem, eine verbesserte Lufterneuerung und Klimatisierung mit den im Raum verfügbaren Medien zu realisieren, nämlich Heiz-

	Abwärme W	%
Konvektion	30	25
Strahlung	52	44
Feuchte (Strahlung)	36	31
Summe	118	100

Tabelle 2. Wärmeumsatz des Menschen bei einer Raumtemperatur von 22 °C. Der sitzend arbeitende Mensch verliert nur gerade einen Viertel seiner Wärme über Konvektion, fast die Hälfte, nämlich 44 Prozent, über Strahlung, der Rest ist Verdunstungswärme (die Angaben beziehen sich auf eine Raumtemperatur von 22 °C). Die Physik des Menschen sagt nur bedingt etwas über die geeignete Abführung aller Wärmelasten, weil Geräte und Solarstrahlung sich anders verhalten. Immerhin zeigt sie die Richtung für komfortable Kühl-systeme an: Rund die Hälfte der Kühlung müsste durch Strahlungsflächen erbracht werden

### Und nachher

Durch den Umbau wurden die Funktionen Heizen und Kühlen entkoppelt: Anstelle des Klima-Konvektors ist der Wasserkreislauf mit einem Radiator verbunden, der aufgrund der relativ geringen Vorlauftemperatur von 40°C grossdimensioniert sein muss (Nutzung von Abwärme der Kältemaschinen). Selbstverständlich ist dieser Kreislauf ausserhalb der Heizperiode ausser Betrieb. Die Wärmelast von 40 bis 55 W/m<sup>2</sup> wird von der Kühldecke entsorgt, die 70% der gesamten Deckenfläche ausmacht. Ein Drittel der Kühldecke wird

von Luft, zwei Drittel von Wasser durchströmt; die hygienischen Anforderungen definieren dieses Splitting. Die Werte in den Kühldecken: Die Temperatur der Primär Luft 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 Primär Luft-Temperatur ist durch die zentrale Aufbereitungsanlage gegeben. Nach dem Umbau aller Räume wird die Zuluft mit 14°C gefahren. Das in den Kühlzellen (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.

## 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 «Hohlräumproblem» 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 Tabellenammlung ([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 Lufthohlräum sind Wärmeleitung und Konvektion der Luft sowie infraroter Strahlungsaustausch zwischen den Umschliessungsflächen. Geometrische Anordnung, Temperaturvertei-

lung und Oberflächenbeschaffenheit der Umschliessungsflächen sind deshalb die bestimmenden Grössen.

Im Idealfall hat der hier zu untersuchende Hohlräum einen rechteckigen Vertikalschnitt und eine unendliche horizontale Ausdehnung. Die Seitenwände links und rechts sind je isotherm mit den Temperaturen  $\vartheta_1$  (kalte Seite) und  $\vartheta_2$  (warmer Seite). Die obere Begrenzungsfläche ist wärmeleitend mit Temperatur  $\vartheta_3 = \text{konstant}$  oder isolierend mit der Temperaturverteilung  $\vartheta_3 = \vartheta_3(x)$ . Entsprechendes gilt für die untere Begrenzung. Die Emissivität ist für jede Seite wählbar:  $\epsilon_{1..4}$ .

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>]

$d$  = 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 Tabellenammlung, Geilinger AG/EMPA, Mai 1991.
- [2] Siegel/Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, McGraw-Hill, 1972.
- [3] Merker, Konvektive Wärmeübertragung, Springer, 1987.