

**Infrared Heating Systems, Europe Ltd.**

**Theoretische Untersuchung des Strahlungsanteils einer senkrechten Flächenheizung**

September 2009

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	3
2	Aufgabenstellung.....	3
3	Einleitung.....	3
4	Wärmeübertragung.....	4
4.1	Konvektion.....	4
4.2	Strahlung .....	5
4.3	Wärmedurchgang.....	6
5	Ermittlung des Strahlungsanteils .....	7
6	Vergleich mit realen Messdaten .....	8
7	Literatur .....	10

## 1 Zusammenfassung

Von einer senkrecht angeordneten Flächenheizung wird bei einer mittleren Oberflächentemperatur von 70 °C ca. bezogen auf die Gesamtwärmeleistung 50% Wärme in Form von Strahlung an den Raum abgegeben, wenn dieser eine Temperatur von 20 °C besitzt.

Nur bei sehr geringen Übertemperaturen, wie bei einer Niedertemperatur-Wandheizung, und bei Oberflächentemperaturen deutlich über 300 °C ergeben sich Strahlungsanteile von über 70%.

## 2 Aufgabenstellung

Für die Firma **Infrared Heating Systems, Europe Ltd.**, Magdeburger Str. 12, 35041 in Marburg/Werda soll am Beispiel einer senkrecht angeordneten Flächenheizung der an den Raum abgegebene Anteil an Wärmestrahlung im Verhältnis zur gesamten Wärmeabgabe theoretisch ermittelt werden.

## 3 Einleitung

Im Rahmen dieser Untersuchung wird eine senkrechte, unmittelbar an einer Wand angeordnete Flächenheizung mit der Kantenlänge von 1 m x 1 m betrachtet. Bei unterschiedlichen Oberflächentemperaturen der Heizfläche wird der durch Konvektion, Strahlung und Wärmedurchgang an die unmittelbare Umgebung übertragene Wärmestrom theoretisch ermittelt und daraus der Strahlungsanteil bestimmt. Bei der Berechnung der unterschiedlichen Wärmeübertragungsanteile wird von einer gleichmäßigen Oberflächentemperaturverteilung der Flächenheizung ausgegangen.

## 4 Wärmeübertragung

### 4.1 Konvektion

Der von einer beheizten Fläche ausgehende konvektive Wärmestrom berechnet sich entsprechend nachstehender Gleichung

$$\dot{Q}_{\text{Konv.}} = \alpha A_1 (t_1 - t_2) \quad (\text{G 4.1})$$

$A_1$	Fläche der Flächenheizung	$[\text{m}^2]$
$t_1$	Temperatur der Heizfläche	$[\text{°C}]$
$t_2$	Raumlufttemperatur	$[\text{°C}]$
$\alpha$	Wärmeübergangskoeffizient	$[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$

Im Allgemeinen schwierig ist die Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$ . Für eine senkrechte angeordnete Flächenheizung jedoch kann der Wärmeübergangskoeffizient bei turbulenter Strömung in guter Näherung wie folgt bestimmt werden:

$$\alpha = 0,14 \lambda \sqrt[3]{\frac{g (t_1 - t_2)}{[(273,15 + t_2)] v^2 Pr}} \quad (\text{G 4.2})$$

$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit	$[\text{W}/(\text{m K})]$
$t_1$	Temperatur der Heizfläche	$[\text{°C}]$
$t_2$	Raumlufttemperatur	$[\text{°C}]$
$\nu$	Kinematische Viskosität	$[\text{m}^2/\text{s}]$
$Pr$	Prandtlzahl	$[-]$
$g$	Gravitationskonstante	9,81 $\text{m}/\text{s}^2$

## 4.2 Strahlung

Der durch Strahlung zwischen den Flächen  $A_1$  und  $A_2$  ausgetauschte Wärmestrom ist:

$$\dot{Q}_{\text{str.}} = A_1 \frac{C_s}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \Phi_{12} (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{G 4.3})$$

$T_1$	Temperatur der Heizfläche	[K]
$T_2$	Temperatur der Raumumschließungsflächen	[K]
$C_s$	Strahlungskonstante des schwarzen Körpers	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$
$\varepsilon_1, \varepsilon_2$	Emissionsverhältnis	[-]
$\Phi_{12}$	Einstrahlzahl	[-]
$A_1$	Fläche der Flächenheizung	$[\text{m}^2]$
$A_2$	Fläche des Umgebenden Raumes	$[\text{m}^2]$

Die in Gleichung (G 4.3) enthaltene Einstrahlzahl

$$\Phi_{12} = \frac{1}{\pi A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{s^2} dA_1 dA_2 \quad (\text{G 4.4})$$

ist 1, wenn die Fläche  $A_1$  von der Fläche  $A_2$  vollständig umschlossen wird. Diese Bedingung ist bei einer senkrecht angeordneten Flächenheizung erfüllt. Die Emissionsverhältnisse der Flächenheizung  $\varepsilon_1$  und des Raumes  $\varepsilon_2$  werden im Rahmen dieser Betrachtung als konstant mit 0,95 angenommen.

### 4.3 Wärmedurchgang

Neben der Wärmeabgabe in Form von Strahlung und Konvektion wird auch ein kleiner Teil der Gesamtwärme durch die Wand, an der die senkrechte Flächenheizung sich befindet, hindurch geleitet und an die folgende Umgebung übergeben. Dies ist sowohl bei der Außenwand als auch bei der Innenwand der Fall.

$$\dot{Q}_{\text{Durchg.}} = UA_1(t_1 - t_U) \quad (\text{G 4.5})$$

U	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/(m <sup>2</sup> K)]
A <sub>1</sub>	Fläche der Flächenheizung	[m <sup>2</sup> ]
t <sub>1</sub>	Temperatur der Heizfläche	[°C]
t <sub>U</sub>	Umgebungstemperatur	[°C]

Für die Bestimmung des durch Wärmedurchgang abgegebenen Wärmestroms wird im Folgenden von einer Innenwand mit einem U-Wert von 1 W/(m<sup>2</sup>K) ausgegangen. Der angrenzende Raum soll eine Temperatur von 20 °C haben.

## 5 Ermittlung des Strahlungsanteils

Aus den Gleichungen entsprechend Abschnitt 4 kann der Strahlungseinteil einer senkrechten Flächenheizung wie Folgt bestimmt werden:

$$\alpha = \frac{\dot{Q}_{Str.}}{\dot{Q}_{Ges.}} \quad (G 5.1)$$

mit

$$\dot{Q}_{Ges.} = \dot{Q}_{Str.} + \dot{Q}_{Konv.} + \dot{Q}_{Durchg.} \quad (G 5.2)$$

In Tabelle 1 ist für Oberflächentemperaturen von 50 °C bis 300 °C der Strahlungsanteil aufgeführt. Bei einer Oberflächentemperatur von 70 °C liegt demnach der Strahlungsanteil bei 48%. Würde man von einer optimalen (adiabaten) Wärmedämmung auf der Rückseite der Flächenheizung Ausgehen, steigt der Strahlungsanteil bei gleicher Oberflächentemperatur auf 52%. Strahlungsanteile größer 60% stellen sich erst bei Oberflächentemperaturen größer 250 °C ein.

$t_1$ [°C]	$t_2$ [°C]	$\dot{Q}_{Konv.}$ [W]	$\dot{Q}_{Str.}$ [W]	$\dot{Q}_{Durchg.}$ [W]	$\dot{Q}_{Ges.}$ [W]	$\alpha$ [-]
50	20	156	181	30	366	49
60	20	227	253	40	520	49
70	20	304	332	50	686	48
80	20	385	419	60	864	48
90	20	470	513	70	1054	49
100	20	559	616	80	1254	49
110	20	650	727	90	1467	50
120	20	744	847	100	1690	50
150	20	1038	1266	130	2434	52
200	20	1564	2192	180	3936	56
250	20	2122	3464	230	5816	60
300	20	2705	5157	280	8142	63

**Tabelle 1:** Strahlungsanteil einer senkrechten Flächenheizung mit einer Übertragungsfläche von 1 m<sup>2</sup> in Abhängigkeit unterschiedlicher Oberflächentemperaturen. (Emissionsverhältnisse konstant 0,95, U-Wert der angrenzenden Innenwand 1 W/(m<sup>2</sup>K), Temperatur des Nachbarraumes 20 °C.)

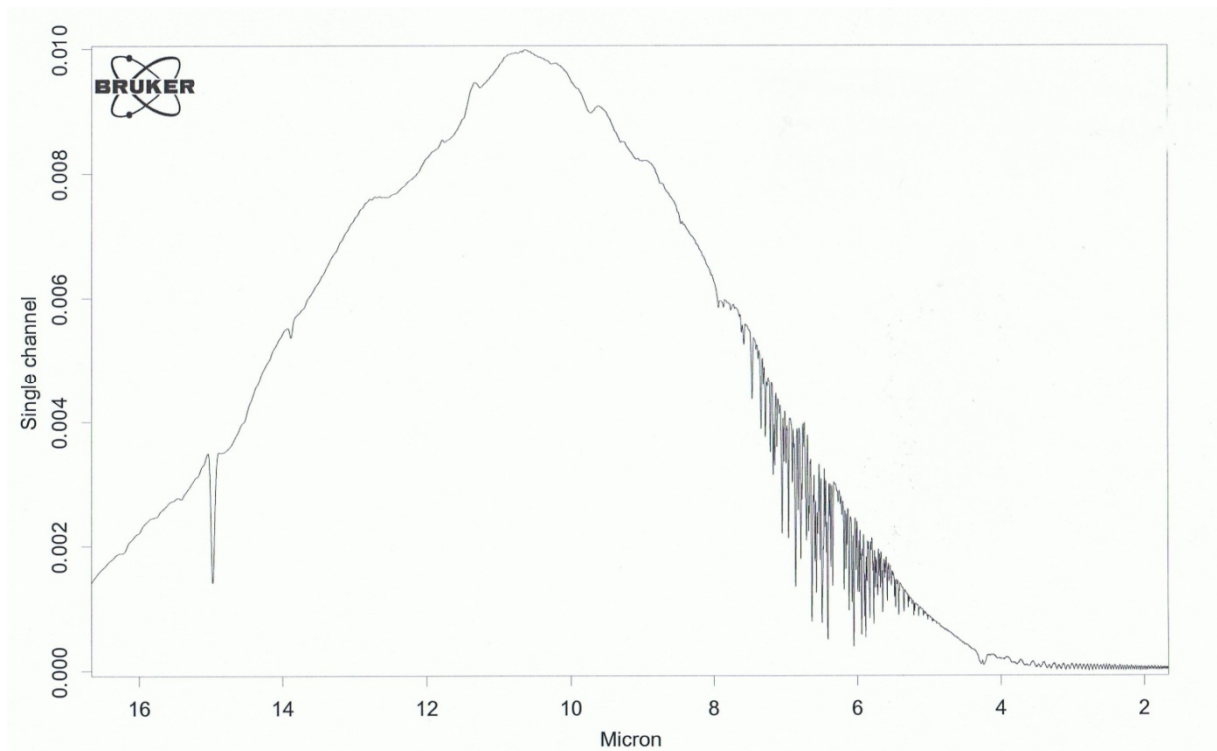
Aufgrund der relativ hohen Oberflächentemperatur von über 50 °C ist die sich einstellende Konvektionsströmung turbulent. Bei einer großflächigen Wandheizung (Niedertemperaturheizung) sind die Oberflächentemperaturen deutlich geringer (25 °C bis 30 °C). Es stellt sich eine laminare Konvektionsströmung mit reduzierten Wärmeübertragungskoeffizienten ein. In diesem Fall kann der Strahlungsanteil theoretisch über 70% betragen. Allerdings sinkt die abgegebene Wärme pro Quadratmeter auf Werte von rund 50 W/m<sup>2</sup>. Wie aus Tabelle 1 entnommen werden kann, beträgt die Wärmeabgabe pro Quadratmeter bei einer Oberflächentemperatur von 70 °C mehr als 600 W.

## 6 Vergleich mit realen Messdaten

In einer früheren Untersuchung wurde mit einem geeigneten Messgerät die elektrische Leistungsaufnahme der Heizbilder der Firma **Infrared Heating Systems, Europe Ltd.** bei einer Oberflächentemperatur von rund 80 °C mit 470 W bestimmt. Die elektrisch aufgenommene Leistung der Heizbilder der Firma **Infrared Heating Systems, Europe Ltd.** wird zu 100% in Wärmeenergie umgewandelt. Aus Tabelle 1 entnimmt man bei einer Temperatur von 80 °C eine Gesamtleistung von 864 W bezogen auf einen Quadratmeter. Dieser Wert ist mit der Fläche des Heizbildes (0,54 m<sup>2</sup>) zu multiplizieren:  $864 \text{ W/m}^2 \cdot 0,54 \text{ m}^2 = 467 \text{ W}$ . Somit stimmt die theoretisch und Messtechnisch ermittelte Wärmeleistung gut überein.

Die Strahlung, die von dem Heizbild der Firma **Infrared Heating Systems, Europe Ltd.** ausgeht, besitzt bei 300 K eine maximale Wellenlänge von rund 10 µm, siehe auch Bild 1. Zum Vergleich: Sichtbares Licht liegt in einem Wellenlängenbereich von 0,4 bis 0,8 µm. Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) beginnt ab einer Wellenlänge größer 0,8 µm und endet bei einer Wellenlänge von 800 µm.





**Bild 1:** Wellenlänge der von dem Heizbild der Firma **Infrared Heating Systems, Europe Ltd** abgegebenen Wärmestrahlung. Gemessen an der Philipps Universität in Marburg am 07.08.2009.

## 7 Literatur

### Fachbücher

- [1] Rietschel, H.: Raumklimotechnik (1. Grundlagen). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 1994
- [2] Recknagel, H.; E. Sprenger; E.-R. Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag 1997
- [3] Wagner, W.: Wärmeübertragung. Würzburg: Vogel, 1993.
- [4] VDI-Wärmeatlas. 7. Auflage 1994
- [5] Glück, B.: Berechnung der Einstrahlzahlen in einem Neuartigen Raummodell. gi Gesundheits-Ingenieur 3/1997