Bemessung und Anordnung von Gas-Infrarotstrahlern bei Vollraumheizung

Dr. sc. techn. B. GLÜCK
VEB Kombinat Technische Gebäudeausrüstung – Institut –

Die für die Bemessung von Strahlungsheizungen zu verwendenden Algorithmen bereiten dem Erstbenutzer in der Handhabung gewöhnlich Schwierigkeiten. Einen relativ breiten Anwendungsgrad haben bisher die Auslegungsvorschriften für Strahlplattenheizungen gefunden. So ist die Berechnung von Einstrahlzahlen zum Nachweis der Behaglichkeit unter Beachtung der Oberflächentemperaturen nunmehr allgemeines Gedankengut geworden.

Für die Bemessung von Gas-Infrarotstrahlern wurden den Projektanten bisher Berechnungswege vorgegeben, die zwar mitunter von den gleichen physikalischen und wärmephysiologischen Überlegungen ausgehen, deren Abarbeitungsgang sich jedoch völlig verändert darstellt und die Projektanten zur erneuten Einarbeitung zwingt. Um dies zu vermeiden, wurden Überlegungen und Untersuchungen angestellt, mit dem Ziel, die Bemessung von Gas-Infrarotstrahlern analog der Auslegung von Strahlplattenheizungen zu gestalten.

Strahlungsverteilung und Oberflächentemperatur der Gas-Infrarotstrahler

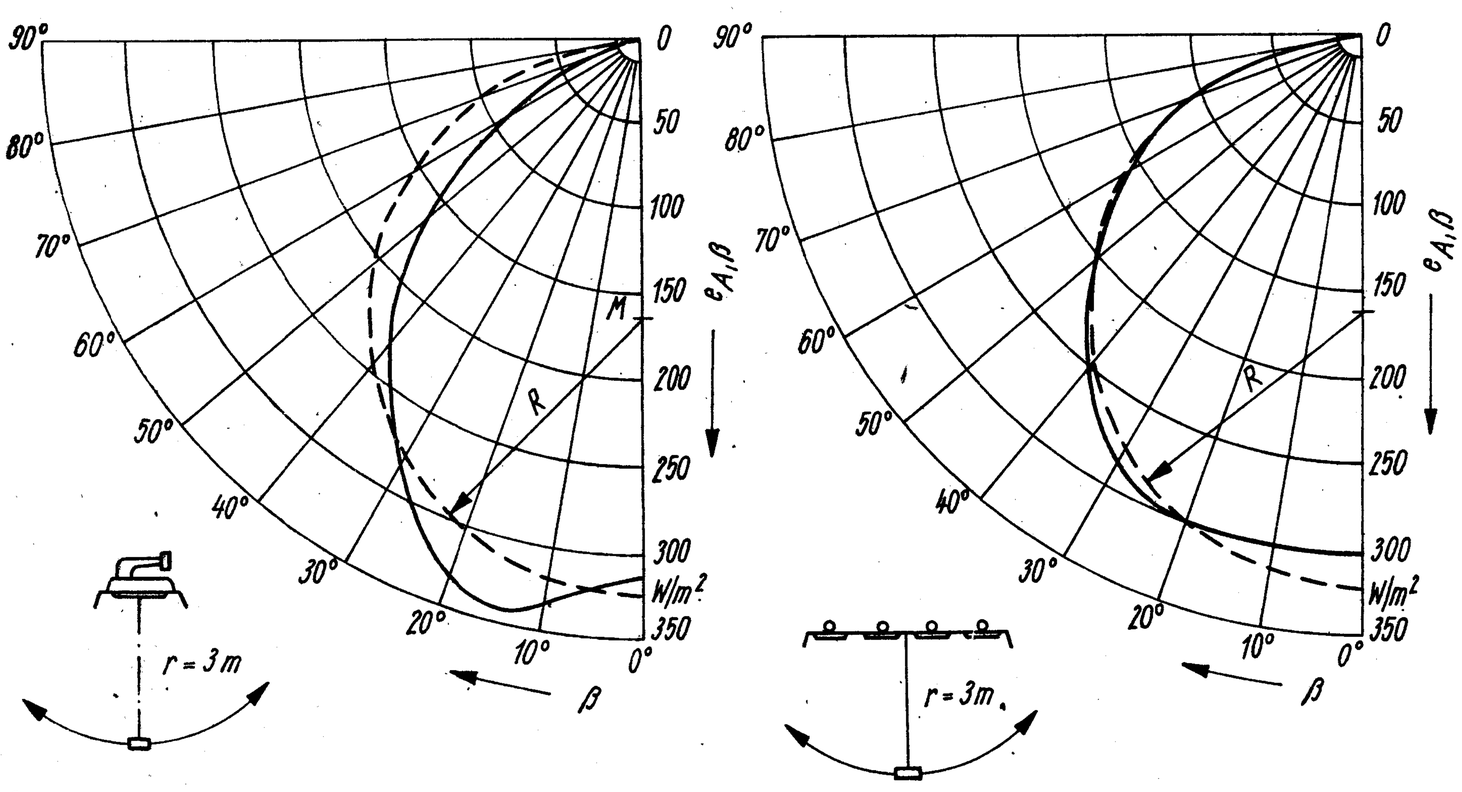
Im Bild 1 sind die Verteilungskurven für den Gasstrahler Typ IG 401 mit vier Brennereinsätzen wiedergegeben. Die spezifischen Energieströme sind auf eine Fläche bezogen, die sich im radialen Abstand von $r = 3$ m befindet. Der Gasstrahler ist im Bild 2 dargestellt. Da die Glühplatte relativ groß gegenüber der Reflektoröffnung ist und der Reflektor auch keine parabolische Form aufweist, weichen beim Gasstrahler die Strahlungsverteilungen auch nur geringfügig von der Verteilung nach dem *Lambert*schen Kosinusgesetz ab. Die Energieverteilung nach dieser Gesetzmäßigkeit ist aus Bild 3 ersichtlich. Wird diese Darstellung in das meßtechnisch ermittelte Strahlungsdiagramm übertragen, so ergibt sich beim Radius R eine gute Annäherung. Dies bedeutet, daß Gasstrahler für Nachrechnungen, die keine absolute Genauigkeit fordern, ohne weiteres als graue Strahler betrachtet werden dürfen. (Es wäre allerdings zu ungenau, wenn aus einer einzigen Messung des spezifischen Energiestromes $e_{\Omega,\beta}$ auf die emittierte Gesamt-Energie geschlossen würde.)

Für die Berechnung der Oberflächentemperatur gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten. Entweder es werden die Oberflächentemperatur des Glühkörpers t und dessen Fläche A angesetzt, oder die vom Reflektorrand aufgespannte Öffnungsfläche A^* wird als Heizfläche betrachtet und zugehörig wird eine fiktive Temperatur t^* ermittelt. Letzteres Verfahren ist praktikabler, da die Geometrie der Reflektoröffnung leicht erfaßt werden kann. Als Strahlungskoeffizient C sollte näherungsweise stets der des Glühkörpers Verwendung finden. Dies ist dadurch begründet, daß bei spiegelnden Reflektoren ohnehin der Koeffizient des Glühkörpers einzusetzen wäre und bei dunklen Reflektoren deren Strahlungskoeffizient ungefähr dem des Glühkörpers entspricht.

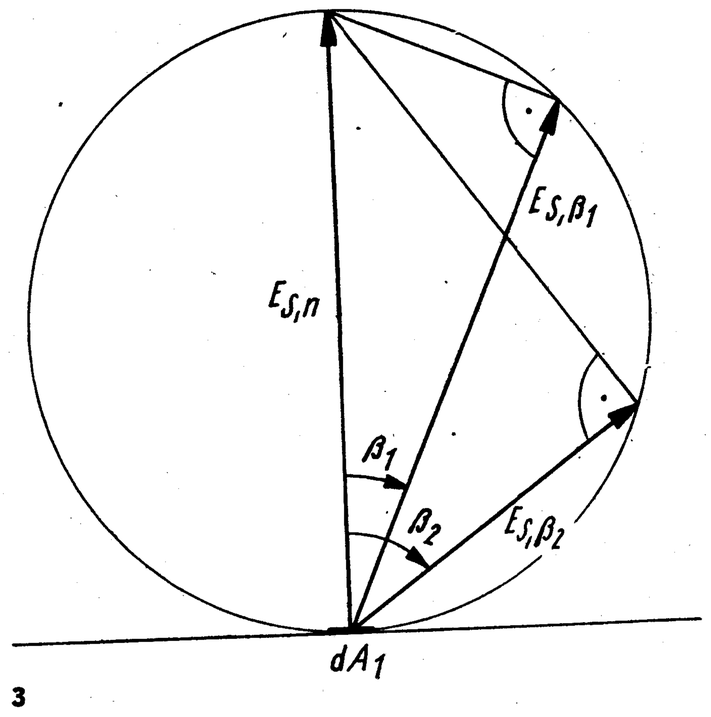
Ausgehend von der vom Strahler emittierten Gesamt-Strahlung

$$\dot{Q}_S = A \cdot E_S = A \cdot C \left(\frac{T}{100}\right)^4 \tag{1}$$

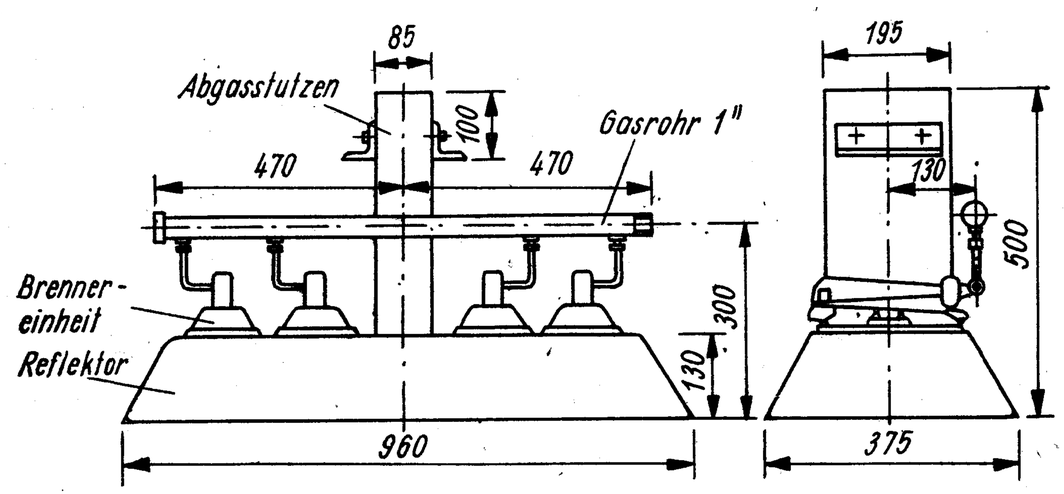
und dem Zusammenhang, der die Strahlung in den Halbraum E im Verhältnis zur Normalenrichtung $E_{S,n}$ angibt,



1

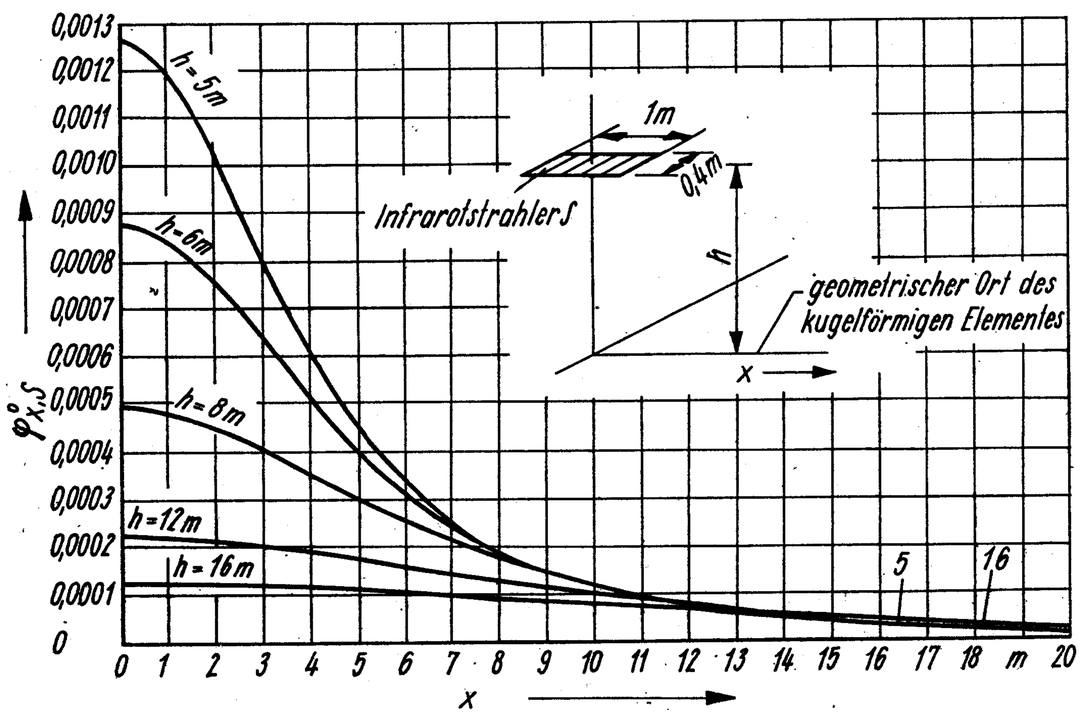


3



2

4



$$E_S = \pi E_{S,n}\,, \tag{2}$$

folgt

$$\dot{Q}_S = A \cdot E_S = \pi A \cdot E_{S,n}\,. \tag{3}$$

Der in Normalenrichtung gestrahlte Energiestrom $A \cdot E_{S,n}$ entspricht dem raumwinkelbezogenen spezifischen Energiestrom für $\beta = 0°$, so daß

$$A \cdot E_{S,n} = e_{\Omega,\beta=0°} \tag{4}$$

gilt. Die Substitution der vorgenannten Gleichung ergibt die Oberflächentemperatur des Glühkörpers

$$t = 100 \sqrt[4]{\frac{\pi e_{\Omega,\beta=0°}}{A\ C}}\ \mathrm{K} - 273\ °\mathrm{C} \tag{5}$$

oder die fiktive Temperatur der Reflektoröffnung

$$t^* = 100 \sqrt[4]{\frac{\pi e_{\Omega,\beta=0°}}{A^*\ C}}\ \mathrm{K} - 273\ °\mathrm{C}\,. \tag{6}$$

Beispiel

Für die im Bild 1 dargestellte reale Strahlungsverteilung des Gas-Infrarotstrahlers Typ IG 401 sind die Temperatur des Glühkörpers und die fiktive Temperatur zu bestimmen. Die Gesamtheit der Glühkörper-Oberfläche betrage 0,1 m², die Reflektoröffnung 0,4 m². Der Strahlungskoeffizient ist mit $C = 5{,}4\ \mathrm{W/m^2K^4}$ anzunehmen.
Die Strahlungsenergie in Normalenrichtung kann aus Bild 1 mit

$$e_{A,\beta=0°} = 320\ \mathrm{W/m^2}$$

abgelesen werden. Die Umrechnung dieses flächenbezogenen Wertes auf den raumwinkelbezogenen Energiestrom ergibt wegen der Definitionen

$$e_A = \frac{d\dot{Q}_S}{dA}\,; \quad e_\Omega = \frac{d\dot{Q}_S}{d\Omega}\,; \quad d\Omega = \frac{dA}{r^2}$$

$$e_{\Omega,\beta=0°} = e_{A,\beta=0°} \cdot r^2 = 320 \cdot 3^2\ \mathrm{W/sr} = 2880\ \mathrm{W/sr}\,.$$

Damit liefert Gl. (5) den Wert

$$t = 100 \sqrt[4]{\frac{\pi \cdot 2880}{0{,}1 \cdot 5{,}4}}\ \mathrm{K} - 273\ °\mathrm{C} = 865\ °\mathrm{C}\,.$$

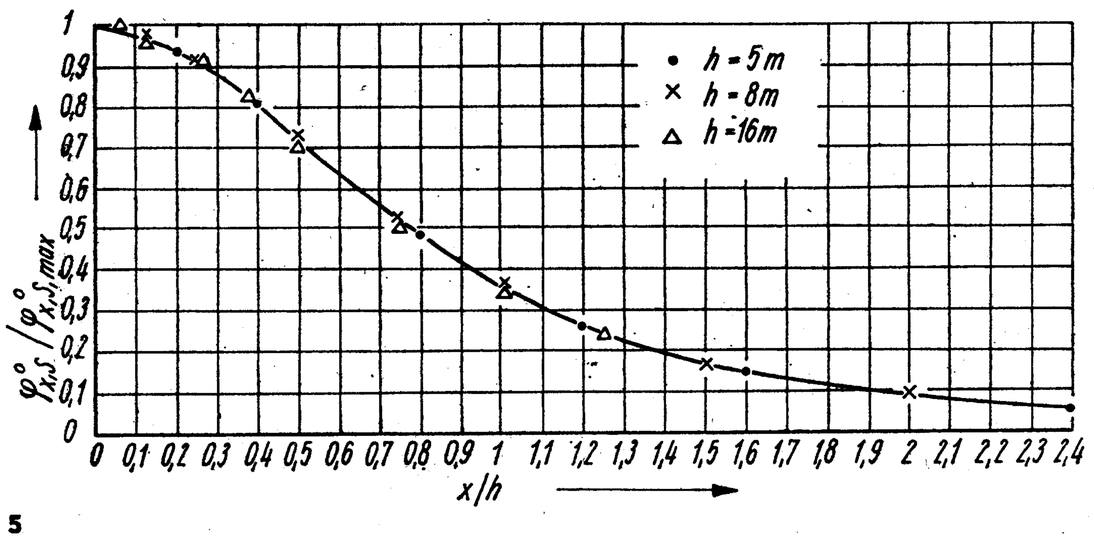
Dieses Ergebnis stimmt sehr gut mit den Herstellerangaben (850...900 °C) überein.
Die fiktive Strahlertemperatur ergibt nach Gl. (6)

$$t^* = 100 \sqrt[4]{\frac{\pi \cdot 2880}{0{,}4 \cdot 5{,}4}}\ \mathrm{K} - 273\ °\mathrm{C} = 532\ °\mathrm{C}\,.$$

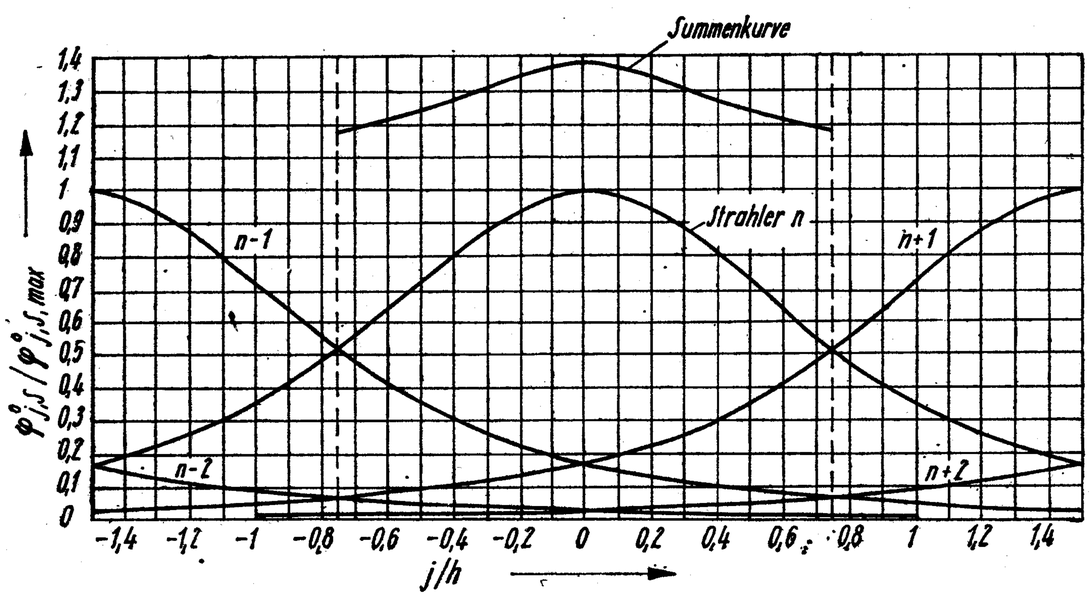
Strahlungsverteilung längs einer Strahlerreihe

Nachdem im vorigen Abschnitt nachgewiesen wurde, daß die Gas-Infrarotstrahler näherungsweise als ideale graue Strahler betrachtet werden dürfen, sind die Einstrahlzahlen repräsentativ für den getauschten Energiestrom. Die Einstrahlzahl eines kugelförmigen Elementes auf die Gesamtheit aller Strahlflächen kann über Superposition aus den Einzelberechnungen gebildet werden.

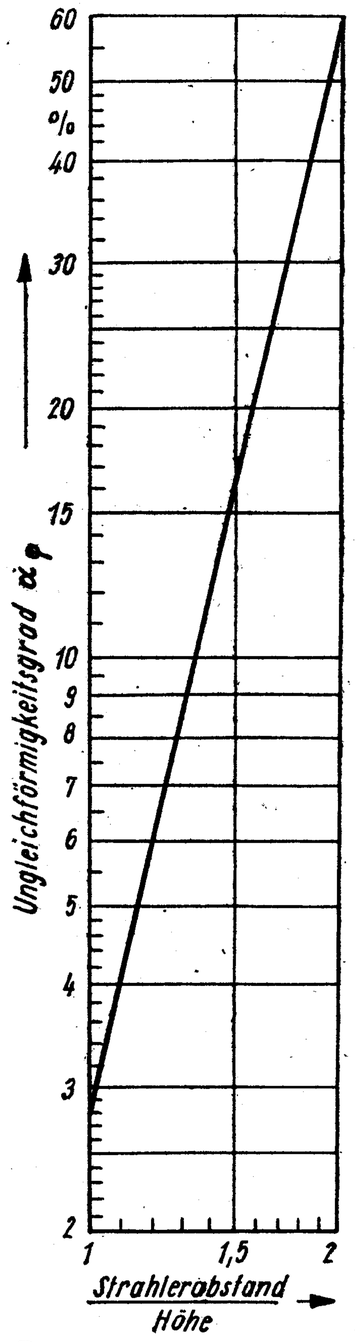
Da innerhalb einer Strahlerreihe die Abstände der Strahler gegenüber deren Längenabmessung groß sind, wird die Ungleichförmigkeit der Bestrahlungsstärke längs der Strahlerreihe ebenfalls groß sein. Bild 4 gibt die Einstrahlzahlen des kugelförmigen Elementes auf die Reflektoröffnung des Strahlers $\varphi^\circ_{x,S}$ in Abhängigkeit der Entfernung x und der Höhe h wieder. Da der Einfluß der endlichen Strahlerabmessungen im Verhältnis zur Höhe h relativ gering ist, ergeben die Einstrahlzahlen $\varphi^\circ_{x,S}/\varphi^\circ_{x,S,max}$, über dem dimensionslosen Abstand x/h aufgetragen, für alle ausgewerteten Parameter eine einheitliche Kurve (Bild 5). Dieses Ergebnis ist geradezu ideal, ermöglicht es doch eine weitgehende Auswertung, ohne daß auf die unterschiedlichen Anbringungshöhen Bezug genommen werden muß. Nunmehr kann allgemeingültig der Ungleichförmigkeitsgrad der Einstrahlung längs einer Strahlerreihe beurteilt werden.



5



6



7

Für einen bestimmten relativen Strahlerabstand (Abstand/Höhe) wird die im Bild 5 dargestellte Kurve versetzt, jedoch jeweils symmetrisch aufgetragen und in einem ungestörten Mittenbereich die Summenkurve ermittelt. Im Bild 6 wurde dies für das Verhältnis $j/h = 1{,}5$ vorgenommen. Dabei ist der Abstand j eingeführt worden, der dieselbe Teilung wie x aufweist, jedoch die Lage der einzelnen Strahler n, $n + 1$ usw. berücksichtigt. Aus dieser Summenkurve kann endlich der Ungleichförmigkeitsgrad

$$\alpha_\varphi = \frac{\varphi^\circ_{j,\,S,\,max} - \varphi^\circ_{j,\,S,\,min}}{\varphi^\circ_{j,\,S,\,min}}\ 100\% \qquad (7)$$

ermittelt werden. Die Wiederholung für verschiedene relative Abstände ergibt entsprechend viele Ungleichförmigkeitsgrade. Die Ergebnisse im doppeltlogarithmischen Papier aufgetragen, liefern nahezu eine Gerade. Sie ist im Bild 7 dargestellt. Abschließend sei noch bemerkt, daß bei mehreren parallelen Strahlerreihen ein Längsversatz die Ungleichförmigkeit insgesamt verkleinert.

Beispiel

Eine Strahlerreihe wird in einer Höhe von 7 m über dem Fußboden angebracht. Die Höhe des kugelförmigen Elementes, das den Mittelpunkt des menschlichen Körpers repräsentieren soll, befindet sich 1 m über dem Boden. Es ist der Strahlerabstand zu ermitteln, der eine Ungleichförmigkeit von maximal 10 Prozent ergibt.

Nach Bild 7 gehört zu $\alpha_\varphi = 10\%$ ein relativer Abstand von etwa 1,33, woraus der Strahlerabstand von $1{,}33 \cdot (7 - 1)$ m $= 8$ m folgt.

Schlußfolgerungen

Die Festlegung der Strahleranordnung kann analog der Verfahrensweise für Strahlplatten erfolgen. Die Hauptpunkte sind:

- Die Strahleranzahl wird nach dem Wärmebedarf segmentweise festgelegt.
- Unter Beachtung des Ungleichförmigkeitsgrades erfolgt die Reihung der Strahler.
- Die geeignetste Lage der Achsen der Strahlerreihen sollte analog zu [1] ermittelt werden.

Literatur

[1] *Glück, B.:* Ein Vorschlag zur Einordnung der Strahlplattenbänder in Hallenbauten.
„Stadt- und Gebäudetechnik“, H. 3/1980, S. 74 bis 77