Ein Vorschlag zur Einordnung der Strahlplattenbänder in Hallenbauten

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

Wie bereits in [1] ausgeführt, besteht die Forderung nach konstanter Empfindungstemperatur im Aufenthaltsbereich. Während die Strahlungstemperatur, ausgehend von den inneren Oberflächentemperaturen, relativ gut erfaßbar ist, bereitet es dagegen große Schwierigkeiten, die Lufttemperatur zu quantifizieren. Einflußfaktoren sind beispielsweise: Größe des Lüftungswärmebedarfs, Luftdurchlässigkeit der Umfassungskonstruktion, Lage und Größe der Fenster und Tore, Geometrie der Halle, Anordnung der Heizflächen usw. Andererseits müssen die Annahmen auch einfach in der Handhabung für die weitere Berechnung sein. Da die Korrektur der Raumtemperatur zur Ermittlung der standardisierten Heizlast nur höhenabhängig in großen Stufen erfolgt, wäre eine genaue Erfassung der horizontalen Lufttemperaturverteilung übertrieben. Weiterhin ist zu bemerken, daß durch Wechsel von Luv und Lee die Hallendurchlüftung und damit der horizontale Temperaturgradient eine laufende Umkehr erfahren kann.

Bis genauere Untersuchungen vorliegen, sollte auf der Grundlage erster Ergebnisse eine pauschale Staffelung der Lufttemperaturen t_L erfolgen. Um eine konstante Empfindungstemperatur t_e zu gewährleisten, muß die Strahlungstemperatur t_S eine gleichgroße Abweichung, jedoch mit umgekehrten Vorzeichen, aufweisen. Ausgehend von den drei Standorten

I – Entfernung vom Hallenrand ein bis zwei Meter
II – Entfernung vom Hallenrand ein Viertel der Hallenbreite
III – Hallenmitte

werden die pauschalen Festlegungen getroffen:

Standort	Lufttemperatur	Strahlungstemperatur
I	$t_L - 2K$	$t_S + 2K$
II	$t_L - 1K$	$t_S + 1K$
III	t_L	t_S

Die Empfindungstemperatur ergibt sich dann für alle drei Standorte zu $t_e = 0{,}5\,(t_L + t_S)$.

Da die Heizlast für die Raumtemperatur t_R ($\equiv t_e$) gemäß Standard ermittelt wird, sind die Einzelkomponenten t_L und t_S nicht bekannt. Sie sind von vielfältigen Einflußfaktoren abhängig, so beispielsweise auch von der Relation Transmissions- zu Lüftungsheizlast. Je nach Annahme für t_S berechnen sich die erforderlichen Einstrahlzahlen des kugelförmigen Elementes (vgl. [1]) auf die Summe aller Heizflächen standortbezogen nach

$$\varphi^\circ_{j,H} = \frac{(t_S + 273)^4 - \varphi^\circ_{j,B}\,(t_B + 273)^4 \ldots - \varphi^\circ_{j,D}\,(t_D + 273)^4 - \varphi^\circ_{j,W}\,(t_W + 273)^4}{(t_H + 273)^4 - (t_D + 273)^4}\,. \qquad (1)$$

Es bedeuten: H – Heizflächen
B – Boden
D – Decke
W – Wand
j – Nummer des Standortes.

Speziell auf die definierten Standorte zugeschnitten, ergeben sich schließlich

$$\varphi^\circ_{I,H} = \frac{(t_S + 2 + 273)^4 - \varphi^\circ_{I,B}\,(t_B + 273)^4 \ldots - \varphi^\circ_{I,D}\,(t_D + 273)^4 - \varphi^\circ_{I,W}\,(t_W + 273)^4}{(t_H + 273)^4 - (t_D + 273)^4} \qquad (2)$$

$$\varphi^\circ_{II,H} = \frac{(t_S + 1 + 273)^4 - \varphi^\circ_{II,B}\,(t_B + 273)^4 \ldots - \varphi^\circ_{II,D}\,(t_D + 273)^4 - \varphi^\circ_{II,W}\,(t_W + 273)^4}{(t_H + 273)^4 - (t_D + 273)^4} \qquad (3)$$

$$\varphi^\circ_{III,H} = \frac{(t_S + 273)^4 - \varphi^\circ_{III,B}\,(t_B + 273)^4 \ldots - \varphi^\circ_{III,D}\,(t_D + 273)^4 - \varphi^\circ_{III,W}\,(t_W + 273)^4}{(t_H + 273)^4 - (t_D + 273)^4}\,. \qquad (4)$$

Die Ergebnisse reagieren empfindlich auf die angenommene Strahlungstemperatur. Dies sei an einem praktischen Beispiel verdeutlicht. Für eine Halle gelten $t_H = 120$ °C; $t_B = 16$ °C; $t_D = 10$ °C; $t_W = 3$ °C sowie

$\varphi°_{I,B} = 0{,}416$; $\varphi°_{I,D} = 0{,}190$; $\varphi°_{I,W} = 0{,}394$;
$\varphi°_{II,B} = 0{,}472$; $\varphi°_{II,D} = 0{,}263$; $\varphi°_{II,W} = 0{,}265$;
$\varphi°_{III,B} = 0{,}476$; $\varphi°_{III,D} = 0{,}286$; $\varphi°_{III,W} = 0{,}238$.

Die Ergebnisse der erforderlichen Einstrahlzahlen sind in Abhängigkeit der gewählten Strahlungstemperatur zusammengestellt

t_S	$\varphi°_{I,H}$	$\varphi°_{II,H}$	$\varphi°_{III,H}$
15 °C	0,0382	0,0263	0,0197
17 °C	0,0495	0,0375	0,0308
19 °C	0,0610	0,0489	0,0421
21 °C	0,0728	0,0606	0,0536

Der offensichtliche Mangel, daß die erforderliche Strahlungstemperatur unbekannt ist, die Ergebnisse aber in starkem Maße von diesem Wert abhängen, kann durch folgende Überlegungen überwunden werden.

Grobaufteilung der Strahlungsheizfläche

Eine in der Praxis bewährte Methode [2] besteht darin, die Strahlplatten vorrangig an den Stellen zu installieren, an denen die Wärmeverluste auftreten. Dabei wird die Halle üblicherweise in quaderförmige Segmente unterteilt. Ihre Höhe entspricht der Hallenhöhe. Die Abgrenzung zwischen den Segmenten bilden gedachte Trennwände. Ein Wärmeaustausch durch diese fiktiven Begrenzungen wird nicht angesetzt. Entsprechend den anteiligen Transmissions- und evtl. Luft-Infiltrationsflächen erfolgt die Zuordnung der Heizlast auf diese Segmente. In jedem dieser Segmente werden so viele Heizflächen angeordnet, daß deren Gesamt-Wärmeabgabe der Heizlast des Segmentes entspricht. Im allgemeinen werden die Rastermaße der Hallenkonstruktion verwendet (z. B. 6 m × 6 m). Im Interesse einer rationellen Projektierung haben progressive Projektierungseinrichtungen für die produktionstypischen Segmente bereits tabellierte Heizlastwerte erarbeitet und für charakteristische Heizmedientemperaturen gleich die Strahlplattenzahlen fest zugeordnet [3].

Es ist leicht nachzuweisen, daß die beschriebene Methode nur eine Grobaufteilung der Gesamt-Heizfläche ermöglicht. Willkürlich, jedoch nicht unbedeutend, sind beispielsweise die gewählten Segmentunterteilungen. Weiterhin finden die vertikale und die horizontale Einordnung der Strahlbandachsen keine Berücksichtigung, obwohl diese den Strahlungstemperaturverlauf in der Aufenthaltszone wesentlich beeinflussen. Zur Beseitigung dieses Mangels sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Festlegung der Strahlbandachsen

Es wird davon ausgegangen, daß durch die vorgenommene Grobaufteilung die Einflüsse des Giebels und der Hallenecke gebührend berücksichtigt worden sind. Somit verbleibt nur noch die Aufgabe, die Strahlplattenbänder in Hallenlängsrichtung bei Annahme einer unendlich langen Halle einzuordnen. Dazu sollen die ermittelten Einstrahlzahlen $\varphi°_{I,H}$ bis $\varphi°_{III,H}$ benutzt werden. Obwohl die in der Tabelle aufgeführten Einstrahlzahlen relativ starken Schwankungen unterliegen, verlaufen die Kurven $\varphi° = f$ (Standort) für die einzelnen Temperaturen t_S nahezu äquidistant. Der einfacheren Handhabung wegen werden deshalb die Differenzen $(\varphi°_{I,H} - \varphi°_{III,H})$ und $(\varphi°_{II,H} - \varphi°_{III,H})$ gebildet und künftig ausgewertet. Somit ist für die Bemessung ein ideales Ergebnis gefunden, denn für alle Strahlungstemperaturen im praktikablen Bereich ergeben sich ähnliche Kurvenverläufe für die standortabhängige Einstrahlzahl. Die Kurven der vorstehend definierten Differenzen müssen dann für alle t_S deckungsgleich sein. Damit sind die notwendigen Unterschiede der Einstrahlzahlen über den Querschnitt einer Halle auch für die richtige Strahlungstemperatur bekannt, ohne sie selbst exakt zu kennen. Um mit der Schätzung im praktikablen Bereich zu liegen, wird vorgeschlagen, $t_S = t_R$ für die Berechnung in Hallenmitte zu setzen.

Beispiel

Für eine Industriehalle (Bild 1), die die Raumtemperatur von $t_R = 15$ °C aufweisen soll, wurde die Heizlast ermittelt und die notwendige segmentweise Strahlplattenbelegung vorgenommen. Es ergaben sich:

Segmente	Anzahl der Strahlplatten
Außenwandsegment	4,57
Ecksegment	8,62
Giebelsegment	5,15
Innensegment	0,75

Die Oberflächentemperaturen der Umfassungen wurden überschlägig ermittelt zu

$t_D = 11{,}9$ °C
$t_W = 10{,}3$ °C
$t_B = 15{,}7$ °C
$t_H = 107$ °C.

Die charakteristischen Standorte sind im Bild 2 eingetragen. Gleichzeitig wurden die Öffnungswinkel zu den Umfassungsflächen, die mit Hilfe eines Winkelmessers leicht zu bestimmen sind, vermerkt. Die Berechnung der Einstrahlzahlen erfolgt völlig problemlos nach [1], Gl. (4) zu

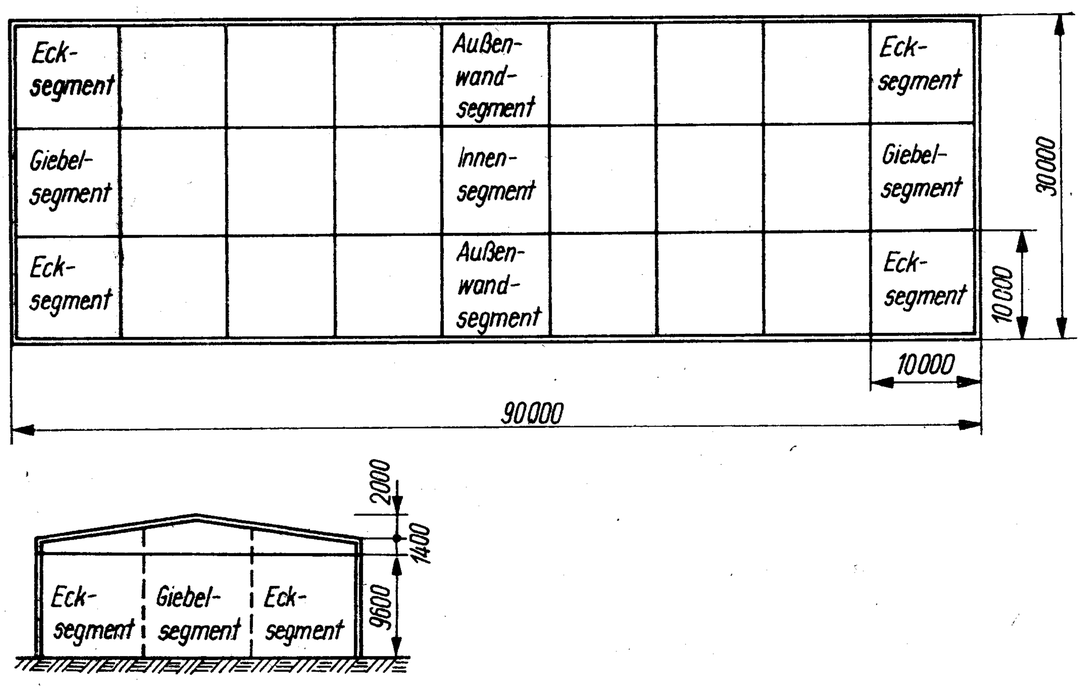
	Standort I	II	III
Außenwand	0,420	0,239	0,211
Dach	0,211	0,289	0,311
Boden	0,369	0,472	0,478

Die Auswertung der Gln. (2), (3) und (4) ergibt für die vorgenannten Daten:

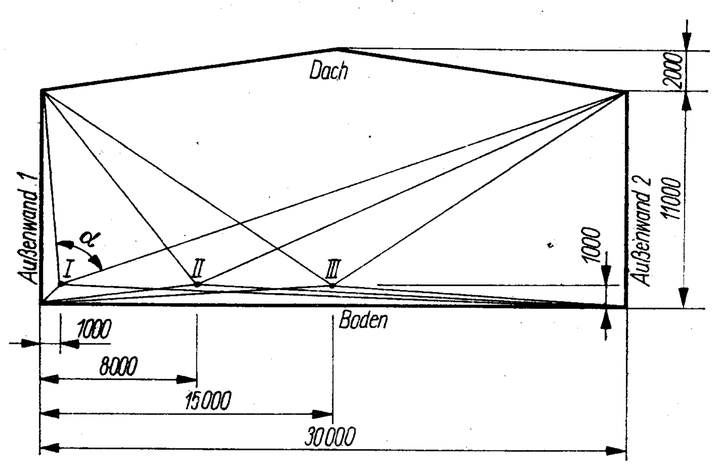
$$\varphi°_{I,H} = \frac{(17+273)^4 - 0{,}369\,(15{,}7+273)^4 \ldots - 0{,}211\,(11{,}9+273)^4 - 0{,}420\,(10{,}3+273)^4}{(107+273)^4 - (11{,}9+273)^4} = 0{,}0290$$

$$\varphi°_{II,H} = \frac{(16+273)^4 - 0{,}472\,(15{,}7+273)^4 \ldots - 0{,}289\,(11{,}9+273)^4 - 0{,}239\,(10{,}3+273)^4}{(107+273)^4 - (11{,}9+273)^4} = 0{,}0178$$

$$\varphi°_{III,H} = \frac{(15+273)^4 - 0{,}478\,(15{,}7+273)^4 \ldots - 0{,}311\,(11{,}9+273)^4 - 0{,}211\,(10{,}3+273)^4}{(107+273)^4 - (11{,}9+273)^4} = 0{,}0106.$$



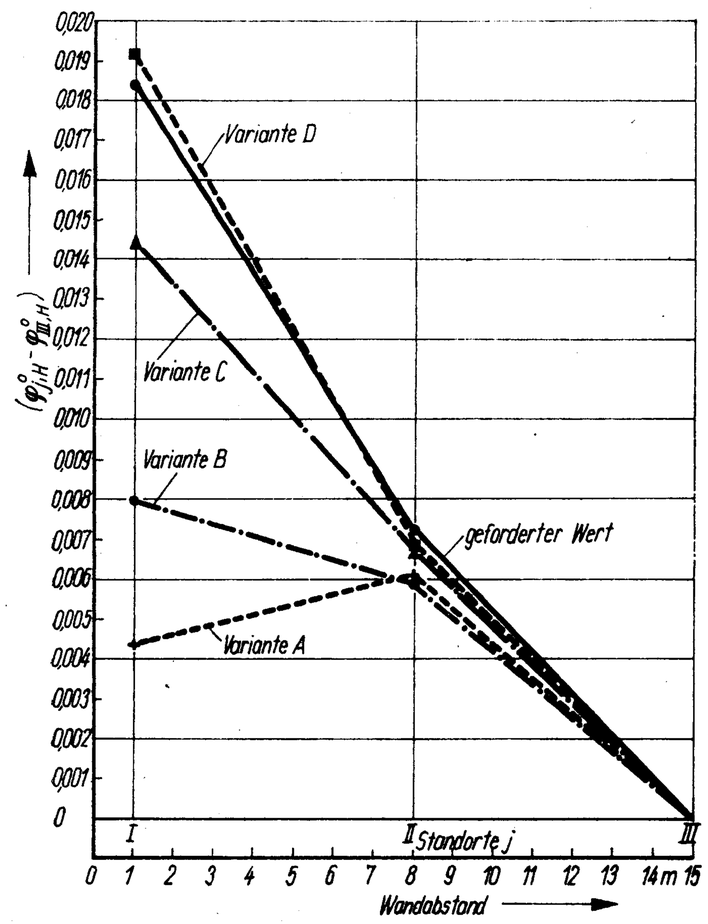
1



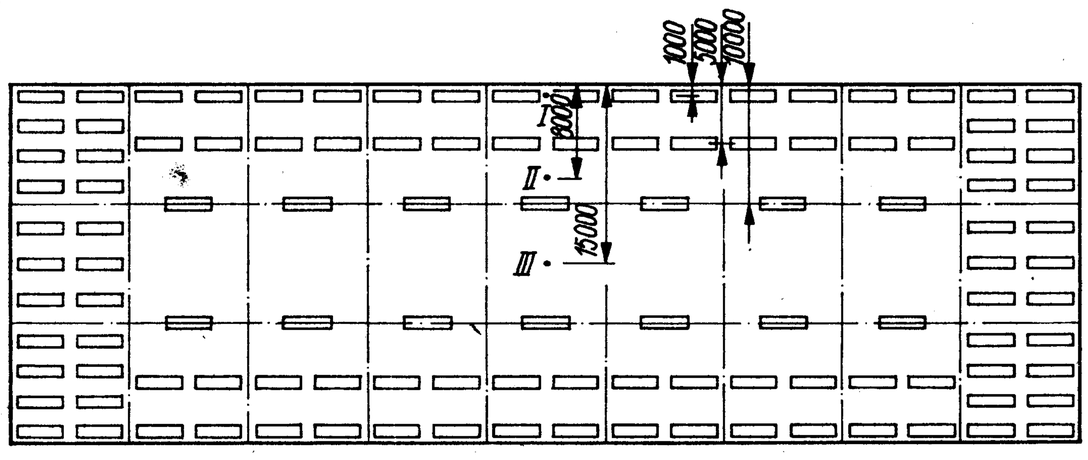
Öffnungswinkel α

Standort	Außenwand 1	Außenwand 2	Dach	Boden	Summe
I	130°	21°	76°	133°	360°
II	59°	27°	104°	170°	360°
III	38°	38°	112°	172°	360°

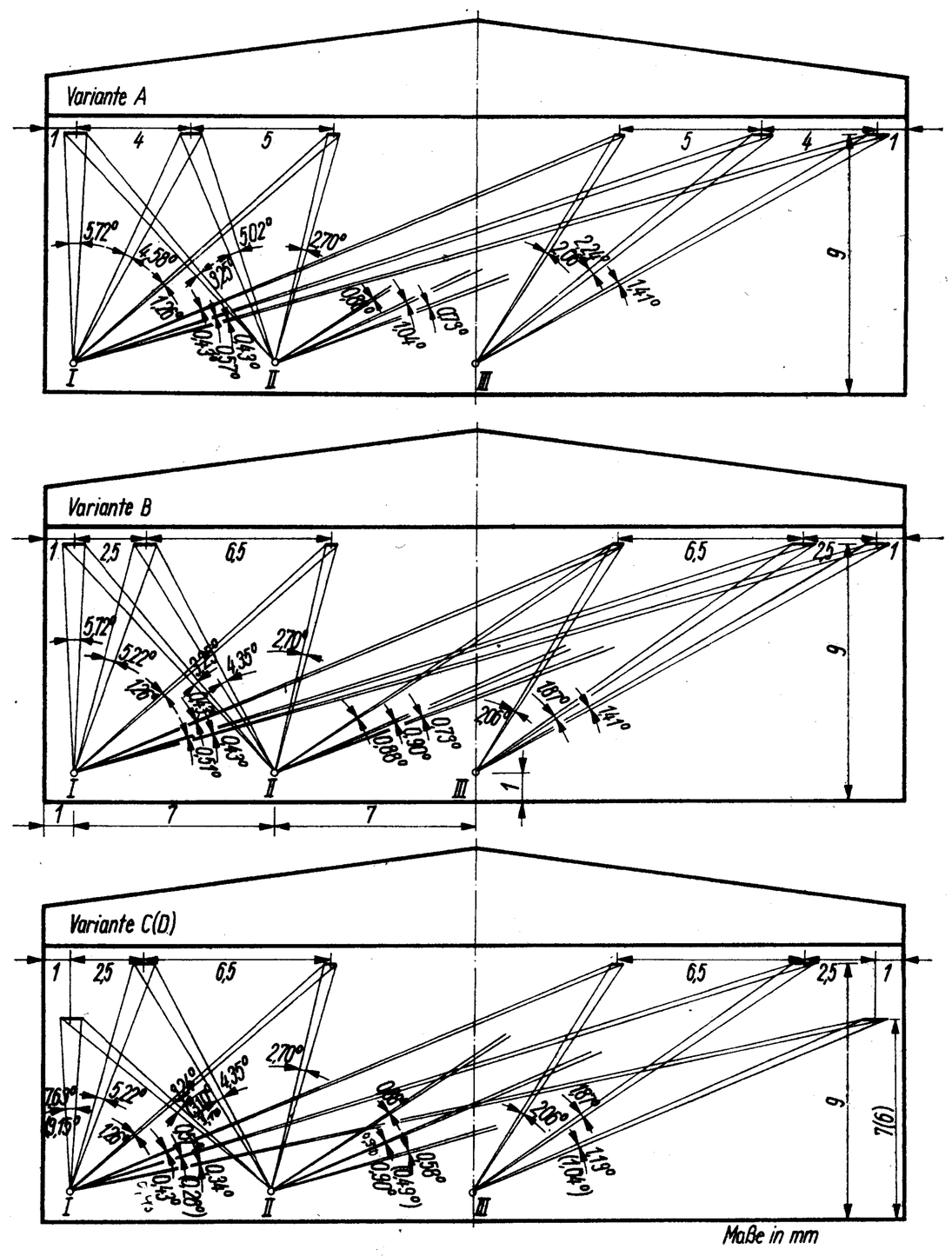
2



3



4



5

Die Differenzen der Einstrahlzahlen, die die Grundlage der weiteren Bemessung bilden, lauten

$$\varphi^\circ_{I,H} - \varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0184$$
$$\varphi^\circ_{II,H} - \varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0072\,.$$

Diese Ergebnisse sind im Bild 3 wiedergegeben.

Ausgehend von einer ersten Strahlplattenaufteilung auf die einzelnen Segmente gemäß Bild 4, werden für eine unendlich lange Halle die Einstrahlzahlen der an den ausgewählten Standorten plazierten Elementarkugeln auf die Heizflächenstreifen grafisch oder rechnerisch bestimmt. Die effektive Breite der Heizflächenstreifen kann analog [1], Bild 2, berechnet werden. Es ergeben sich für die äußeren Strahlplattenbänder mit zwei Platten je Segment die Breite

$$a = \frac{2 \cdot 4\ \mathrm{m}^2}{10\ \mathrm{m}} = 0{,}8\ \mathrm{m^2/m}\,,$$

für die inneren Strahlplattenbänder mit einer Platte je Segment die Breite

$$a = \frac{4\ \mathrm{m}^2}{10\ \mathrm{m}} = 0{,}4\ \mathrm{m^2/m}\,.$$

Die Anbringungshöhe der Heizflächen beträgt 9 m. Die horizontalen Abstände entsprechen den Angaben im Bild 4. Der Querschnitt der Halle mit den charakteristischen Standorten I, II und III sowie den Querschnitten der Strahlplattenbänder ist im Bild 5, Variante A, dargestellt.

Die im Bild eingetragenen Öffnungswinkel können grundsätzlich mit dem Winkelmesser ermittelt werden. Wegen der Kleinheit wurden die genannten Werte allerdings mit einem Taschenrechner bestimmt (vgl. [1]).

Die Einstrahlzahl auf die Gesamtheit der Heizflächenstreifen kann durch Summation aller Öffnungswinkel und Division durch 360° ermittelt werden. Es ergeben sich:

$$\varphi^\circ_{I,H} = 0{,}0361$$
$$\varphi^\circ_{II,H} = 0{,}0378$$
$$\varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0317\,.$$

Die Differenzen der Einstrahlzahlen ergeben sich weiter zu

$$\varphi^\circ_{I,H} - \varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0044$$
$$\varphi^\circ_{II,H} - \varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0061\,.$$

Diese Ergebnisse, in Bild 3 eingetragen, zeigen im Außenwandbereich eine starke Unterschreitung der geforderten Werte. Als Gegenmaßnahme wird die zweite Strahlplattenreihe 1,5 m nach außen verschoben. Damit entsteht Variante B. Die erneute Ermittlung der Winkel führt zu den Einstrahlzahlen

$$\varphi^\circ_{I,H} = 0{,}0377$$
$$\varphi^\circ_{II,H} = 0{,}0356$$
$$\varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0297$$

und den Differenzen

$$\varphi^\circ_{I,H} - \varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0080$$
$$\varphi^\circ_{II,H} - \varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0059\,.$$

Die Gegenüberstellung mit den geforderten Werten (Bild 3) zeigt immer noch eine Unterschreitung in der Nähe der Außenwand. Eine weitere Verschiebung des zweiten Strahlplattenbandes nach außen wird nicht vorgenommen, da einerseits der vorhandene Fehlbetrag nicht getilgt werden könnte, und andererseits die vermehrte Bestrahlung der Außenwand den Wärmeverlust der Halle erhöhen würde.

In Auswertung der Effektivitätskennzahl (vgl. [1]) wird die jeweils äußerste Plattenreihe auf eine Höhe von 7 m gesenkt. (Auch bei Vorhandensein von Kranbahnen dürfte die Anordnung einer unterhalb der Schienen längs der Außenwand liegenden Plattenreihe fast ausnahmslos möglich sein, denn die Konstruktion der Hebezeuge erlaubt das Bestreichen des wandnahen Bereiches mit dem Kranhaken ohnehin nicht.) Variante C zeigt die neuen geometrischen Verhältnisse. Es ergeben sich die Einstrahlzahlen

$$\varphi^\circ_{I,H} = 0{,}0428$$
$$\varphi^\circ_{II,H} = 0{,}0351$$
$$\varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0284$$

und die Differenzen

$$\varphi^\circ_{I,H} - \varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0144$$
$$\varphi^\circ_{II,H} - \varphi^\circ_{III,H} = 0{,}0067\,.$$

Die Eintragung im Bild 3 läßt die eingetretene Verbesserung deutlich erkennen. Prinzipiell könnte die gewählte Anordnung belassen werden. Um die Annäherung an die geforderten Werte noch weiter zu verbessern, wird die äußerste Plattenreihe auf 6 m gesenkt. Sie sei mit Variante D bezeichnet. Im Bild 5 sind lediglich die Ergeb-

nisse bei Variante C als Klammerwerte vermerkt. Es gelten die Einstrahlzahlen

$$\varphi^{\circ}_{\mathrm{I,H}} = 0{,}0468$$
$$\varphi^{\circ}_{\mathrm{II,H}} = 0{,}0345$$
$$\varphi^{\circ}_{\mathrm{III,H}} = 0{,}0276$$

und die Differenzen

$$\varphi^{\circ}_{\mathrm{I,H}} - \varphi^{\circ}_{\mathrm{III,H}} = 0{,}0192$$
$$\varphi^{\circ}_{\mathrm{II,H}} - \varphi^{\circ}_{\mathrm{III,H}} = 0{,}0069\,.$$

Der Kurvenverlauf im Bild 3 zeigt, daß die Anordnung der Strahlplatten damit ideal die geforderten Werte erreicht.

Literatur

[1] *Glück, B.:* Untersuchungen zum Einsatz von waagerechten und geneigten Strahlplattenbändern
„Stadt- und Gebäudetechnik“, 33. Jg. (1979) H. 9, S. 257 bis 263

[2] *Rentsch/Drechsler:* Strahlplatten in Industriehallen
Schriftenreihe *„Bauforschung — Baupraxis“*, H. 21, 1978

[3] — TGA für eingeschossige Metalleichtbauten
Katalog des VE BMK Erfurt, Industrieprojektierung Jena