Untersuchungen zum Einsatz von waagerechten und geneigten Strahlplattenbändern

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

Problemstellung und Forderungen

Grundanliegen eines jeden Heizungssystems ist es, eine gleichmäßige Empfindungstemperatur im Aufenthaltsbereich zu sichern.

Bei strahlplattenbeheizten Hallenbauten muß zur Kompensation der kalten Außenwandflächen und der durch die Luftinfiltration hervorgerufenen niedrigen Lufttemperatur entlang der Hallenränder eine relativ hohe Einstrahlung auf diese Randzonen erfolgen.

Nach Untersuchungen von *Windisch* kann näherungsweise an Stelle der Einstrahlzahl des Menschen auf die Heizflächen die rechnerisch bedeutend einfacher zu ermittelnde Einstrahlzahl einer infinitesimal kleinen Kugel auf die Unterseite der Strahlplatten zugrunde gelegt werden. (Häufig wird dies als Punktstrahlung bezeichnet, was physikalisch jedoch nicht richtig ist, da sich nur Körper, nicht aber geometrische Punkte, im Strahlungsaustausch befinden können.) Das kugelförmige Element ist in einer Höhe von einem Meter anzuordnen.

Um allgemeingültige Aussagen treffen zu können, sei der Einfluß der Hallenecken vernachlässigt, so daß im weiteren Hallenquerschnitte unendlich langer Bauwerke betrachtet werden. Der Verlauf der erforderlichen Einstrahlzahlen über den Hallenquerschnitt ist im Bild 1 wiedergegeben.

Die weitere Aufgabe besteht darin, diese geforderte Kurve bei einem Minimum an Wärmeverlusten zu realisieren. Eine in der Praxis oft diskutierte Frage gilt dabei der zweckmäßigsten Lage der Heizflächen, speziell, ob zur Annäherung an die im Bild 1 dargestellte Kurve waagerechte oder geneigte Strahlplatten installiert werden sollten. Um eine möglichst allgemeingültige Aussage zu erhalten, sind schrittweise verschiedene Betrachtungen anzustellen.

Einstrahlzahlen von kugelförmigen Elementen auf Strahlplattenbänder

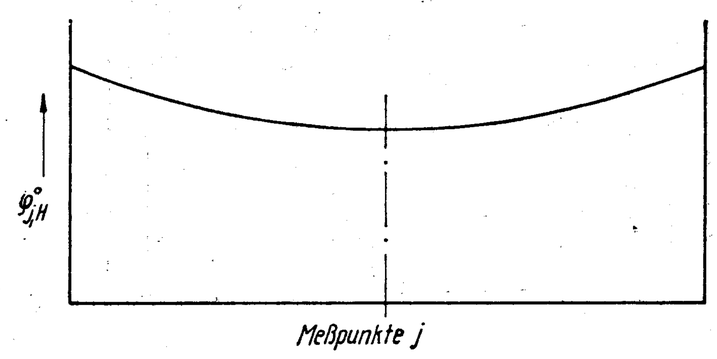
Als theoretische Fundamentalanordnung seien durchgehende Strahlplattenbänder in waagerechter und unter 45° geneigter Lage zugrunde gelegt. Die Approximation auf praktisch vorkommende Verhältnisse erfolgt auf der Basis der Flächenbilanzen. Wird von 6 m langen Strahlplatten ausgegangen, die mit gleichmäßigem Abstand in der Längsachse von 2 m verlegt wurden, so ist dies gleichbedeutend mit einem kontinuierlichen Heizflächenband von 0,75 m Breite. Für die 4 m langen Strahlplatten ergibt sich aus der getroffenen Vorgabe dann ein Zwischenabstand von 1,33 m, wenn die gleichen mittleren Einstrahlzahlen wie bei den mit 6 m langen Platten bestückten Bändern gelten sollen. Anschaulich gehen die geometrischen Verhältnisse aus Bild 2 hervor. Daß es sich um mittlere Einstrahlzahlen handelt, liegt in der idealisierten kontinuierlichen Heizflächenverteilung begründet. In Wirklichkeit ist es natürlich ein Unterschied, ob die Elementarkugel direkt unter der Strahlplattenmitte oder unter dem Zwischenraum liegt. Da alle Standorte in praxi gleichermaßen vorkommen können, stellt die getroffene Idealisierung der Heizfläche keine wirklichkeitsfremde Näherung dar, sondern führt zu guten theoretisch begründeten Mittelwerten.

Für die Berechnung der Einstrahlzahlen wird auf die Gleichung

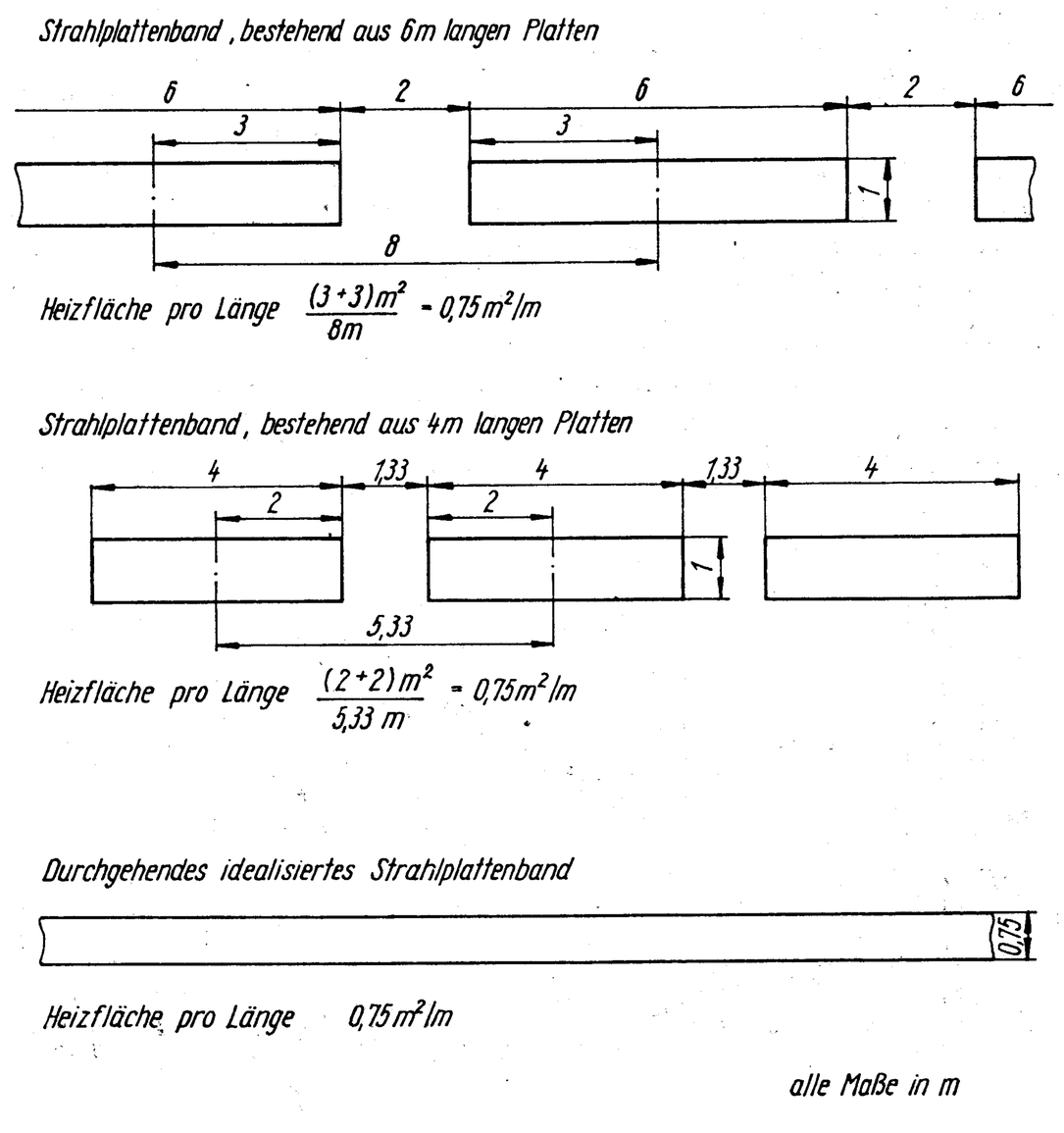
$$\varphi^{\circ}_{1,2} = \frac{1}{4\pi} \arctan \frac{ab}{h\sqrt{a^2+b^2+h^2}} \qquad (1)$$

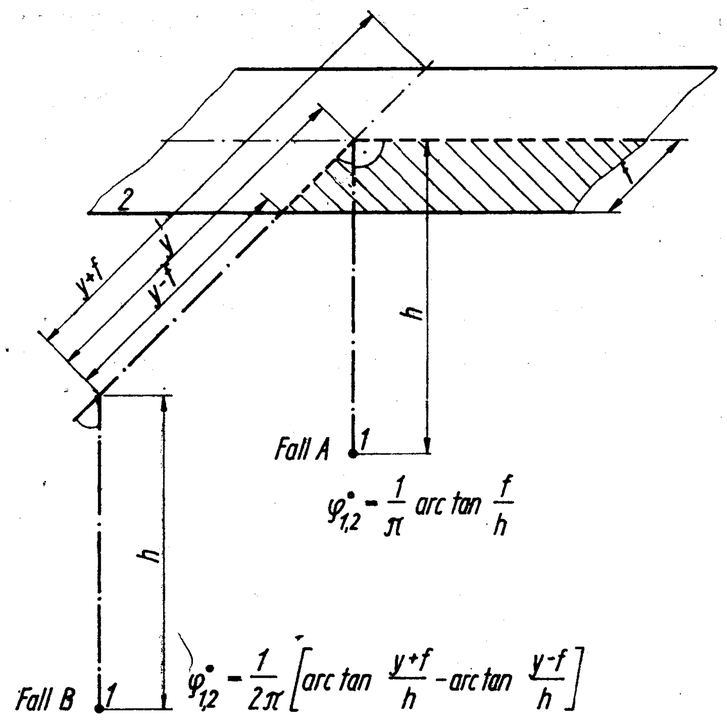
zurückgegriffen. Sie gilt für kugelförmige Elemente, die im Abstand h senkrecht unter der Ecke eines Rechteckes mit den Seiten a und b liegen. Ist die Seite a unendlich lang, so folgt über eine Grenzwertbetrachtung

1

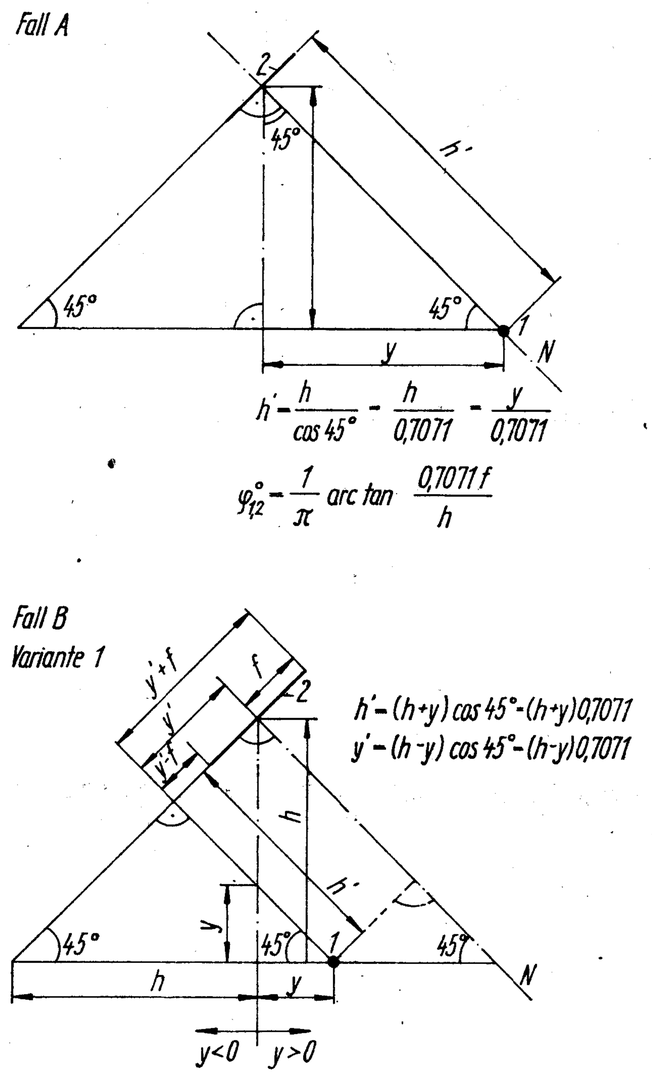


2

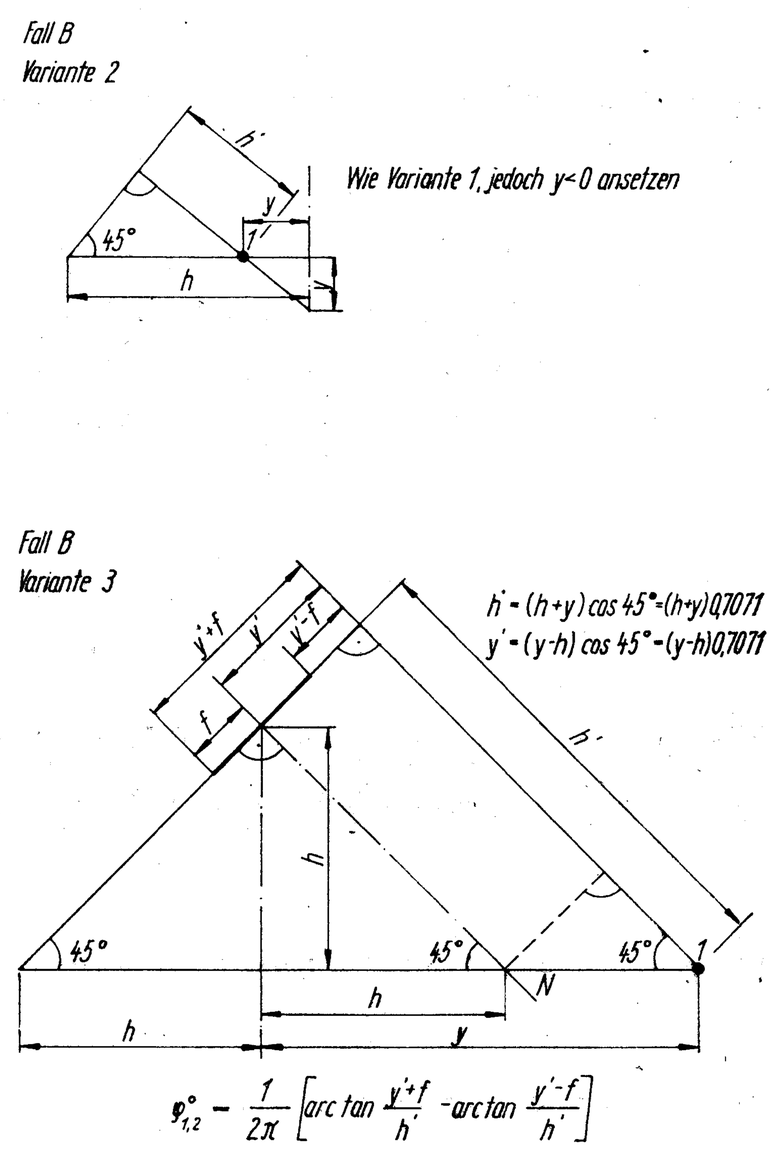




3



5



$$\varphi^\circ_{1,2} = \frac{1}{4\pi} \lim_{a \to \infty} \arctan \frac{b}{h\sqrt{1+\left(\frac{b}{a}\right)^2+\left(\frac{h}{a}\right)^2}}$$

$$\varphi^\circ_{1,2} = \frac{1}{4\pi} \arctan \frac{b}{h} \qquad (2)$$

Bei Anwendung dieser Gleichung für waagerechte Strahlplattenbänder sind die im Bild 3 dargestellten zwei Fälle zu unterscheiden. Für die Parameter $f = 0{,}37$ m; $h = 2 \ldots 16$ m und $y = 0 \ldots 30$ m erfolgte die Auswertung. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 und auszugsweise zur anschaulichen Darstellung im Bild 4 wiedergegeben. Die Kurven verlaufen zur Achse $y = 0$ symmetrisch, so daß die Einstrahlzahlen auch für negative y-Werte gelten.

Problematischer ist die Berechnung der Einstrahlzahlen für die unter 45° geneigten Plattenbänder. Grundsätzlich kann auf Gl. (2) bezogen werden. Jedoch sind die Höhen und die seitlichen Verschiebungen neu zu definieren. Die möglichen geometrischen Verhältnisse sind im Bild 5 in Form von Seitenrissen dargestellt. Die Berechnungsgleichungen sind den zwei Grundfällen zugeordnet. Die Auswertung erfolgte für die Werte $f = 0{,}37$ m; $h = 2 \ldots 16$ m und $y = -5$ bis $+30$ m. Sie sind in Tabelle 2 zusammengefaßt und im Bild 6 teilweise grafisch wiedergegeben. Der Kurvenverlauf zeigt logischerweise keine Symmetrie. Die Einstrahlzahl ist an der Stelle Null, an der die Verlängerung der Strahlplattenneigung die Grundfläche schneidet ($y = h$).

Die Werte in Tabelle 1 und 2 gelten, wie eingangs erläutert, für durchgehende Heizflächenstreifen, Breite 0,75 m. Dies entsprach den praktischen Aufteilungen gemäß Bild 1. Abweichende Anordnungen haben natürlich auch veränderte theoretische Strahlbandbreiten zur Folge. Eine Umrechnung der Tabellenwerte proportional der Bandbreiten ist nach

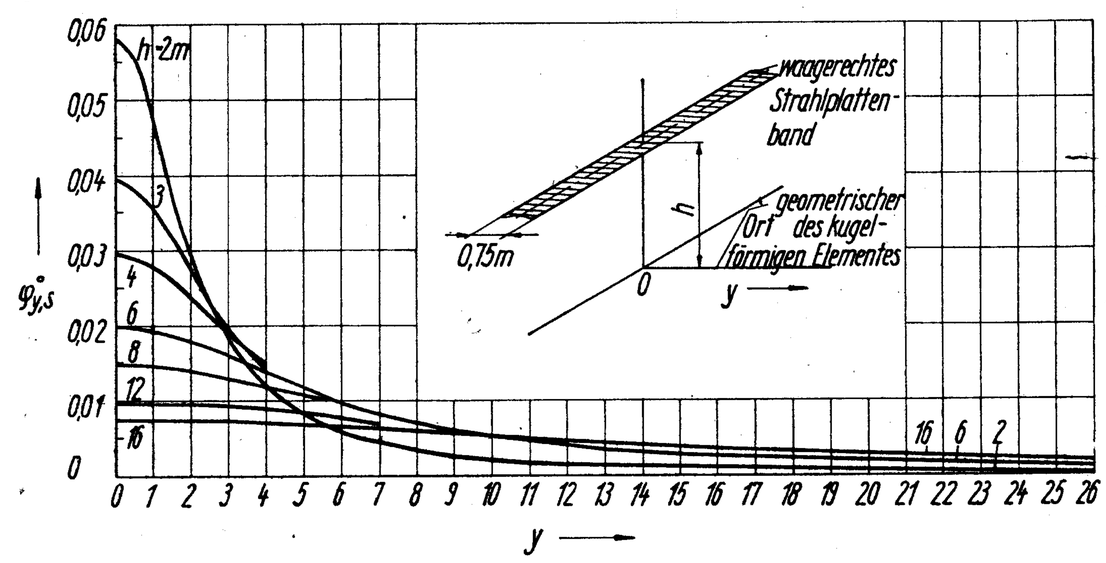
$$(\varphi^\circ_{1,2})^* = \varphi^\circ_{1,2} \frac{f^*}{f} \qquad (3)$$

näherungsweise möglich.

Tabelle 1: Einstrahlzahlen $\varphi^\circ_{1,2}$ für waagerechte Strahlplattenbänder
Höhe h in mm

seitlicher Abstand y in m	2	3	4	6	8	10	12	14	16
0	0,0582	0,0391	0,0294	0,0196	0,0147	0,0118	0,0098	0,0084	0,0074
1	0,0470	0,0352	0,0277	0,0191	0,0145	0,0117	0,0097	0,0084	0,0073
2	0,0296	0,0272	0,0235	0,0177	0,0138	0,0113	0,0095	0,0082	0,0072
3	0,0182	0,0197	0,0189	0,0157	0,0129	0,0108	0,0092	0,0080	0,0071
4	0,0118	0,0142	0,0147	0,0136	0,0118	0,0102	0,0088	0,0078	0,0069
5	0,0082	0,0104	0,0115	0,0116	0,0106	0,0094	0,0084	0,0075	0,0067
6	0,0059	0,0079	0,0091	0,0098	0,0094	0,0087	0,0079	0,0071	0,0065
7	0,0045	0,0061	0,0073	0,0083	0,0083	0,0079	0,0073	0,0067	0,0062
8	0,0035	0,0048	0,0059	0,0071	0,0074	0,0072	0,0068	0,0063	0,0059
9	0,0028	0,0039	0,0049	0,0060	0,0065	0,0065	0,0063	0,0060	0,0056
10	0,0023	0,0032	0,0041	0,0052	0,0057	0,0059	0,0058	0,0056	0,0053
12	0,0016	0,0023	0,0029	0,0039	0,0045	0,0048	0,0049	0,0048	0,0047
14	0,0012	0,0017	0,0022	0,0030	0,0036	0,0040	0,0042	0,0042	0,0042
16	0,0009	0,0013	0,0017	0,0024	0,0029	0,0033	0,0035	0,0036	0,0037
18	0,0007	0,0011	0,0014	0,0020	0,0024	0,0028	0,0030	0,0032	0,0032
20	0,0006	0,0009	0,0011	0,0016	0,0020	0,0024	0,0026	0,0028	0,0029
22	0,0005	0,0007	0,0009	0,0014	0,0017	0,0020	0,0023	0,0024	0,0025
24	0,0004	0,0006	0,0008	0,0012	0,0015	0,0017	0,0020	0,0021	0,0023
26	0,0003	0,0005	0,0007	0,0010	0,0013	0,0015	0,0017	0,0019	0,0020
28	0,0003	0,0004	0,0006	0,0009	0,0011	0,0013	0,0015	0,0017	0,0018
30	0,0003	0,0004	0,0005	0,0008	0,0010	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

4



6

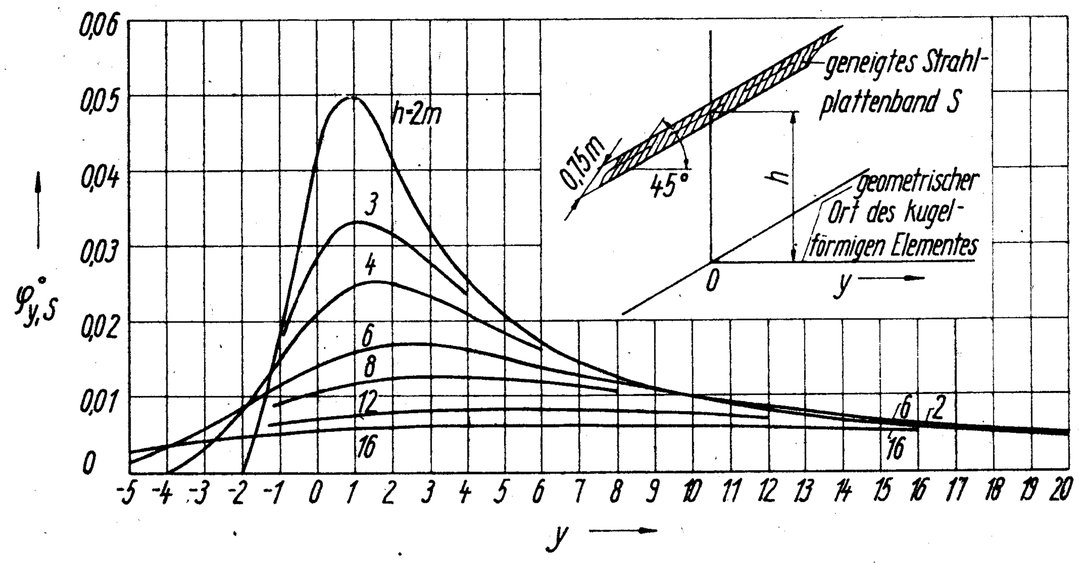


Tabelle 2: Einstrahlzahlen $\varphi°_{1,2}$ für 45° geneigte Strahlplattenbänder

seitlicher Abstand y in m \ Höhe in m	2	3	4	6	8	10	12	14	16
−5	0	0	0	0,0014	0,0028	0,0033	0,0035	0,0034	0,0033
−4	0	0	0	0,0032	0,0042	0,0043	0,0042	0,0039	0,0037
−3	0	0	0,0033	0,0056	0,0057	0,0054	0,0049	0,0045	0,0041
−2	0	0,0065	0,0084	0,0083	0,0074	0,0064	0,0056	0,0050	0,0045
−1	0,0171	0,0168	0,0148	0,0113	0,0090	0,0074	0,0063	0,0055	0,0049
0	0,0421	0,0279	0,0209	0,0139	0,0104	0,0083	0,0069	0,0059	0,0052
1	0,0497	0,0333	0,0245	0,0158	0,0115	0,0091	0,0075	0,0063	0,0055
2	0,0414	0,0319	0,0249	0,0167	0,0122	0,0096	0,0079	0,0067	0,0058
3	0,0319	0,0277	0,0233	0,0166	0,0125	0,0099	0,0082	0,0069	0,0060
4	0,0249	0,0233	0,0208	0,0160	0,0125	0,0100	0,0083	0,0071	0,0061
5	0,0201	0,0196	0,0183	0,0150	0,0122	0,0100	0,0084	0,0072	0,0062
6	0,0167	0,0166	0,0160	0,0139	0,0117	0,0098	0,0083	0,0072	0,0063
7	0,0141	0,0144	0,0141	0,0127	0,0111	0,0095	0,0082	0,0071	0,0063
8	0,0122	0,0125	0,0125	0,0117	0,0104	0,0091	0,0080	0,0070	0,0062
9	0,0108	0,0111	0,0112	0,0107	0,0098	0,0087	0,0078	0,0069	0,0062
10	0,0096	0,0099	0,0100	0,0098	0,0091	0,0083	0,0075	0,0068	0,0061
12	0,0079	0,0082	0,0083	0,0083	0,0080	0,0075	0,0069	0,0064	0,0058
14	0,0067	0,0069	0,0071	0,0072	0,0070	0,0068	0,0064	0,0059	0,0055
16	0,0058	0,0060	0,0061	0,0063	0,0062	0,0061	0,0058	0,0055	0,0052
18	0,0051	0,0053	0,0054	0,0056	0,0056	0,0055	0,0053	0,0051	0,0049
20	0,0045	0,0047	0,0048	0,0050	0,0050	0,0050	0,0049	0,0048	0,0046
22	0,0041	0,0042	0,0043	0,0045	0,0046	0,0046	0,0045	0,0044	0,0043
24	0,0037	0,0038	0,0039	0,0041	0,0042	0,0042	0,0042	0,0041	0,0040
26	0,0034	0,0035	0,0036	0,0037	0,0038	0,0039	0,0039	0,0038	0,0038
28	0,0032	0,0033	0,0035	0,0035	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036	0,0035
30	0,0029	0,0030	0,0031	0,0032	0,0033	0,0033	0,0034	0,0033	0,0033

Die Einstrahlzahl des kugelförmigen Elementes auf unendlich lange Flächenstreifen stellt das Verhältnis von Raumwinkel, der durch die außenliegende Fläche aufgespannt wird, zu dem Gesamtwinkel 4π dar. Dies ist gleichbedeutend mit dem Quotienten, der durch die Schar der Verbindungsgeraden ausgeschnittenen Kugeloberfläche zur Gesamt-Kugeloberfläche gebildet werden kann. Bei einem unendlich langen Flächenstreifen stellt sich die markierte Kugeloberfläche B als Fläche zwischen zwei Kugelmeridianen dar (Bild 7).

Das Verhältnis dieser Fläche zur gesamten Kugeloberfläche entspricht zahlenmäßig dem Kreisbogen b auf dem Kugeläquator zum gesamten Kreisumfang (Äquatorlänge). Es gelten:

$$\varphi°_{1,2} = \frac{B}{4\pi r^2} = \frac{b}{2\pi r} = \frac{\beta r}{2\pi r} = \frac{\beta}{2\pi} = \frac{\beta}{360°}. \qquad (4)$$

Die Identität zur Gl. (2) ist sofort erkennbar. Anschaulich läßt sich weiter zeigen, daß Gl. (3) eine gute Näherung darstellt, solange es sich um relativ kleine Winkeländerungen handelt.

Im Bild 8 ist ein Beispiel für die grafische Lösung wiedergegeben. Die Ergebnisse zeigen sehr gute Übereinstimmung mit den Tabellenwerten.

Einstrahlzahlen von kugelförmigen Elementen auf die Gesamtheit der Strahlplattenbänder einer Halle

Die standortbezogene Gesamt-Einstrahlzahl $\varphi°_{j,H}$ mehrerer paralleler Strahlplattenbänder ergibt sich aus der Superposition $\varphi°_{y,H}$ der aufgezeichneten Parameterkurven (vgl. Beispielrechnung zum Bild 9). Die mögliche Vielfalt der Kombinationen läßt sich ahnen, wenn man bedenkt, daß der Abstand zwischen den parallelen Bändern veränderbar und daß Bänder unterschiedlicher Höhe und Plattenneigung zusammenschaltbar sind.

In den Bildern 9 bis 13 ist ein kleiner Auszug von Variationen gegeben. Der Verlauf der Einstrahlzahlen des kugelförmigen Elements auf die Gesamt-Heizfläche H wird in Abhängigkeit des Standortes y und der übrigen Parameter diskutiert.

Bild 9 zeigt einen Hallenquerschnitt mit allgemein praktizierter Strahlbänderverteilung. Es ist üblich und auch richtig, an den Hallenrändern die niedrigen Außentemperaturen durch eine verstärkte Einstrahlung zu kompensieren. Deshalb wurden dort je zwei Plattenreihen vorgesehen.

Für einen einzigen Standort j sei die Summation der einzelnen Einstrahlzahlen der Gesamt-Einstrahlzahl ausführlich dargestellt. Es wurde der Standort $j = 5$ herausgegriffen. Nach Bild 9 befindet sich dieser Punkt 5 m von der linken Außenwand entfernt. Zu den Mittellinien der Strahlbänder ergeben sich die horizontalen Entfernungen von 4 m, 2 m, 4 m und 6 m. Diese Abstände entsprechen den Werten y im Bild 4 und in Tabelle 1. Bei waagerecht angeordneten Strahlplatten ist es wegen der symmetrischen Strahlungsverteilung gleichgültig, ob die jeweiligen Entfernungen links oder rechts von der Strahlplatte liegen. Anders ist es dagegen bei schräg gestellten Strahlplatten, die die Orientierung zur Platteninnenseite erfordern. Im vorliegenden Fall ergeben sich für $j = 5$ die $\varphi°_{y,S}$

	Höhe 4 m	Höhe 8 m
$y = 4$ m	0,0147	0,0118
$y = 2$ m	0,0235	0,0138
$y = 4$ m	0,0147	0,0118
$y = 6$ m	0,0091	0,0094

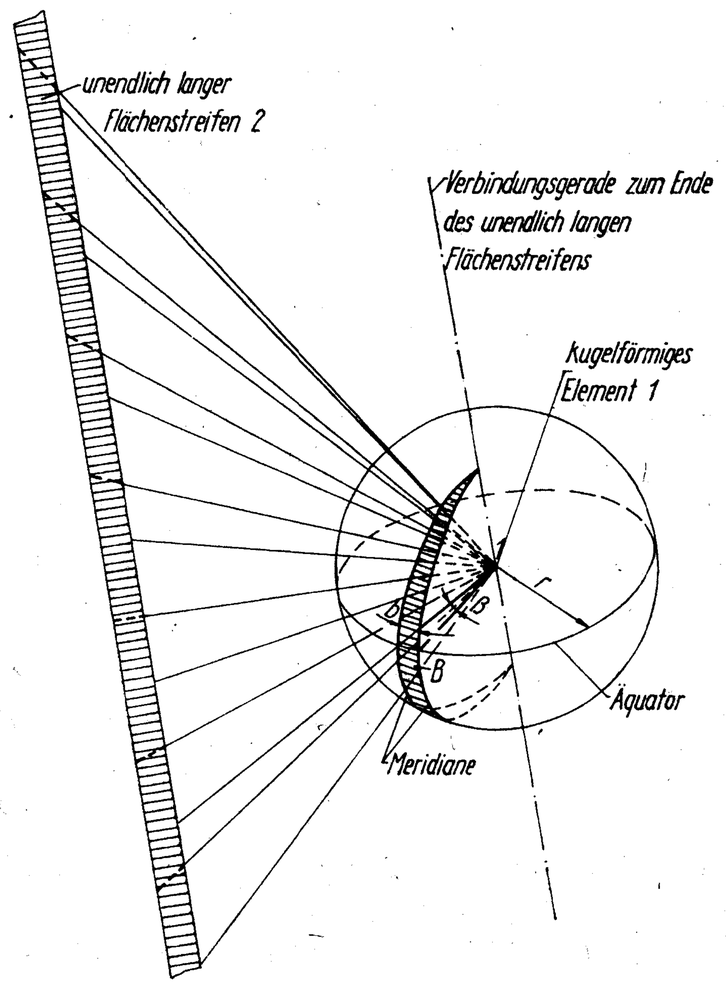
woraus die Gesamt-Einstrahlzahlen für

$h = 4$ m $\quad \varphi°_{5,H} = 0{,}0620$

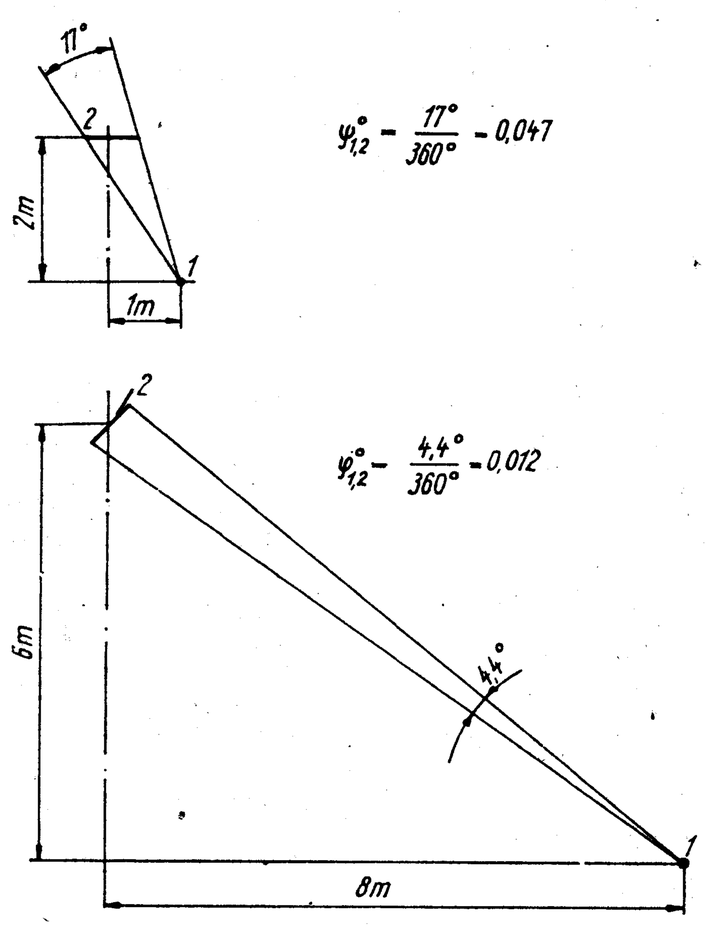
$h = 8$ m $\quad \varphi°_{5,H} = 0{,}0468$

folgen. Auf diese Weise können die Verläufe der Einstrahlzahlen punktweise berechnet werden.

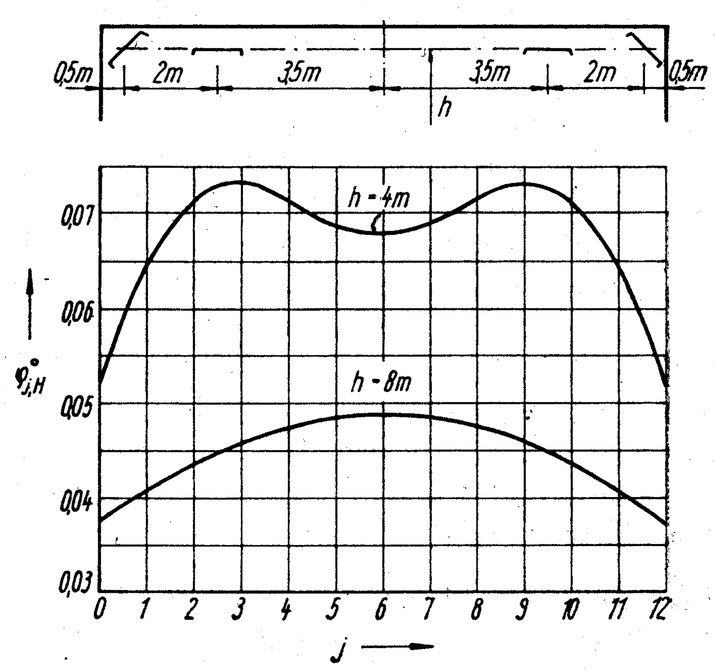
7

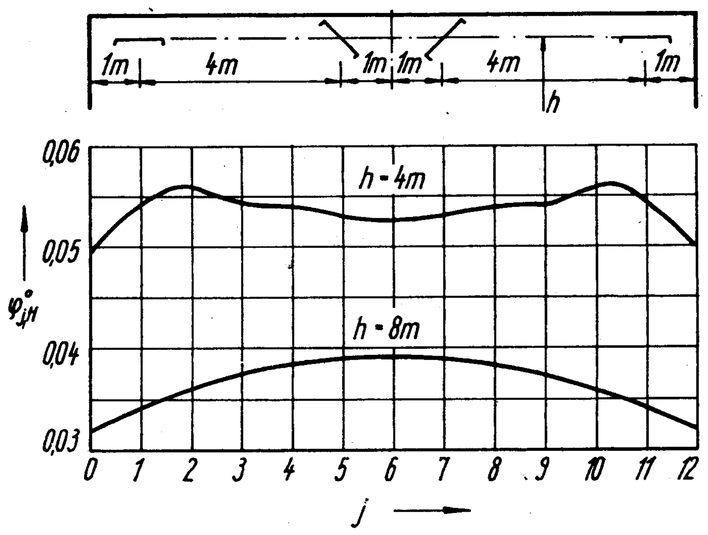


8

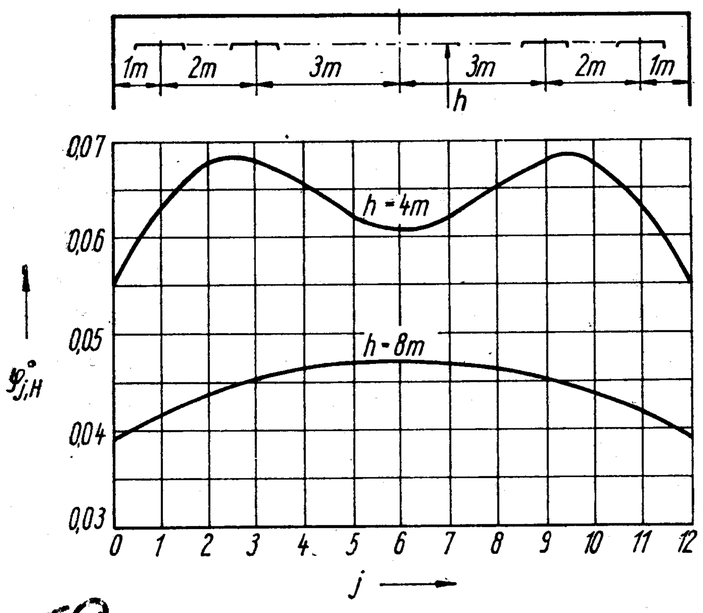


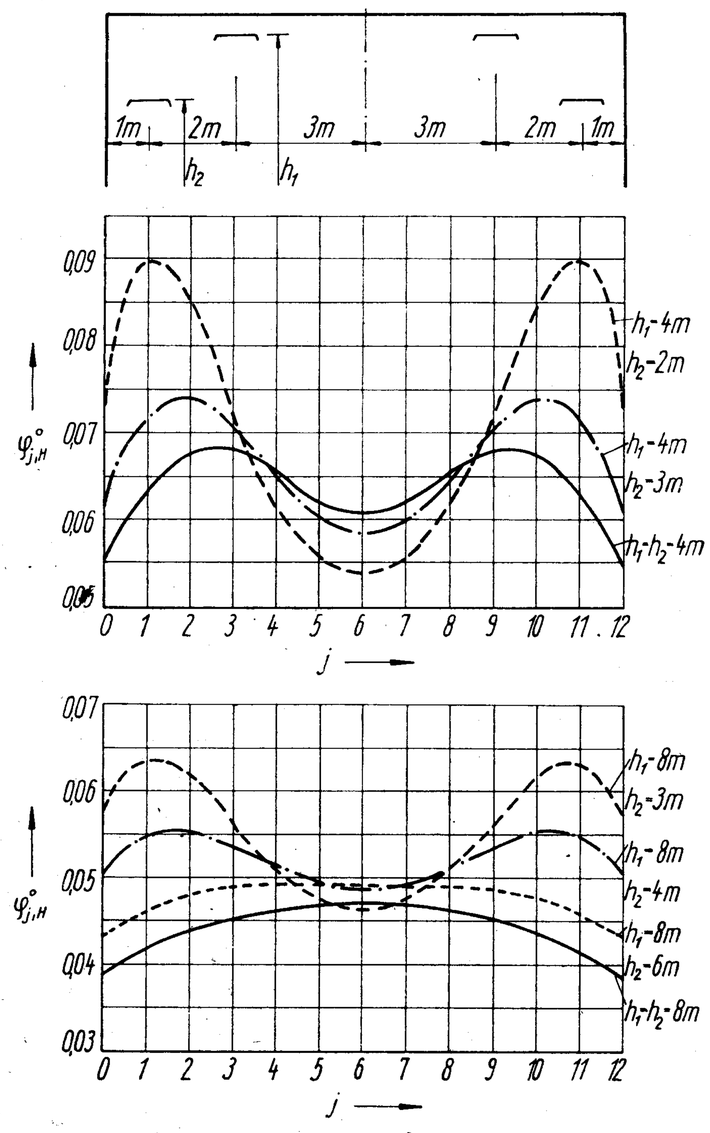
11



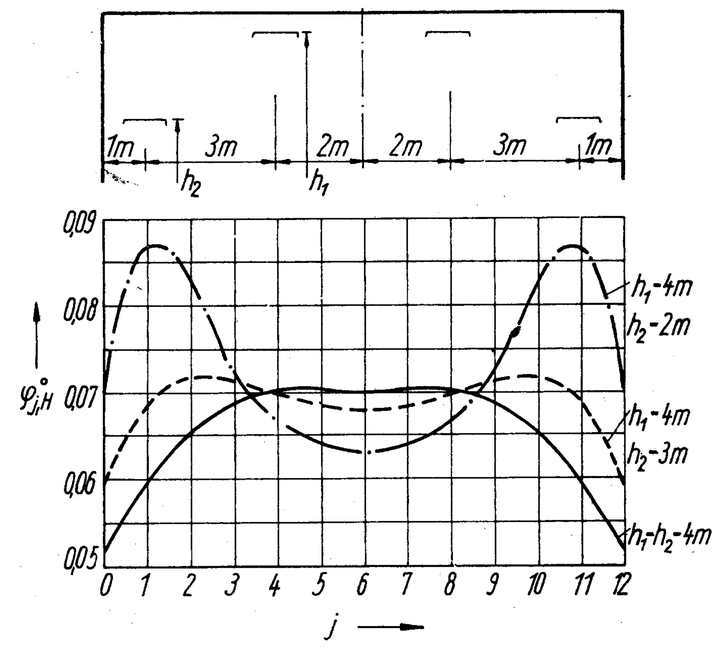


10

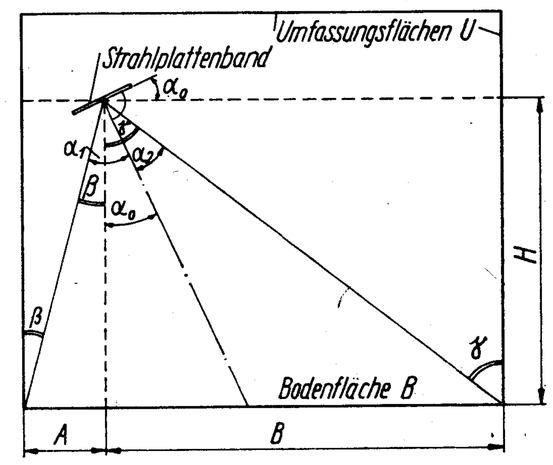




12



13



14

Selbstverständlich ist auch eine Addition der standortabhängigen Winkel, die zu den einzelnen Strahlplattenbändern effektiver Breite zu bilden sind, und die Ermittlung der Einstrahlzahl nach Gl. (4) möglich.

In Funktion der Höhe ergeben sich grundsätzlich verschiedene Verteilungen der Einstrahlzahlen. So spiegelt sich bei niedrigen Höhen die konzentrierte Anordnung an den Außenwänden deutlich wider, während bei großen Höhen die Einstrahlung auf die Meßpunkte in der Kontrollebene stark abnimmt und das Minimum der Einstrahlzahl $\varphi^{\circ}_{j,H}$ in der Hallenmitte liegt. Damit zeigt sich, daß die Höhe — in der die Strahlplatten angeordnet sind — dominierenden Einfluß auf die Verteilung der Strahlung nimmt.

Im Bild 10 sind schräge Strahlplatten nahe der Hallenmitte angeordnet, sie sollen vorrangig die Randzonen bestrahlen. Als Folge der gewählten Anordnung ergeben sich durchweg niedrigere Einstrahlzahlen. Der ungleichmäßige Kurvenverlauf bei der Anbringungshöhe $h = 4$ m ist dadurch begründet, daß die geneigten Strahlbänder nur in einem Teil der Halle wirksam werden ($y > -4$ m).

Mit der Anordnung nach Bild 11 soll der Einfluß schräger Randzonen-Strahlbänder untersucht werden. Erwartungsgemäß folgen höhere Einstrahlzahlen in der Hallenmitte und ein größerer Abfall am Hallenrand. Dabei sei noch beachtet, daß der Wandabstand des jeweils zweiten Plattenbandes gegenüber Bild 9 von 3 m auf 2,5 m herabgesetzt wurde.

Im Bild 12 sind zwei Anbringungsebenen für Strahlplatten vorgesehen. Werden die äußeren Strahlplatten gesenkt, so erhöhen sich die Einstrahlzahlen deutlich, und das Maximum verschiebt sich in Richtung Außenwand. Während bei der Ausgangshöhe von $h_1 = 4$ m die Kurvenzüge bei Variation von h_2 lediglich markantere Extremwerte erhalten, verändert sich bei der großen Höhe $h_1 = 8$ m und tieferen Randplatten der Verlauf der Einstrahlzahlen durch Entstehen außenliegender Maxima vollkommen.

Mit der Anordnung der Strahlplatten nach Bild 13 soll der Einfluß waagerechter Strahlbandverschiebung geprüft werden. Generell ergibt sich ein Ausgleich des Kurvenprofils. Der Unterschied zwischen Maximum und Minimum wird kleiner, und die Maxima rükken näher zum Halleninneren.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß maßgebliche Änderungen der Strahlungsverteilungen durch Variationen der Höhen und des waagerechten Abstandes zur Wand erreichbar sind. Die Neigung der Strahlplatten gestattet keine gravierenden Umgestaltungen.

Lage der Strahlplatten zwecks optimaler Realisierung der praktischen Forderungen

Im vorangegangenen Abschnitt sind an praktischen Beispielen die Möglichkeiten gezeigt worden, wie der Verlauf der Einstrahlzahlen der Forderung nach Bild 1 angenähert werden kann. Jetzt sollen energiewirtschaftliche Aspekte Berücksichtigung finden, d. h. es muß untersucht werden, welcher Wärmeverlust in Kauf zu nehmen ist, um bestimmte örtliche Korrekturen der Gesamt-Einstrahlzahlen zu erreichen.

Näherungsweise gilt, daß der Teil der von den Strahlplatten emittierten Energie verlorengeht, der die Außenwand oder die Deckenfläche trifft. Der Rest wird dem Boden zugestrahlt und kommt der Aufenthaltszone zugute. Die Energieanteile sind abhängig von den Einstrahlzahlen und den Oberflächentemperaturen. Sind die inneren Oberflächentemperaturen der relativ schlecht wärmegedämmten Hallenumfassungen nahezu von der eingestrahlten Energiemenge unabhängig, so stellen die Einstrahlzahlen einen ersten Anhaltswert für den nach außen fließenden Energieverlust dar. Wird das Heizflächenband gegenüber den bestrahlten Flächen als ein streifenförmiges Flächenelement angesehen, so sind die Einstrahlzahlen vereinfacht berechenbar. Zweckmäßigerweise wird die Ermittlung zunächst auf die Bodenfläche bezogen. Nach Bild 14 folgt für die Einstrahlzahl des Strahlplattenbandes auf den Boden

$$\varphi_{S,B} = \frac{\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2}{2}, \tag{5}$$

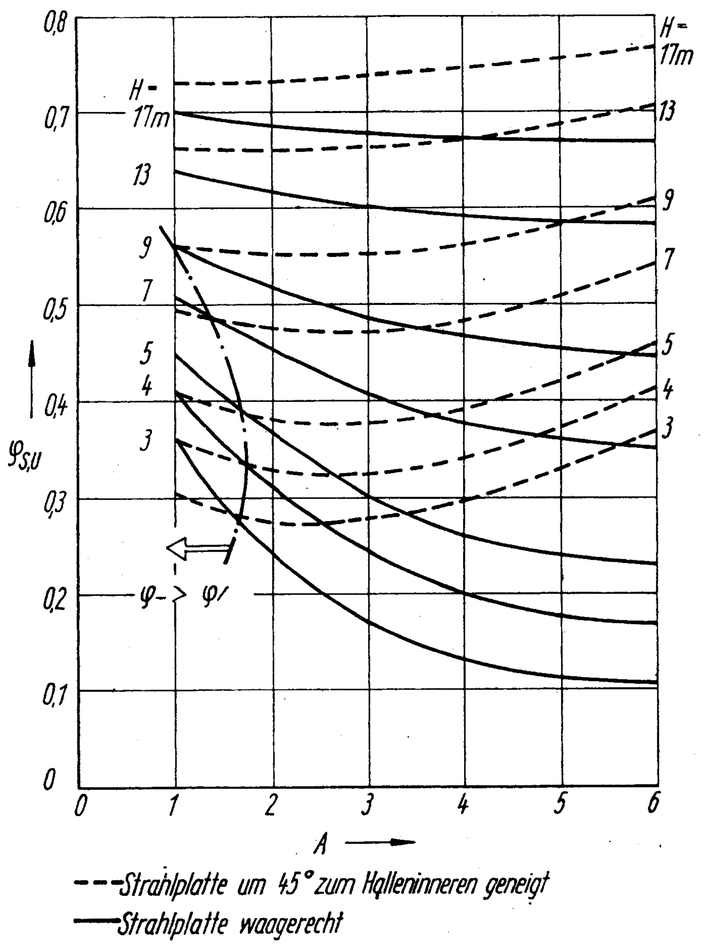
woraus sich die Einstrahlzahl des Strahlplattenbandes auf die Umfassung zu

$$\varphi_{S,U} = 1 - \varphi_{S,B} \tag{6}$$

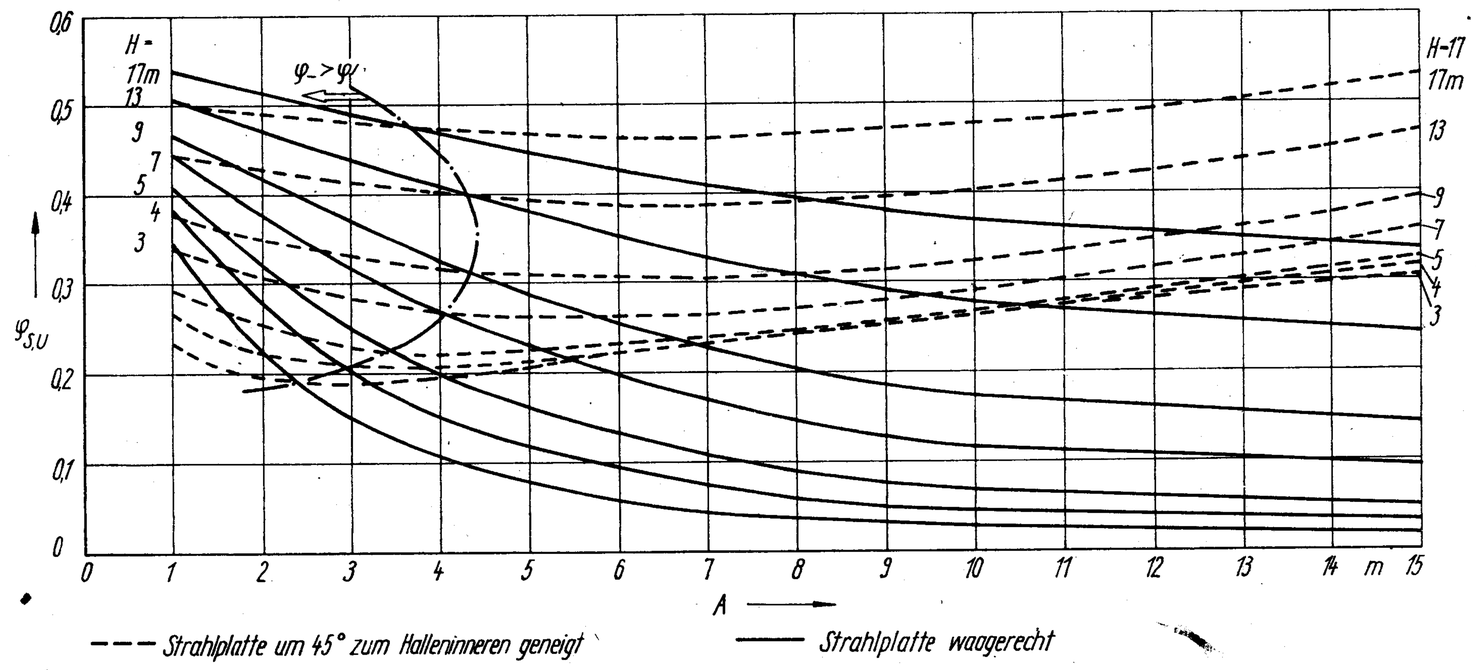
ergibt. Nach entsprechenden Substitutionen (Bezeichnungen nach Bild 14) gilt die Berechnungsgleichung

$$\varphi_{S,U} = 1 - \frac{\sin\left[\arctan \frac{A}{H} + \alpha_0\right] + \sin\left[\arctan \frac{B}{H} - \alpha_0\right]}{2}. \tag{7}$$

Die Ergebnisse für die gesamte Hallenbreite $(A + B) = 12$ m und $(A + B) = 30$ m, die Anordnungshöhen $H = 3 \ldots 17$ m sowie die Varianten $\alpha_0 = 0$ und 45° sind in Tabelle 3 zahlenmäßig angege-



15



16

Tabelle 3: Einstrahlzahlen $\varphi_{S,U}$ für waagerechte Strahlplattenbänder, Hallenbreite 12 m

Höhe H in m

A	3	4	5	7	9	13	17
1	0,360	0,409	0,447	0,507	0,558	0,639	0,699
2	0,244	0,312	0,367	0,453	0,520	0,619	0,688
4	0,132	0,199	0,264	0,376	0,465	0,591	0,673
6	0,106	0,168	0,232	0,349	0,445	0,581	0,667

Einstrahlzahlen $\varphi_{S,U}$ für um 45° geneigte Strahlplattenbänder, Hallenbreite 12 m

Höhe H in m

A	3	4	5	7	9	13	17
1	0,305	0,360	0,408	0,492	0,560	0,662	0,731
2	0,273	0,329	0,382	0,476	0,552	0,661	0,733
4	0,298	0,342	0,391	0,484	0,563	0,674	0,744
6	0,368	0,412	0,457	0,540	0,608	0,704	0,765

Einstrahlzahlen $\varphi_{S,U}$ für waagerechte Strahlplattenbänder, Hallenbreite 30 m

Höhe H in m

A	3	4	5	7	9	13	17
1	0,345	0,383	0,409	0,443	0,467	0,505	0,539
2	0,225	0,281	0,322	0,378	0,416	0,470	0,514
4	0,103	0,152	0,197	0,269	0,324	0,406	0,467
7	0,045	0,073	0,105	0,168	0,227	0,328	0,408
10	0,027	0,045	0,068	0,118	0,172	0,276	0,366
15	0,019	0,034	0,051	0,094	0,143	0,244	0,338

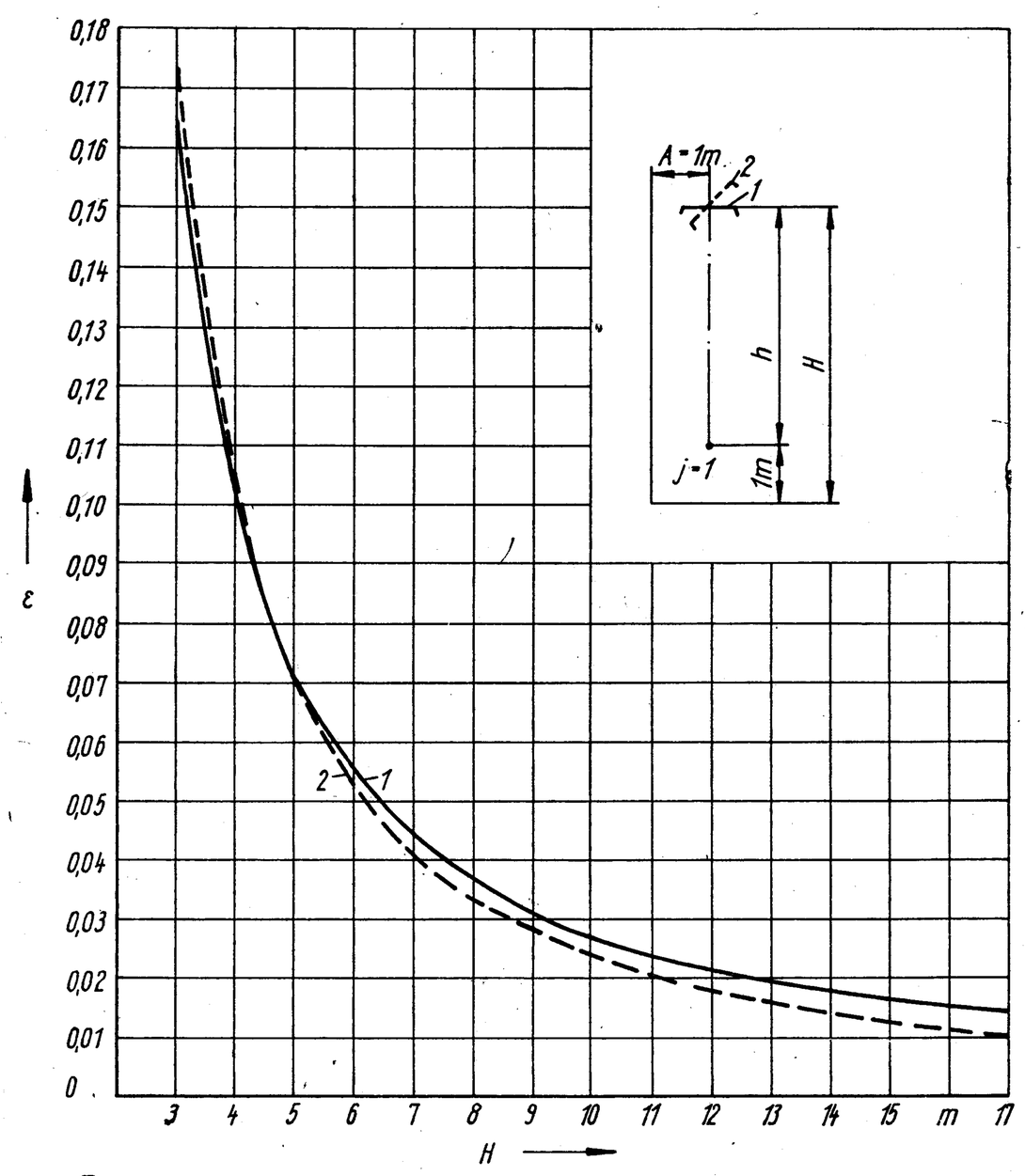
Einstrahlzahlen $\varphi_{S,U}$ für um 45° geneigte Strahlplattenbänder, Hallenbreite 30 m

Höhe H in m

A	3	4	5	7	9	13	17
1	0,237	0,269	0,296	0,339	0,377	0,442	0,500
2	0,196	0,226	0,255	0,306	0,350	0,425	0,489
4	0,194	0,204	0,223	0,268	0,315	0,400	0,472
7	0,231	0,230	0,236	0,265	0,303	0,387	0,464
10	0,263	0,263	0,268	0,291	0,323	0,400	0,476
15	0,307	0,317	0,329	0,359	0,394	0,466	0,532

ben und in den Bildern 15 und 16 grafisch ausgewertet. Dabei wird deutlich, daß bis auf einen kleinen Bereich am Hallenrand die Einstrahlzahlen der schräg angeordneten Plattenbänder $\varphi_{/}$ größer als die der waagerecht angeordneten Heizflächenstreifen φ_{-} sind.

Die Bereiche am Hallenrand, für die dies nicht zutrifft, wurden in den Diagrammen deutlich gekennzeichnet. Sie beschränken sich bei schmalen Hallen auf niedrige Anordnungshöhen H sowie Wandabstände bis maximal $A = 1{,}5$ m und vergrößern sich bei breiten Hallen auf alle praktisch möglichen Höhen H und Wandabstände bis $A = 4{,}5$ m. Außerhalb dieses Bereiches sind zur Verminderung des Energieverlustes immer waagerechte Strahlplatten anzuordnen.

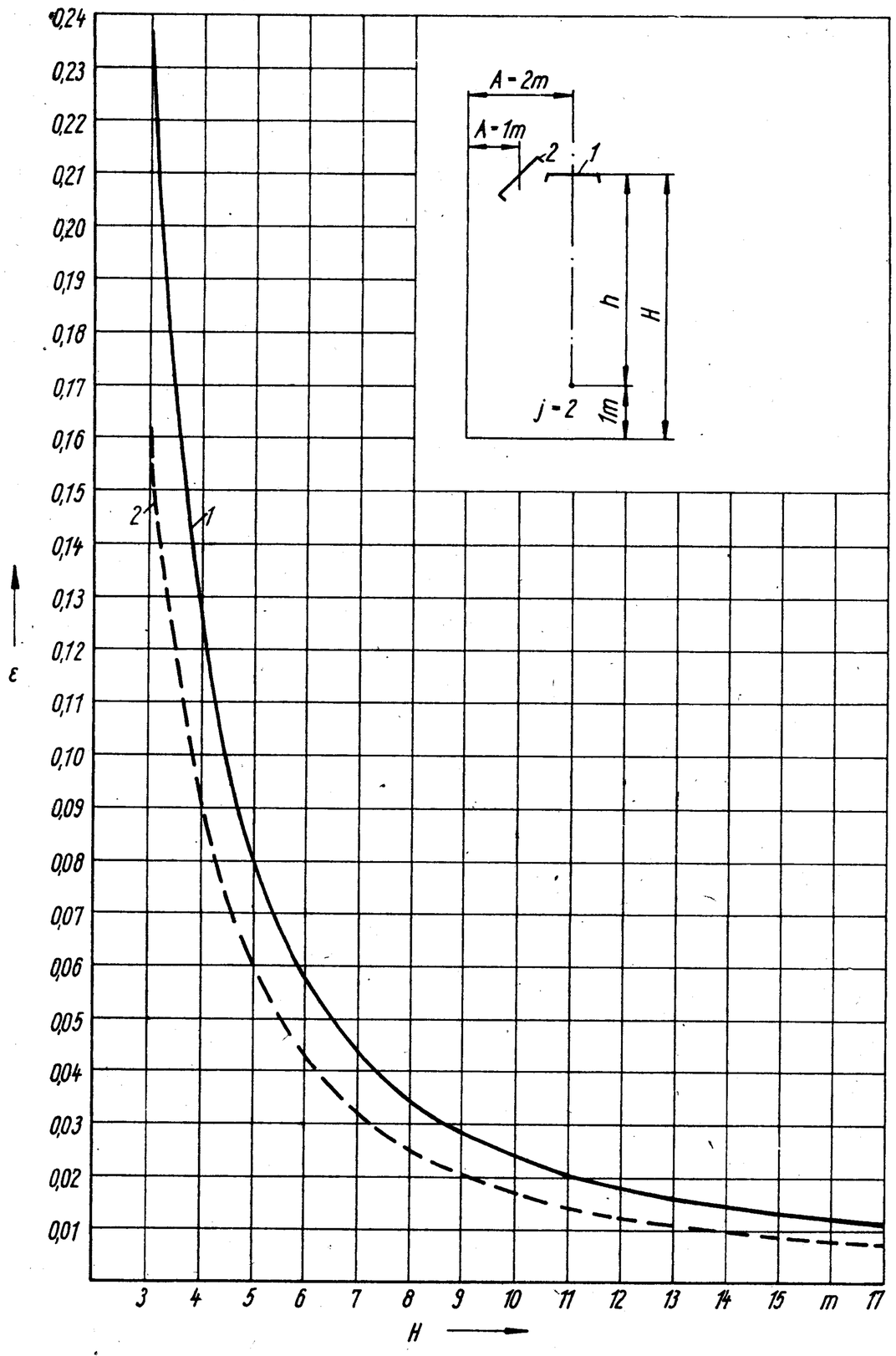


Nr 20

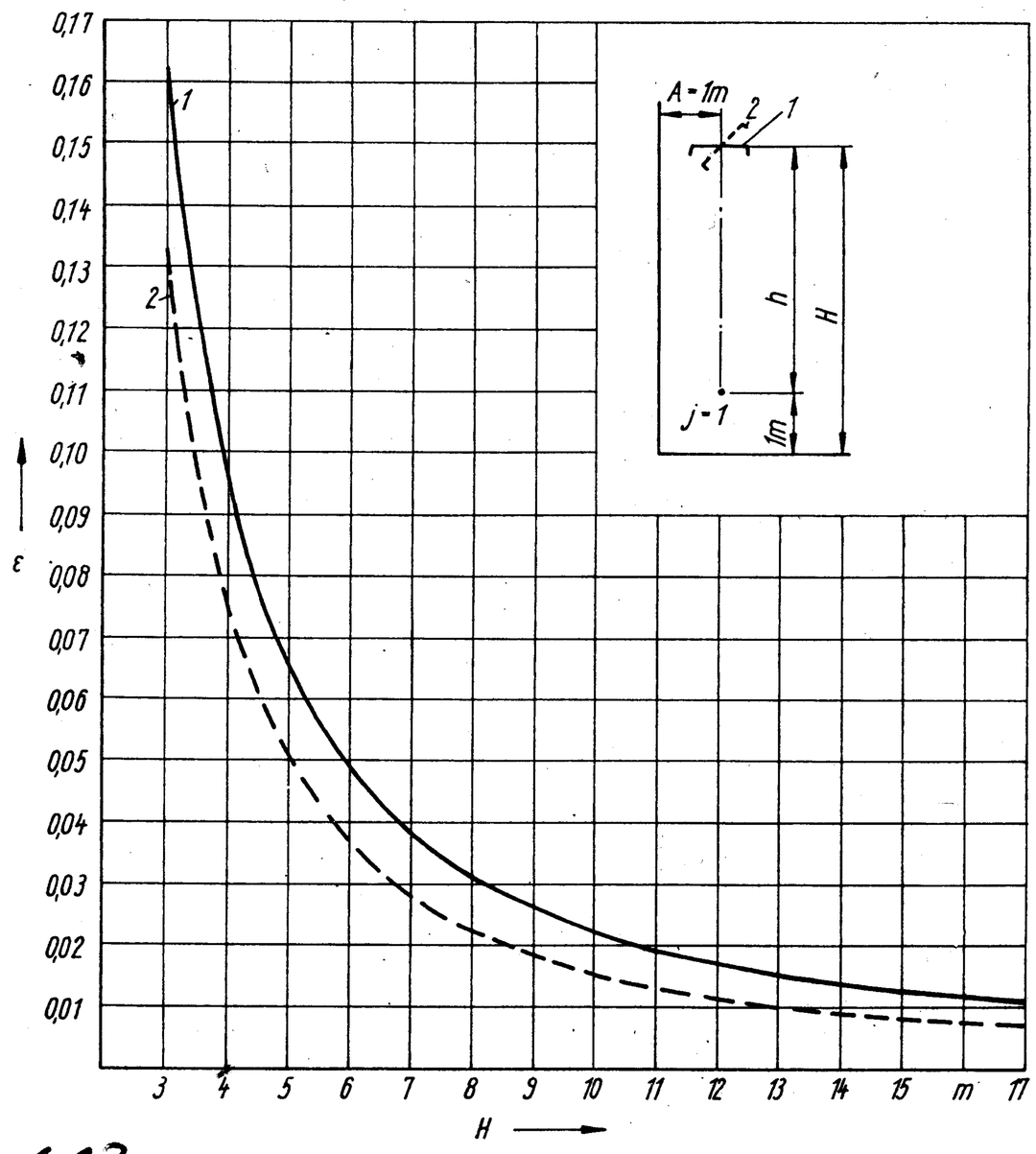
Im Inneren des charakterisierten Gebietes führen um 45° geneigte Strahlplatten zwar zu geringeren Energieströmen an die Hallenumfassungen, die Einstrahlung in die Aufenthaltszone am Hallenrand sinkt andererseits jedoch auch. Ursächlich werden Strahlplatten am Rand angeordnet, um die Behaglichkeit in diesem Bereich zu sichern, d. h. bei intensiver Bestrahlung der Aufenthaltszone ist die Bestrahlung der Außenwand zwangsläufig damit verknüpft. Um Nutzen zu Verlust quantitativ beurteilen zu können, wird eine Effektivitätskennzahl definiert.

$$\varepsilon = \frac{\varphi^{\circ}{}_{y,S}}{\varphi_{S,U}}. \qquad (8)$$

Dieses Verhältnis stellt keinen Wirkungsgrad im üblichen Sinne dar, da die beiden Einstrahlzahlen in keinem kausalen Zusammenhang stehen. Die Effektivitätskennzahlen ausgewählter Plattenanordnungen sind in den Bildern 17 bis 22 aufgetragen. Die Skizzen innerhalb der Diagramme zeigen die variierte Plattenanordnung und die Lage des kugelförmigen Elements. Die Höhe der Strahlplattenbänder über dem Hallenboden beträgt H. Sie ist als unabhängige Variable auf der Abszisse aufgetragen. Die Ebene, in der sich die Meßorte mit den Elemantarkugeln befinden, liegt zur Grundfläche in einer Höhe von 1 m. Die Bilder 17 bis 19 geben die Verhältnisse bei einer Hallenbreite von 12 m wieder. Die Einstrahlzahl ist für die Standorte $j = 1; 2; 4$ zu sichern. Die Kennzahlen ε der ausgewählten Strahlbandanordnungen zeigen eindeutig, daß waagerechte Strahlplatten, senkrecht über dem betrachteten Stand-

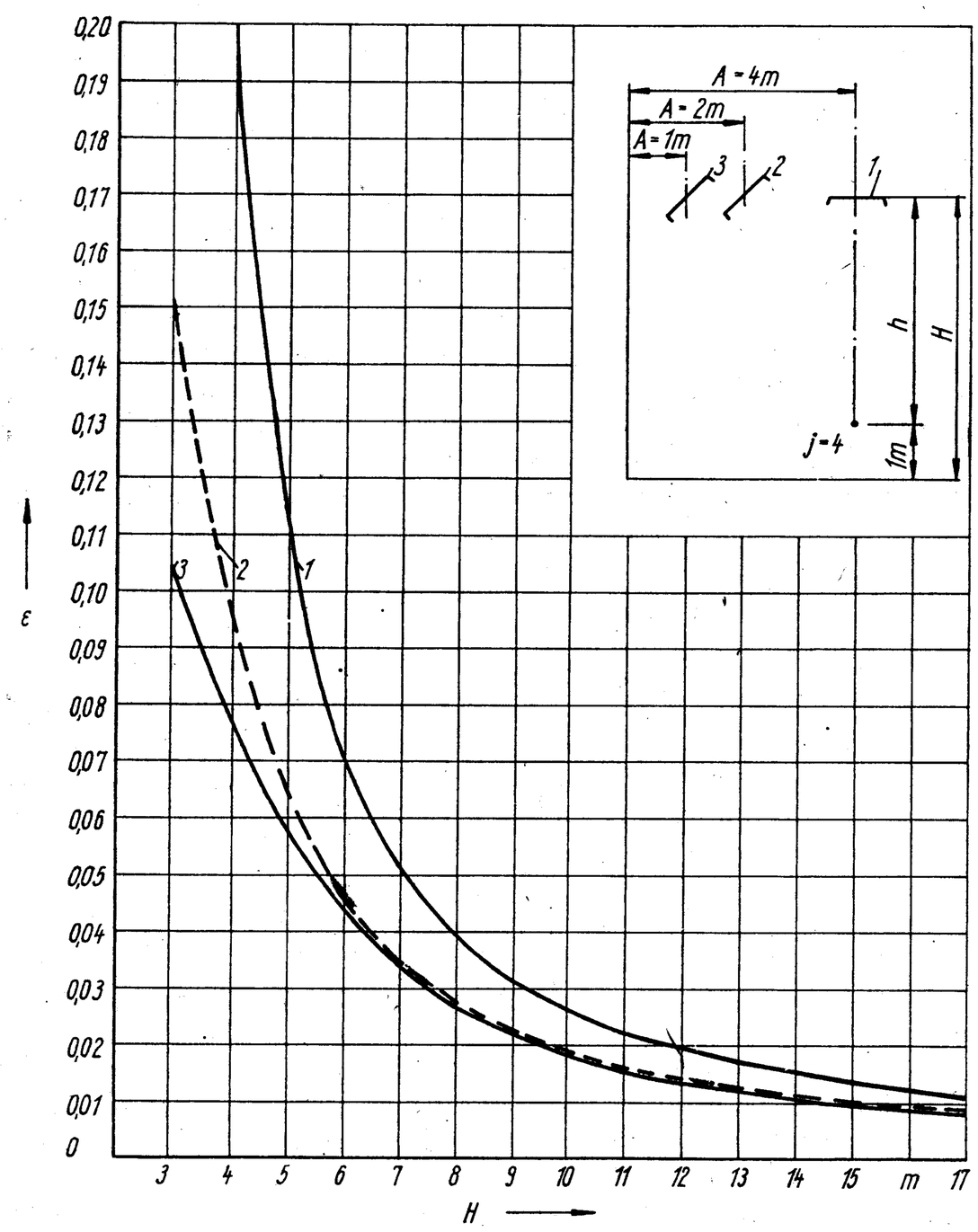

A - 2m
A - 1m
2
1
h
H
j - 2
1m
ε
H
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 m 17
0,24 0,23 0,22 0,21 0,20 0,19 0,18 0,17 0,16 0,15 0,14 0,13 0,12 0,11 0,10 0,09 0,08 0,07 0,06 0,05 0,04 0,03 0,02 0,01

18

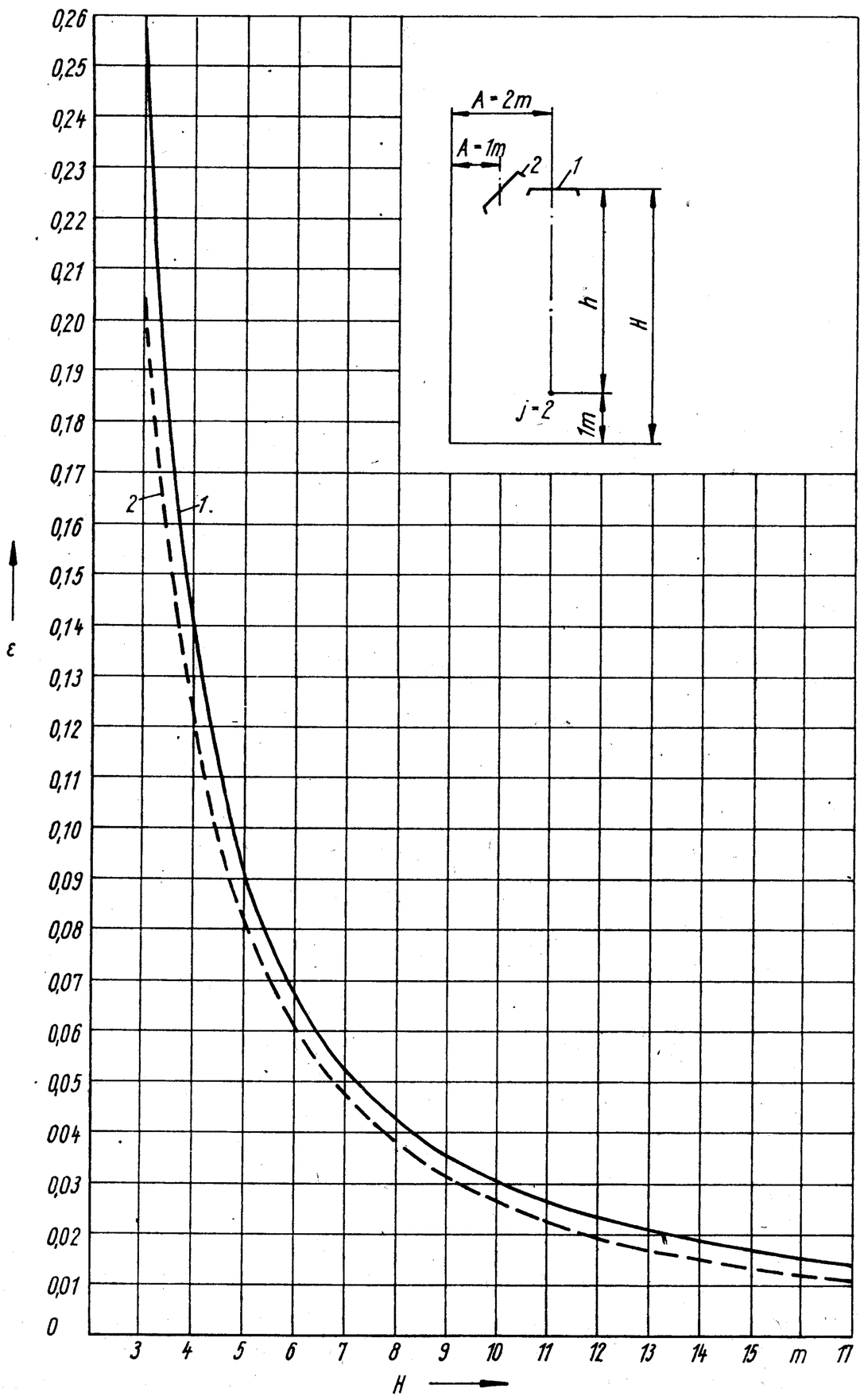

A - 1m
2
1
h
H
j - 1
1m
ε
H
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 m 17
0,17 0,16 0,15 0,14 0,13 0,12 0,11 0,10 0,09 0,08 0,07 0,06 0,05 0,04 0,03 0,02 0,01

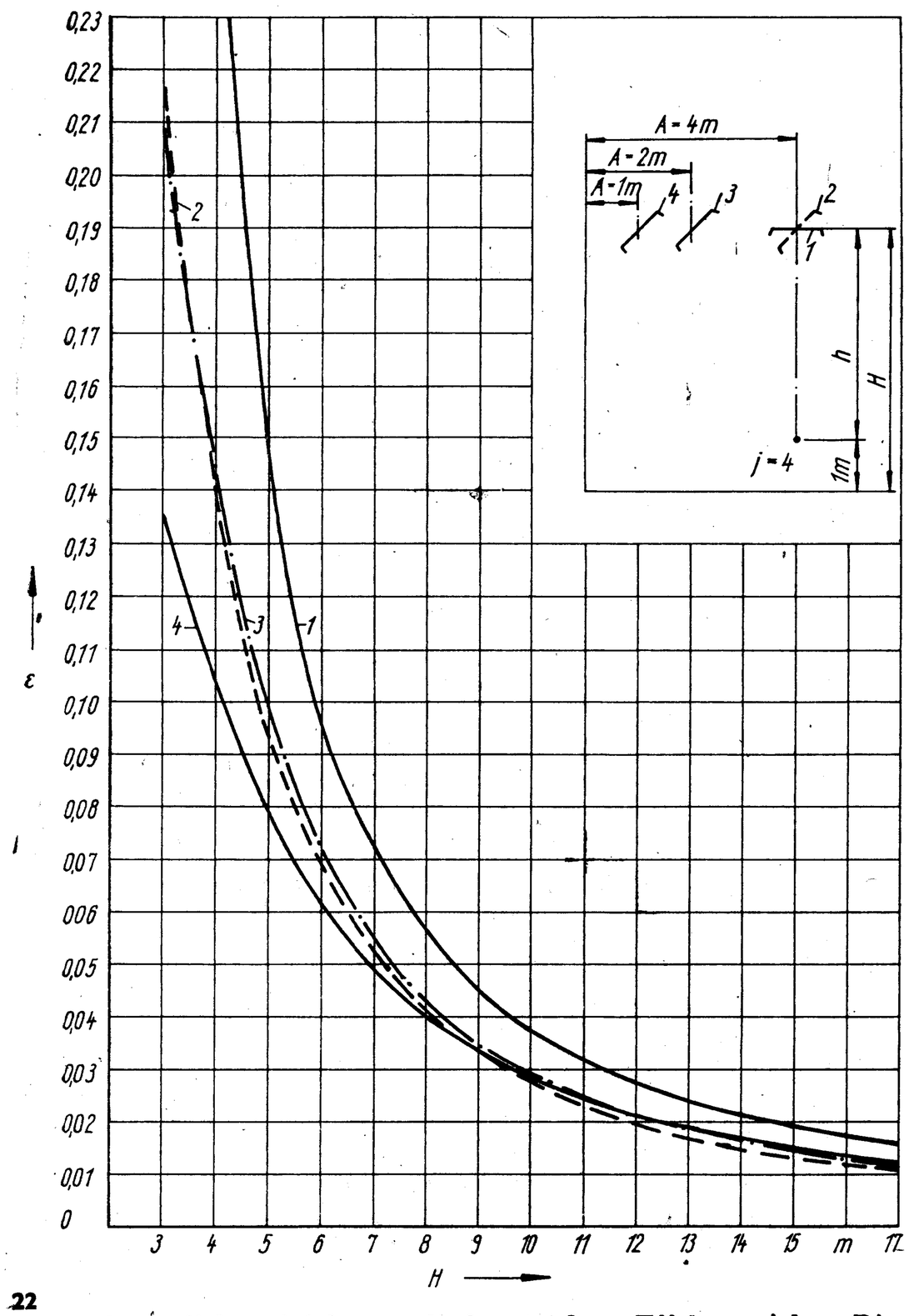
~~20~~ 17

19


A - 4m
A - 2m
A - 1m
3
2
1
h
H
j - 4
1m
ε
H
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 m 17
0,20 0,19 0,18 0,17 0,16 0,15 0,14 0,13 0,12 0,11 0,10 0,09 0,08 0,07 0,06 0,05 0,04 0,03 0,02 0,01 0

21


A - 2m
A - 1m
2
1
h
H
j - 2
1m
ε
H
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 m 17
0,26 0,25 0,24 0,23 0,22 0,21 0,20 0,19 0,18 0,17 0,16 0,15 0,14 0,13 0,12 0,11 0,10 0,09 0,08 0,07 0,06 0,05 004 0,03 0,02 0,01 0



ort und möglichst tief hängend, den größten Effekt erzielen. Dies trifft auch für die Fälle zu, bei denen nicht unmittelbar an der Außenwand Arbeitsplätze angeordnet sind (Bild 19). Fast gleiche Ergebnisse treffen zu für 30 m breite Hallen (Bilder 20 bis 22). Lediglich beim Standort $j = 1$ sind Nutzen zu Verlust näherungsweise für waagerechte und um 45° geneigte Flächen gleichwertig.

Generell kann festgestellt werden, daß waagerechte Strahlplattenbänder vorteilhafter als geneigt angeordnete sind. Dies läßt sich durch folgende Überlegungen weiter untermauern. Strahlungsheizungen sind vor allem bei schlecht wärmegedämmten Bauten energiewirtschaftlich attraktiv. Dies bedeutet, daß ein hoher Strahlungsanteil der Heizfläche gegenüber dem konvektiven Energiestrom wünschenswert ist. Letzterer führt ohnehin nur zur Erhöhung der Lufttemperatur im oberen Hallenbereich, wodurch der Wärmeverlust der oberen Umfassungswände steigt.

Die quantitativen Anteile der Wärmeströme infolge Konvektion und Strahlung können derzeit nur näherungsweise erfaßt werden.

Da die bisherigen Meßergebnisse noch nicht repräsentativ sind, wird auf Berechnungsgleichungen, die für ebene und unberohrte Platten ohne jeglichen Konvektionsschutz gelten, zurückgegriffen. Für die üblichen Oberflächentemperaturen der Strahlplattenbänder (40 . . . 160 °C) folgt damit für die Unterseite einer glatten Platte ein rechnerisches Verhältnis der Konvektions- zur Strahlungswärme von 0,5 . . . 0,6. Die um 45° geneigten Platten ergeben eine Relation von 0,6 . . . 0,7. Umgerechnet auf die Gesamt-Wärmeabgabe der Plattenunterseite steigt damit der Konvektionsanteil von etwa 35 Prozent bei waagerechten Platten auf etwa 40 Prozent bei geneigten Platten an, wodurch dem eigentlichen Anliegen der Strahlungsheizung entgegengewirkt wird.

Speziell konstruierte Schürzen zur Reduzierung der Konvektionswärmeabgabe schräger Platten werden noch nicht industriell gefertigt und erscheinen für Herstellung, Transport und Montage auch zu aufwendig.

Es gibt Vorschläge, die erhöhte Konvektion an ungedämmten und ggf. zusätzlich geneigten Platten entlang der Außenwände zur Kompensation des herabfallenden Kaltluftstromes bewußt auszunutzen.

Obwohl allgemeingültige Untersuchungen bisher noch fehlen, ist festzustellen, daß der Einbau von gesonderten handelsüblichen Konvektionsheizflächen entlang der Brüstung für die Aufenthaltszone wirkungsvoller ist.