Erforderliche Heizleistung für Hallenbauten in Abhängigkeit des Heizungssystems (Teil III, Schluß)

Dr. sc. techn. Bernd GLÜCK
VEB Forschung und Rationalisierung Technische Gebäudeausrüstung

6. Ergebnisauswertung

Den Berechnungen wurden zwei verschiedene Hallengeometrien zugrunde gelegt (Bild 18). Für die Grunduntersuchungen gelten folgende Eingabedaten (Bezeichnungen nach Abschnitt 3.):

$t_i = 15$ °C; $t_a = -15$ °C; $t_{EB} = 8$ °C
$g_{Lt} = 0{,}2$ K/m (Strahlplattenheizung (Art=1); Fußbodenheizung (Art=3))
$g_{Lt} = 0{,}5$ K/m (Luftheizung (Art=2))
$n_L = 0{,}2\ h^{-1}$; $K_L = 0{,}5$
$\varkappa_1 = \varkappa_2 = \varkappa_3 = 0{,}8$ W/(m² K)
$\varkappa_4 = 0{,}6$ W/(m² K); $\varkappa_5 = 0{,}4$ W/(m² K)
$t_S = 68$ °C
$\delta_D = 0{,}04$ m; $\lambda_D = 0{,}04$ W/(m K)
$\delta_F = 0{,}05$ m; $\lambda_F = 1{,}4$ W/(m K).

Die Hauptergebnisse sind im Bild 19 zusammengestellt. Der Koeffizient K_L, der die Aufheizung der Außenluft an den Wand- und Fußbodenoberflächen angibt, wurde mit $K_L = 0{,}5$ willkürlich gewählt. Die Ergebnisse – vornehmlich die Fußbodentemperatur – bestätigen die experimentellen Befunde, die bei Strahlungsheizungen stets um (1 . . . 2) K höhere Fußbodentemperaturen als die Lufttemperaturen im Aufenthaltsbereich ausweisen.
Wird die infiltrierte Luft vollkommen durch Mischung mit der Raumluft aufgewärmt, so gilt $K_L = 0$. Für diesen Extremfall sind die Ergebnisse im Bild 20 aufgezeichnet.
Unabhängig vom gewählten K_L-Wert lassen sich aus den Bildern 19 und 20 nachfolgende Feststellungen ableiten:

F 1. Die energetische Kennzahl ε, die den zur thermischen Behaglichkeit erforderlichen Energieaufwand charakterisiert, ist vom Heizungssystem abhängig. Sie steigt in der Reihenfolge: ***Strahlplattenheizung, Fußbodenheizung, Luftheizung.***

F 2. Der Einfluß der Hallengeometrie auf den spezifischen Energieaufwand $\dot{q}_{norm}$ ist bekanntermaßen groß, der Einfluß auf die energetische Kennzahl ε dagegen gering.
Mit zunehmender Einstrahlzahl (Decke – Boden) wird die Strahlplattenheizung effektiver, die Fußbodenheizung jedoch ungünstiger.

F 3. Unter der Voraussetzung gleichen wärmetechnischen Aufbaues der Umfassungsflächen ($\varkappa$-Werte) und gleicher Außenluftwechselzahl (n_L) sind bei Strahlplatten- und Luftheizungen die inneren Oberflächentemperaturen nur in geringem Maße von der Hallengeometrie abhängig. Bei Fußbodenheizungen ergeben sich wegen des geometrieabhängigen Energiebedarfs veränderte Fußbodentemperaturen, die auch veränderte Wand– und Deckentemperaturen bewirken.

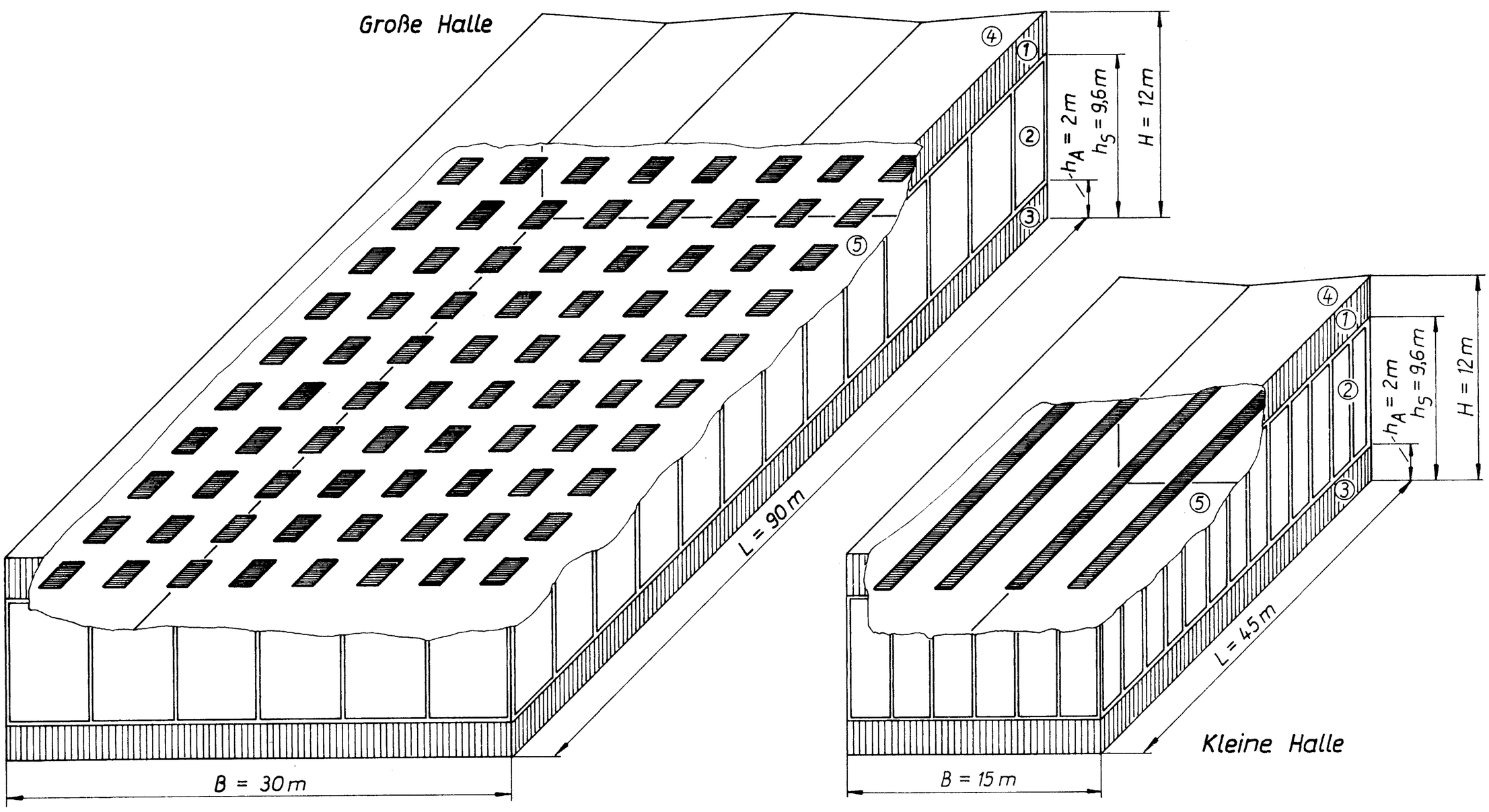
F 4. Für die Empfindungstemperatur $t_i = 15$ °C in Raummitte gelten bezüglich der Lufttemperatur t_L und der resultierenden Strahlungstemperatur t_U bei üblichem Wandaufbau und normaler Hallengeometrie folgende systemabhängige Zusammenhänge:

Strahlplatten- bzw. Fußbodenheizung	$t_L = t_i - (1 \ldots 2)$ K $\quad t_U = t_i + (1 \ldots 2)$ K
Luftheizung	$t_L = t_i + (1 \ldots 2{,}5)$ K $\quad t_U = t_i - (1 \ldots 2{,}5)$ K

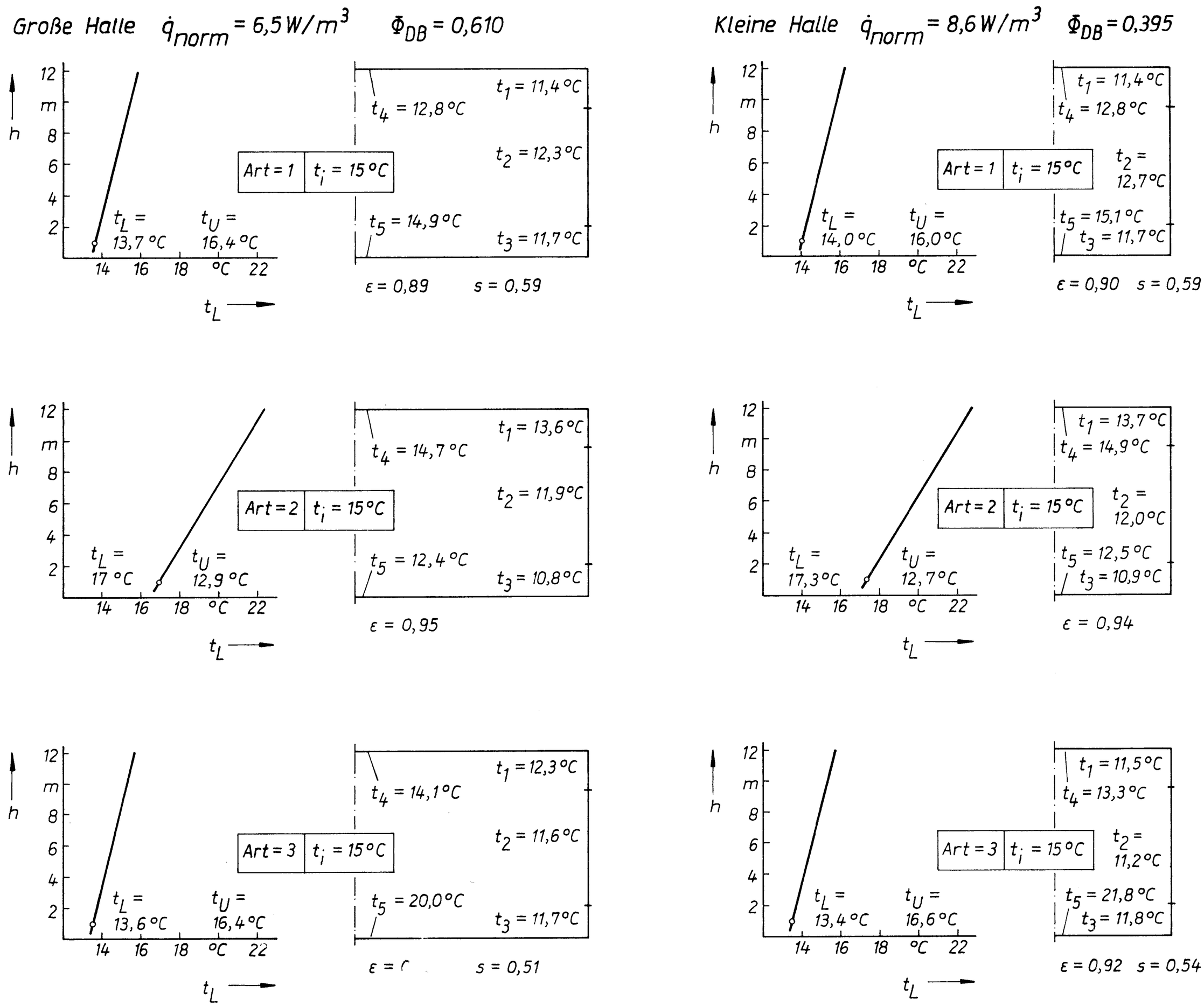
Im weiteren werden verschiedene spezielle Einflußfaktoren untersucht. Die nichtvariierten Größen entsprechen dabei den eingangs vorgestellten Grundannahmen. Die Ergebnisse sind den Bildern 21 bis 25 zu entnehmen. Aus ihnen ergeben sich nachfolgende Feststellungen:

F 5. Mit steigender Empfindungstemperatur t_i nimmt für alle Heizungssysteme die energetische Kennzahl ε zu.
(Bei Einsatz von Strahlungsheizungen ergeben sich davon unabhängig gegenüber von Fußbodenheizungen etwa 5 %, gegenüber von Luftheizungen etwa (5 ... 7) % Energieeinsparungen.)

F 6. Mit wachsender Außenluftwechselzahl n_L sinken die Energieaufwendungen für Strahlplatten- und Fußbodenheizungen, für Luftheizungen steigen sie dagegen an.



18 Geometrie der zu untersuchenden Hallen mit Kennzeichnung der Umfassungsflächen
In der großen Halle sind Strahlplatten, in der kleinen Halle Strahlplattenbänder gleichmäßig über dem Grundriß – in einer 9,60 m über dem Fußboden liegenden Ebene – verteilt, angeordnet.



19 Wärmetechnische Hauptergebnisse für die im Bild 18 dargestellten Hallen bei Installation einer Strahlplattenheizung (Art = 1), Luftheizung (Art = 2) oder einer Fußbodenheizung (Art = 3) unter Annahme, daß die Aufwärmung der infiltrierten Außenluft zu 50 % an den Wandflächen 2 und 3 sowie am Fußboden und zu 50 % durch Mischung mit der Raumfluft erfolgt (K_L = 0,5)

(Während die Energieeinsparungen der Strahlungsheizungen gegenüber Fußbodenheizungen konstant etwa 5 % betragen, können sie gegenüber Luftheizungen durchaus auf 20 % anwachsen.)

F 7. Eine Veränderung der Wärmedämmung des Daches, der Wände oder des Fußbodens bewirkt keine nennenswerte Änderung der energetischen Kennzahl ε, so daß die in **F 1.** genannten Relationen zwischen den Heizungssystemen erhalten bleiben.

Die Gestaltung und die Betriebsparameter der Strahlplattenheizung wurden detailliert untersucht. Die in den Bildern 26 bis 29 angegebenen, für die große Halle geltenden Ergebnisse erlauben folgende Feststellungen:

F 8. Die Wahl der Strahlplattentemperatur beeinflußt im praktisch üblichen Bereich die Größe der energetischen Kennzahl ε nicht.

F 9. Niedrigere Aufhängehöhen der Strahlplatten verbessern die energetischen Kennzahlen ε geringfügig.
(Die Veränderung der Einstrahlzahl – Strahlplattenebene auf Fußboden – von 0,67 auf 0,73 senkt ε um etwa 1 % .)

F 10. Die Reduzierung der auf den Strahlplatten liegenden Wärmedämmung bewirkt eine Erhöhung der energetischen Kennzahl.
(Wird die Dämmdicke von 40 mm auf 10 mm verringert, so steigt der energetische Aufwand um (2 ... 3) % .)

F 11. Die Verbesserung des Konvektionsschutzes führt auch zu einer Verringerung der energetischen Kennzahl ε.
(Wird der Konvektionskoeffizient an der Strahlplattenunterseite auf 50 % reduziert, so erfolgt dadurch eine Senkung der konvektiven Wärmeabgabe der Gesamtplatte auf 56 %, wodurch bei den heute üblichen guten Wärmedämmungseigenschaften der Hallenumfassungen nur eine Energieeinsparung von 1 % zu erwarten ist.)

Die den Berechnungen zugrunde liegenden Lufttemperaturgradienten sind praktische Werte, jedoch nicht dogmatisch in allen denkbaren Fällen den genannten Heizungssystemen zuzuordnen. Üblicherweise werden folgende Bereiche genannt:

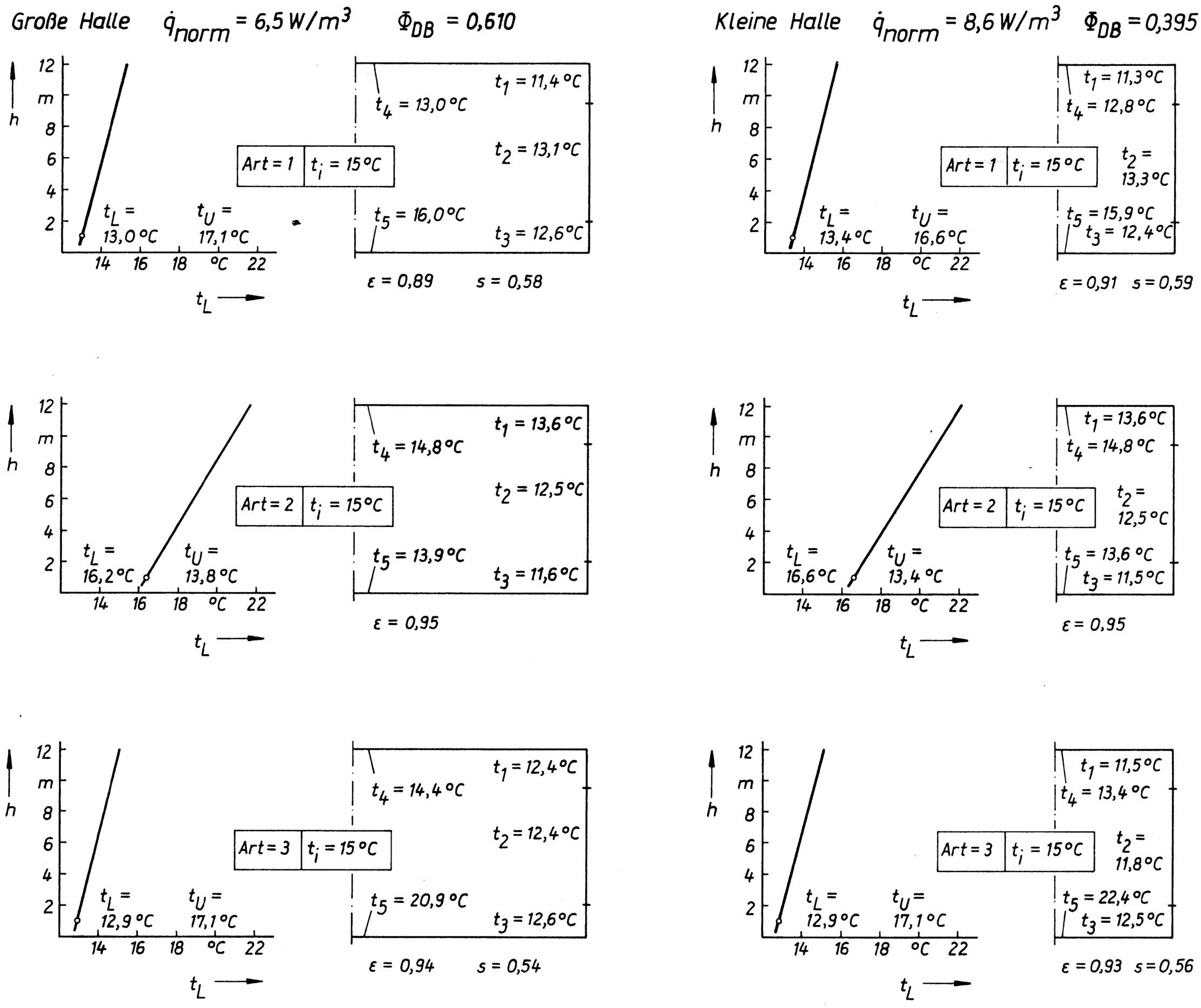
Strahlungsheizung (Art=1)	g_{Lt} = (0,1 ... 0,2 ... 0,4) K/m
Luftheizung (Art=2)	g_{Lt} = (0,4 ... 0,5 ... 1) K/m
Fußbodenheizung (Art=3)	g_{Lt} = (0 ... 0,2 ... 0,3) K/m

Um die vertikalen Lufttemperaturprofile für Strahlungsheizungen einfach zu approximieren, kann nach Bild 6 auch ein kleinerer Gradient g_{Lt} gepaart mit einem zusätzlichen Temperatursprung im Dachbereich angenommen werden. Die energetischen Kennzahlen als Ergebnis der Variation von g_{Lt} sind im Bild 30 aufgetragen. Es ergibt sich:

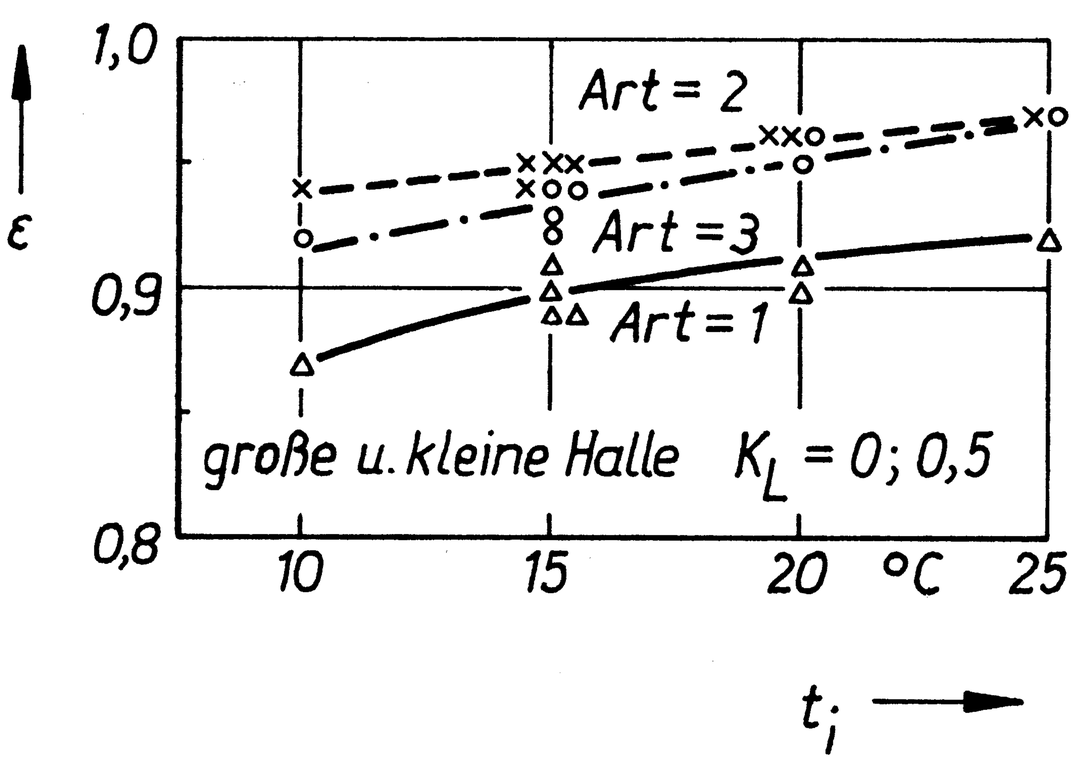
F 12. Auch unter Annahme eines relativ breiten Spektrums möglicher Lufttemperaturgradienten bestätigt sich die in **F 1.** getroffene Aussage über die energetische Effizienz der Heizungssysteme.
Die Strahlplattenheizung ist somit das energetisch günstigste Heizungssystem für Hallen.

In Außenwandnähe können sich unabhängig vom gewählten Heizungssystem Diskomfortzonen bilden. Befinden sich in diesem Bereich Arbeitsplätze, so sind beispielsweise zusätzliche Brüstungsheizflächen anzuordnen. Mitunter wird auch die Ansicht vertreten, generell einen Anteil der Heizflächen als Brüstungsheizflächen zu installieren. Mit einem gering veränderten Rechenprogramm wurde eine Strahlplattenheizung mit zusätzlicher Brüstungsheizfläche betrachtet. Es folgte:

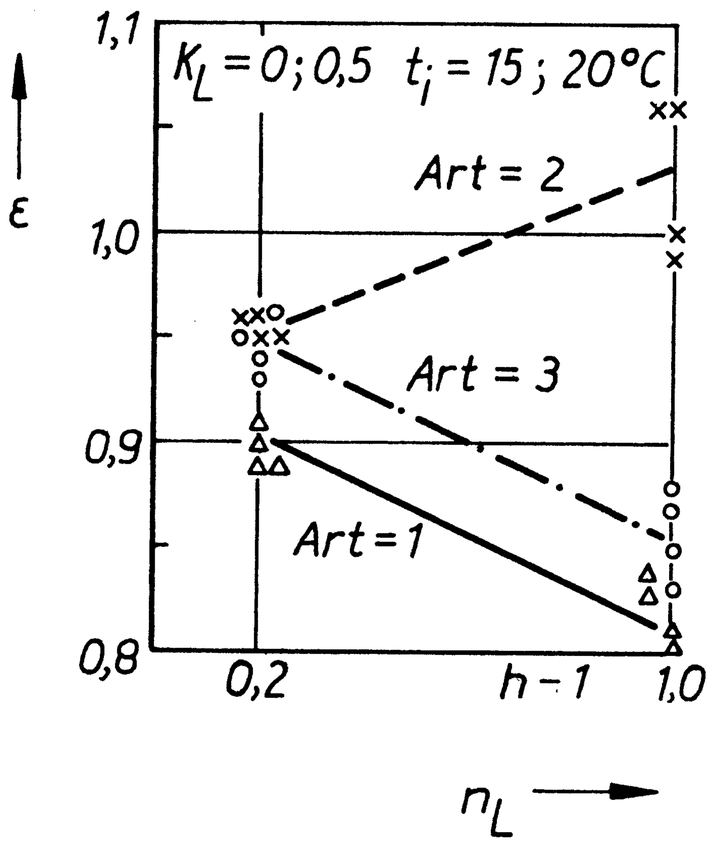
F 13. Brüstungsheizflächen sind nur an exponierten Arbeitsplätzen aufgrund partikulärer Behaglichkeitsbetrachtungen zu installieren. Eine generelle Beheizung der Brüstung reduziert die energetischen



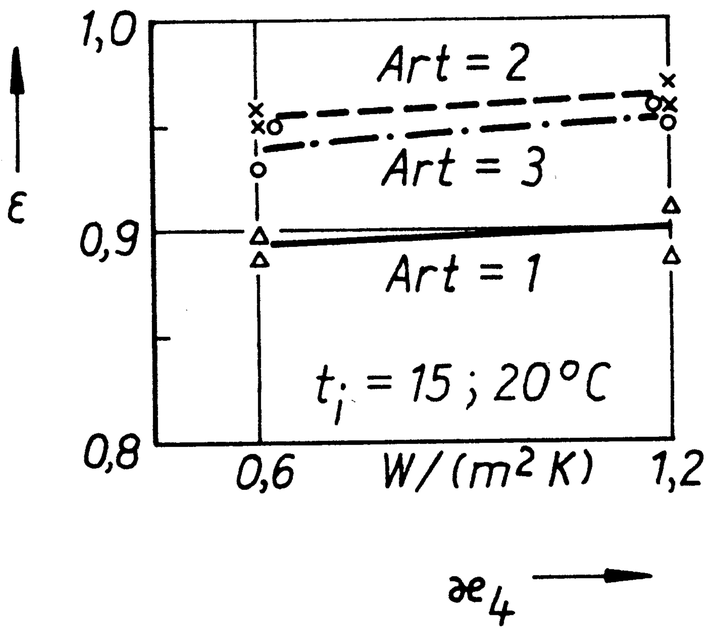
20 Wärmetechnische Hauptergebnisse für die im Bild 18 dargestellten Hallen bei Installation einer Strahlplattenheizung (Art = 1), Luftheizung (Art = 2) oder einer Fußbodenheizung (Art = 3) unter Annahme, daß die Aufwärmung der infiltrierten Außenluft zu 100 % durch Mischung mit der Raumluft erfolgt (K_L = 0)



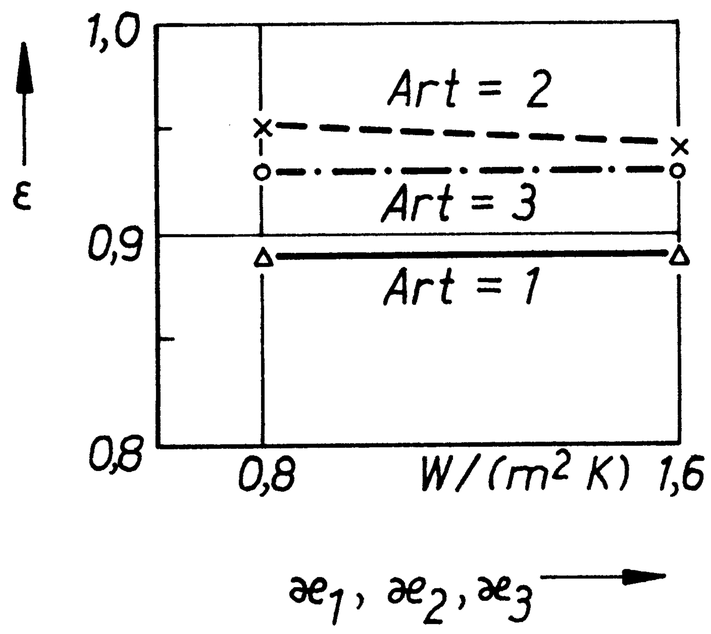
21 Energetische Kennzahl ε in Abhängigkeit der installierten Heizungssysteme und der Raumtemperatur im Aufenthaltsbereich t_i



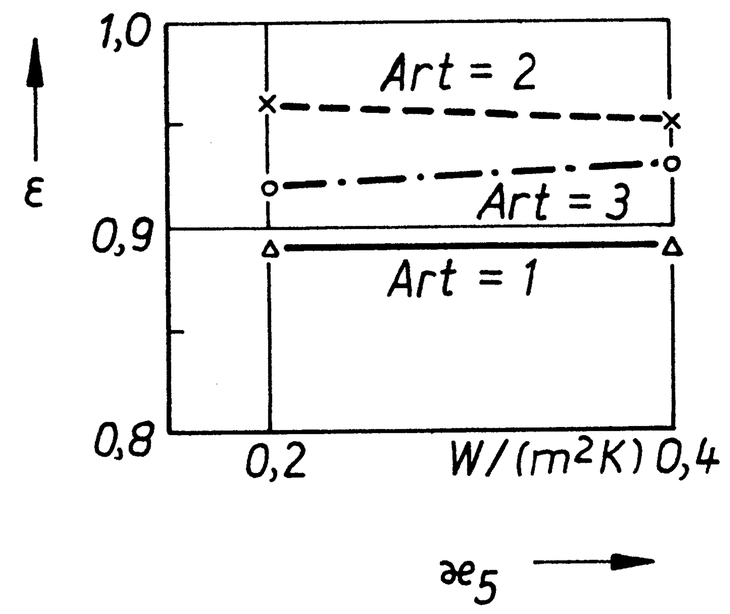
22 Energetische Kennzahl ε in Abhängigkeit der installierten Heizungssysteme und der Außenluftwechselzahl n_L



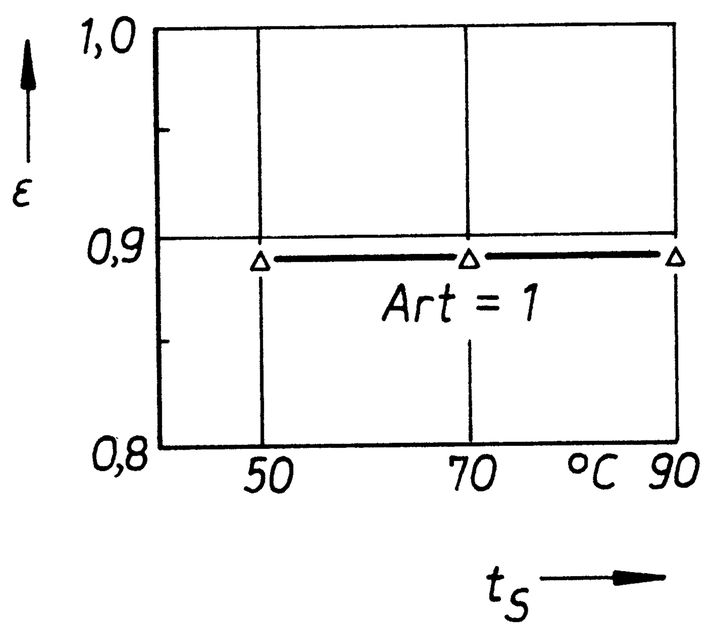
23 Energetische Kennzahl ε in Abhängigkeit der installierten Heizungssysteme und des Teilwärmedurchgangskoeffizienten des Daches $\varkappa_4$



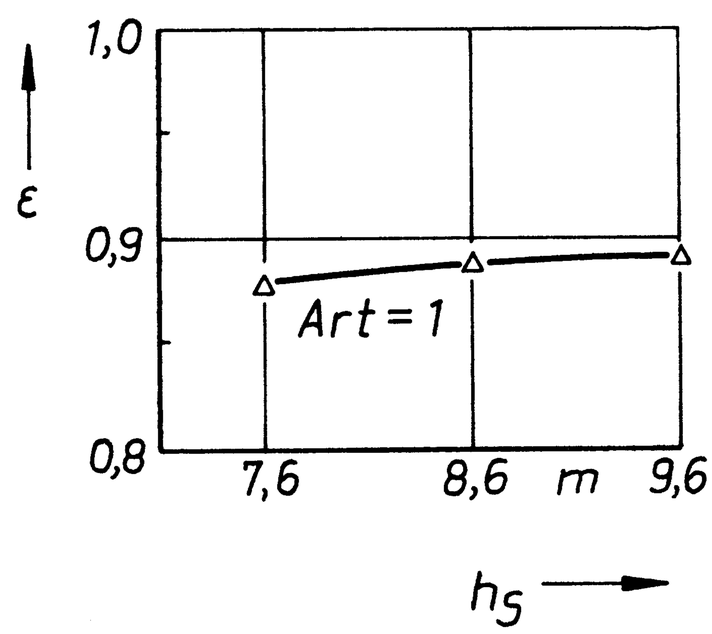
24 Energetische Kennzahl ε in Abhängigkeit der installierten Heizungssysteme und des Teilwärmedurchgangskoeffizienten der Wände $\varkappa_1$ bis $\varkappa_3$



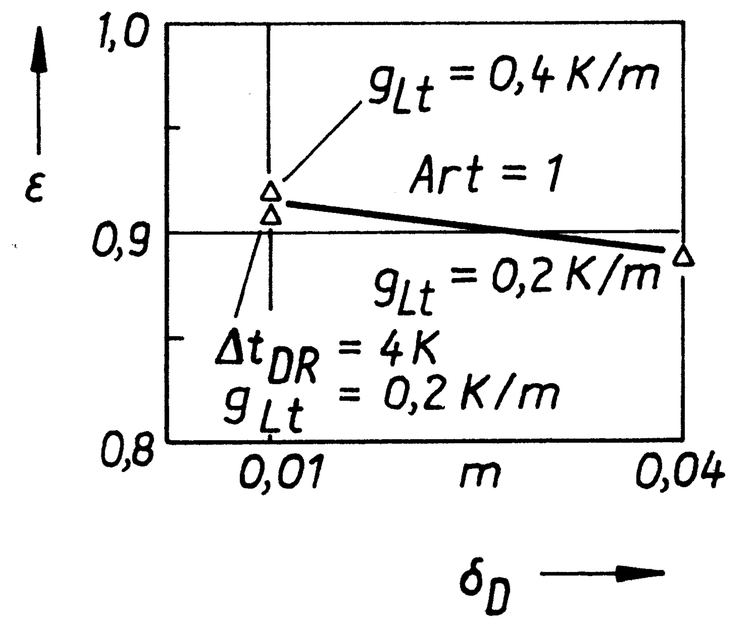
25 Energetische Kennzahl ε in Abhängigkeit der installierten Heizungssysteme und des Teilwärmedurchgangskoeffizienten des Fußbodens $\varkappa_5$



26 Energetische Kennzahl ε für eine Strahlplattenheizung in Abhängigkeit von der Strahlplattentemperatur t_S

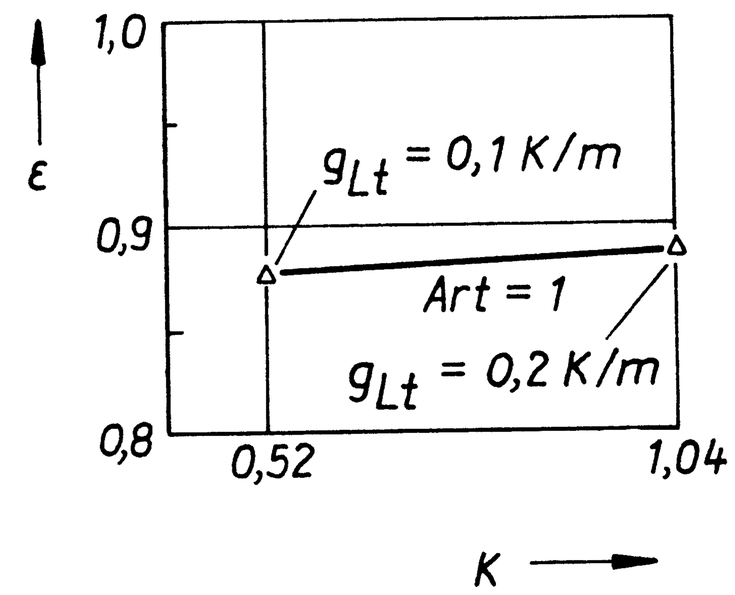


27 Energetische Kennzahl ε für eine Strahlplattenheizung in Abhängigkeit der Aufhängehöhe über dem Fußboden h_S bei einer Hallenhöhe H = 12 m

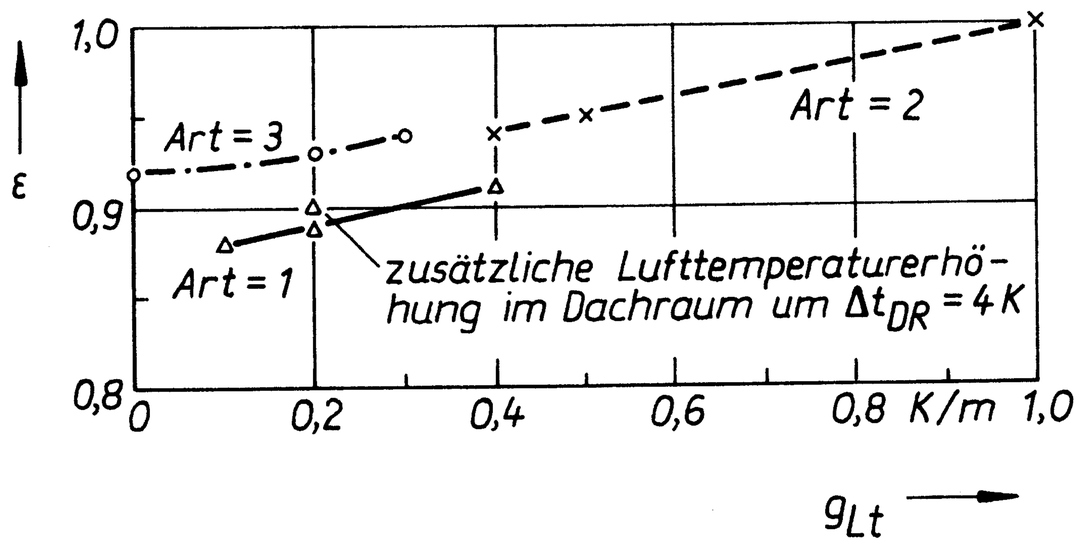


28 Energetische Kennzahl ε für eine Strahlplattenheizung in Abhängigkeit der Dämmdicke auf der Strahlplattenoberseite δ_D
Da eine Dämmdickenverringerung eine erhöhte Wärmeabgabe in den oberen Hallenraum bewirkt, wird dies im Modell durch einen größeren Lufttemperaturgradienten g_{Lt} oder durch eine erhöhte Temperatur im Dachraum Δt_{DR} berücksichtigt.

29 Energetische Kennzahl ε für eine Strahlplattenheizung in Abhängigkeit des konvektiven Wärmeübergangs an der Strahlplattenunterseite. Variiert wird der Koeffizient K in Gl. (22) an den gleichsam eine Änderung des Lufttemperaturgradienten g_{Lt} gebunden ist. Der Koeffizient K sinkt mit wirksamerem Konvektionsschutz.



30 Energetische Kennzahl ε in Abhängigkeit der installierten Heizungssysteme und der Lufttemperaturgradienten g_{Lt}



Effekte der Strahlplattenheizung. (Bei einer etwa 10 %igen Dekkung des Wärmebedarfs durch eine „milde" Tapetenheizung ergab sich eine um 2 % höhere energetische Kennzahl ε!)

7. Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Modell, das eine recht genaue Berechnung des Strahlungsaustausches und eine variierbare Erfassung der Konvektionsströme gestattet, konnten für ***stationäre*** Betriebsverhältnisse bei Beachten einer breiten Parameterpalette eindeutige Aussagen gewonnen werden.

Bei Sicherung der Behaglichkeit in Hallenmitte ergeben sich die geringsten energetischen Aufwendungen bei Installation einer Strahlplattenheizung. Es folgen dann die Fußbodenheizung und die Luftheizung konventioneller Bauart. Diese Reihenfolge gilt sowohl für den Auslegungszustand als auch für den Teillastzustand. Dabei wurden für alle betrachteten Systeme idealisierte Bedingungen, wie gleichmäßige Strahlplattenverteilung, einheitliche Fußbodentemperatur bzw. Luftheizung mit idealer Temperaturschichtung, angenommen. Um Diskomfortzonen längs der Außenwände zu wehren, wird in der Praxis von diesen Idealisierungen abgegangen. Da dies aber alle Systeme gleichartig betrifft, bleiben die gewonnenen Aussagen grundsätzlich gültig.