

Vergleich von Strahlplatten-, Gasinfrarot- und Luftheizungen in Großräumen - Teil 2

Bernd Glück, Jößnitz (Plauen)

Vergleiche zwischen Strahlungs- und Luftheizungen in Großräumen wurden in der Vergangenheit vielfältig geführt. Im Vordergrund standen in der Regel Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen. Betrachtet man die chronologische Reihenfolge, so wird der Fortschritt der Simulationstechniken sehr deutlich. Dieser ist in erster Linie an die verfügbare Rechentechnik und an die wärmetechnischen und wärmephysiologischen Erkenntnisse gebunden. Damit begründet sich auch die Sinnfälligkeit der wiederholenden Untersuchungen. Während früher die Unterschiede der Luft- und der Strahlungsheizungen im Vordergrund standen, sind nun aufgrund der detaillierteren Modellierungen auch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Strahlungsheizungen – den wasserbeaufschlagten Strahlplattensystemen und den Gashell- sowie Gasdunkelstrahlersystemen – ausführlich darstellbar.

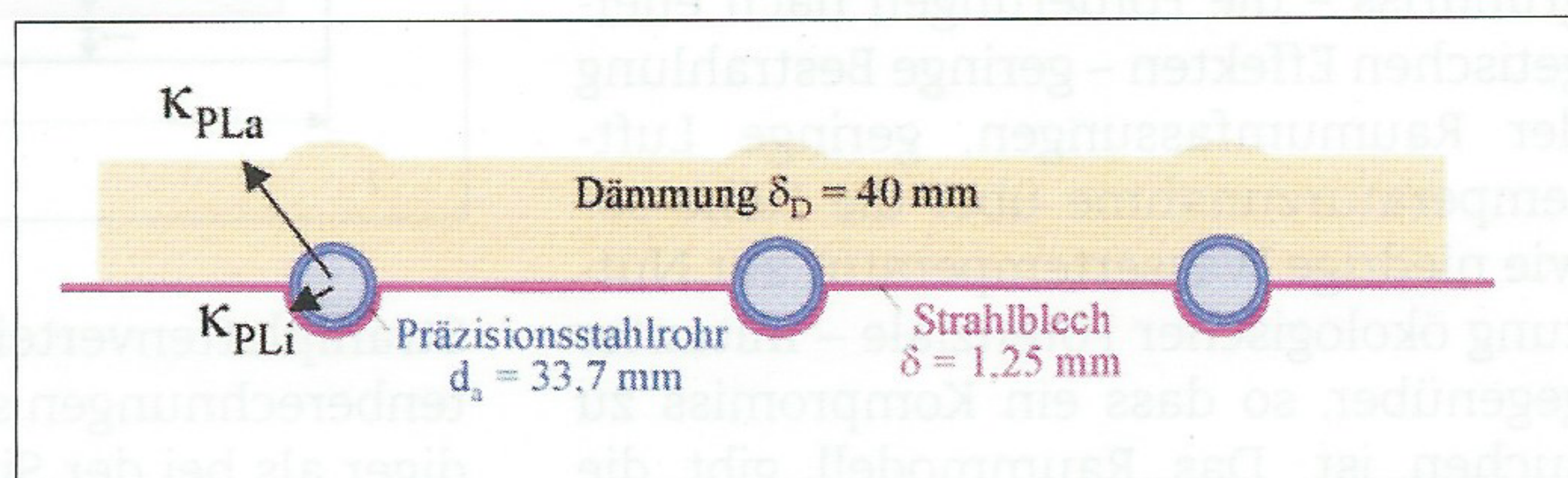


Bild 12

Skizze der modellierten Strahlplatte mit Dämmung bei einem Rohrabstand von 150 mm

Die Teilwärmedurchgangskoeffizienten κ_{PLi} und κ_{PLa} stellen die entscheidenden ins Raummodell zu übertragenden Größen dar

Im ersten Teil dieses Beitrages¹⁾ wurde das für Luftheizung und Gasstrahlerheizungen speziell erweiterte Raummodell vorgestellt und am Beispiel einer Modellhalle die unterschiedlichen Bauvarianten und die Arten der Außenluftzufuhr in Kombination untersucht. Letztlich wurden Lufterhitzer im Umlaufbetrieb modelliert und die Ergebnisse dargestellt.

Autor



Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Jahrgang 1942, betreibt ein Forschungs- und Entwicklungsbüro für Technische Gebäudeausrüstung. Gleichzeitig ist er als Honorarprofessor an der Westsächsischen Hochschule Zwickau (FH) tätig.

Strahlplattenheizung

Modellierung

Bei den Strahlplattenheizungen sind die wärmetechnischen Gegebenheiten nahezu exakt modellierbar. Dies betrifft:

- die geometrische Anordnung der Strahlungsheizflächen
- den Strahlungswärmeaustausch mit den Raumumfassungen bei getrennter Betrachtung der Vorder- und Rückseiten der Strahlplatten
- die erforderliche mittlere Heizmedientemperatur
- die wärmephysiologische Strahlungswirkung auf die Personen.

Voraussetzung für die Simulation des Gesamtsystems ist die wärmetechnische Modellierung der Strahlplatten. Selbstverständlich gibt es hierbei Produktunterschiede, die durch die Materialien (z.B. Stahl- oder Aluminiumbleche), Rohrabstände, Rohrdurchmesser, Wassergeschwindigkeit und -temperatur bedingt sind. In einer ersten Untersuchung wurden die Hochleistungs-

strahlplatten führender Hersteller analysiert und daraus der Leistungswert 550 W/m^2 bei der Normübertemperatur von $\Delta t = 55\text{ K}$ als näherungsweise Annahme entnommen. Für die im Bild 12 dargestellte Grundkonstruktion wurde ein spezielles wärmetechnisches Modell erarbeitet, das an die Algorithmen in [2; 8] angelehnt ist. Die Teilwärmedurchgangskoeffizienten κ_{PLi} und κ_{PLa} sind vom Heizwasser bis an die Strahlblechunterfläche bzw. an die Dämmschichtoberfläche definiert. Mit Kenntnis dieser Größen kann das thermisch aktive Bauelement „Strahlplatte“ dann im Raummodell integriert werden. Für die angenommene Modellplatte mit einem Rohrabstand von 150 mm gelten: $\kappa_{PLi} = 67,45\text{ W/(m}^2\text{K)}$ und $\kappa_{PLa} = 0,98\text{ W/(m}^2\text{K)}$. Unter thermisch gleichen Umgebungstemperaturen würden bei $\Delta t = 55\text{ K}$ $\dot{q}_{\text{ges}} = 510\text{ W/m}^2$ erzielt.

Nach der Festlegung der Strahlplattenkonstruktion gibt es noch eine große Parametervielfalt, die auf die Wärmephysiologie und die Größe der Heizlast wirkt. Die entscheidenden Parameter sind:

- Größe der Gesamtheizfläche (Summe aller Strahlplatten)
- Anordnung der Strahlplatten (Höhe,

¹⁾ Teil 1 dieses Beitrages ist erschienen in HLH Bd. 55 (2004) Nr. 6, S. 49-56.

Neigung, Verteilung der Strahlplatten über den Grundriss).

In diversen Herstellerunterlagen finden sich zahlreiche Regeln und Empfehlungen, wie die Anordnung der Strahlplatten vorgenommen werden sollte. In [2] und weiteren herstellerunabhängigen Ausarbeitungen sind zusätzliche Planungshinweise gegeben. Hierbei stehen den wärmephysiologischen Forderungen – gleichmäßige Empfindungstemperatur und geringe Strahlungstemperatur-Asymmetrie über dem Hallen Grundriss – die Forderungen nach energetischen Effekten – geringe Bestrahlung der Raumumfassungen, geringe Lufttemperaturzunahme über die Höhe sowie niedrige Wassertemperatur zur Nutzung ökologischer Potenziale – mitunter gegenüber, so dass ein Kompromiss zu suchen ist. Das Raummodell gibt die komplexe Verflechtung der Einflüsse sehr gut wieder. Es handelt sich hierbei um wärmephysiologische und energetische Nachrechnungen von praxisnahen

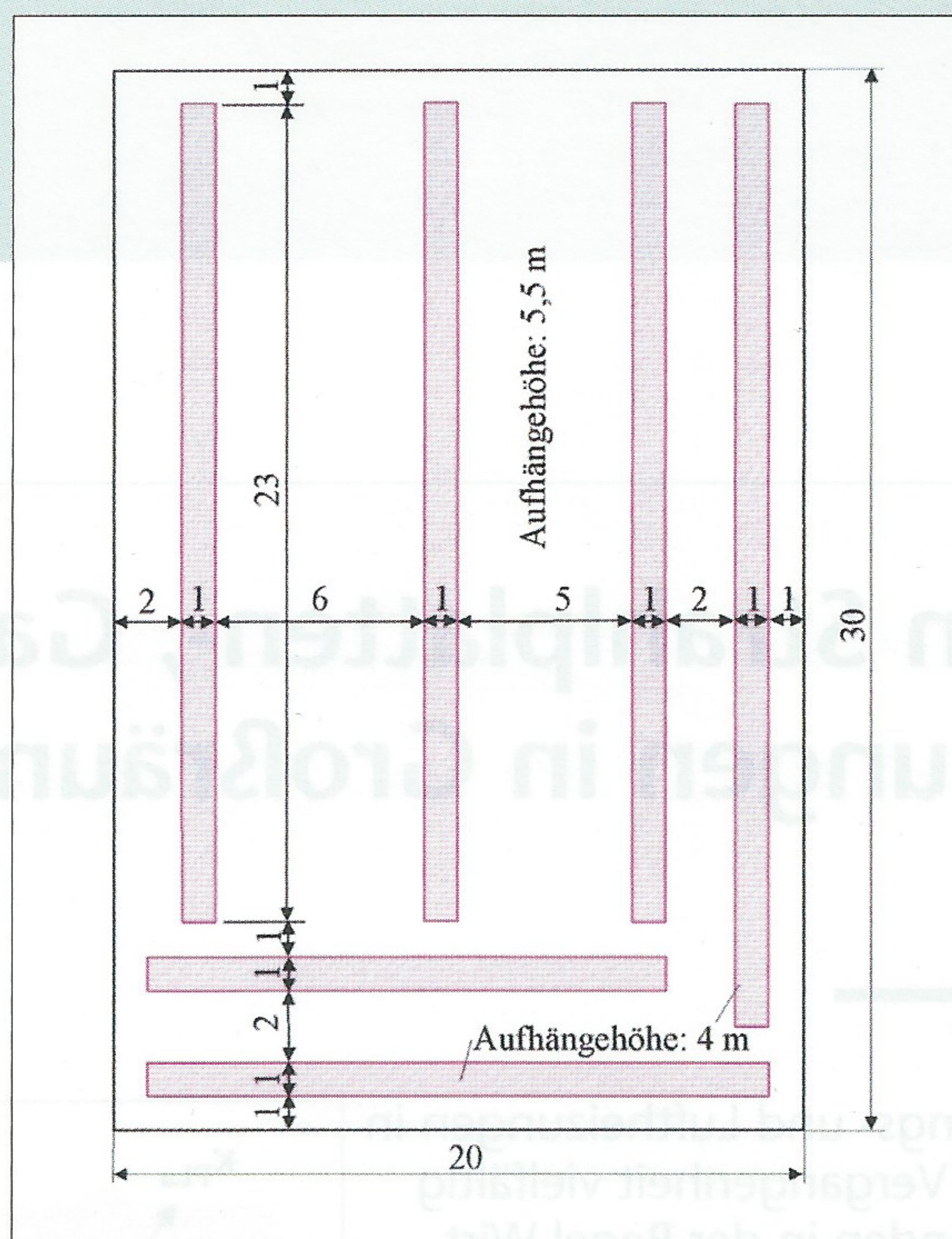


Bild 13

Strahlplattenverteilung SPV1 für die Simulation der Varianten S1_1 und S1_4
Der Außenluftwechsel beträgt im ersten Fall $0,5 \text{ h}^{-1}$ und im zweiten Fall $0,3 \text{ h}^{-1}$

Strahlplattenverteilungen. Die Variantenberechnungen sind ungleich aufwändiger als bei der Simulation der Luftheizungen, denn die Änderung der Strahlplattenanordnung verändert das Geometriemodell völlig und bedarf der Neuberechnung aller Einstrahlzahlen. Hier-

bei werden bei den freihängenden Strahlplatten auch Verschattungen beachtet. Die Anordnung der Strahlungsheizflächen kann prinzipiell als Einzelplatte oder als Band erfolgen. Letztere sind in der Regel wirtschaftlicher realisierbar und liegen auch der Simulation

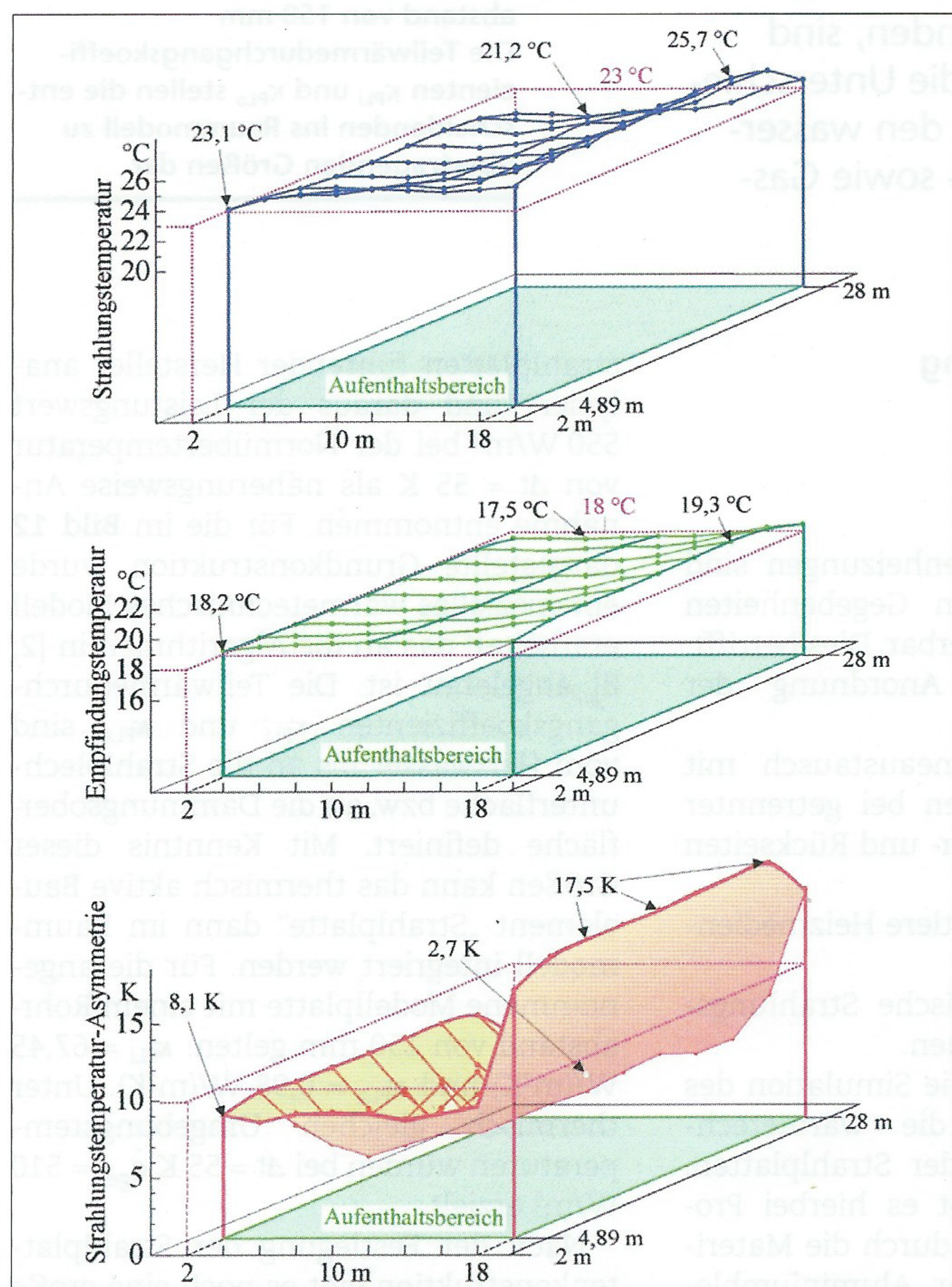


Bild 14

Strahlungstemperatur der Umgebung, Empfindungstemperatur und Strahlungstemperatur-Asymmetrie bei der Strahlplattenheizungsvariante S1_1 (Grundvariante 1 nach Tabelle 3; Strahlplattenverteilung SPV1 nach Bild 13)

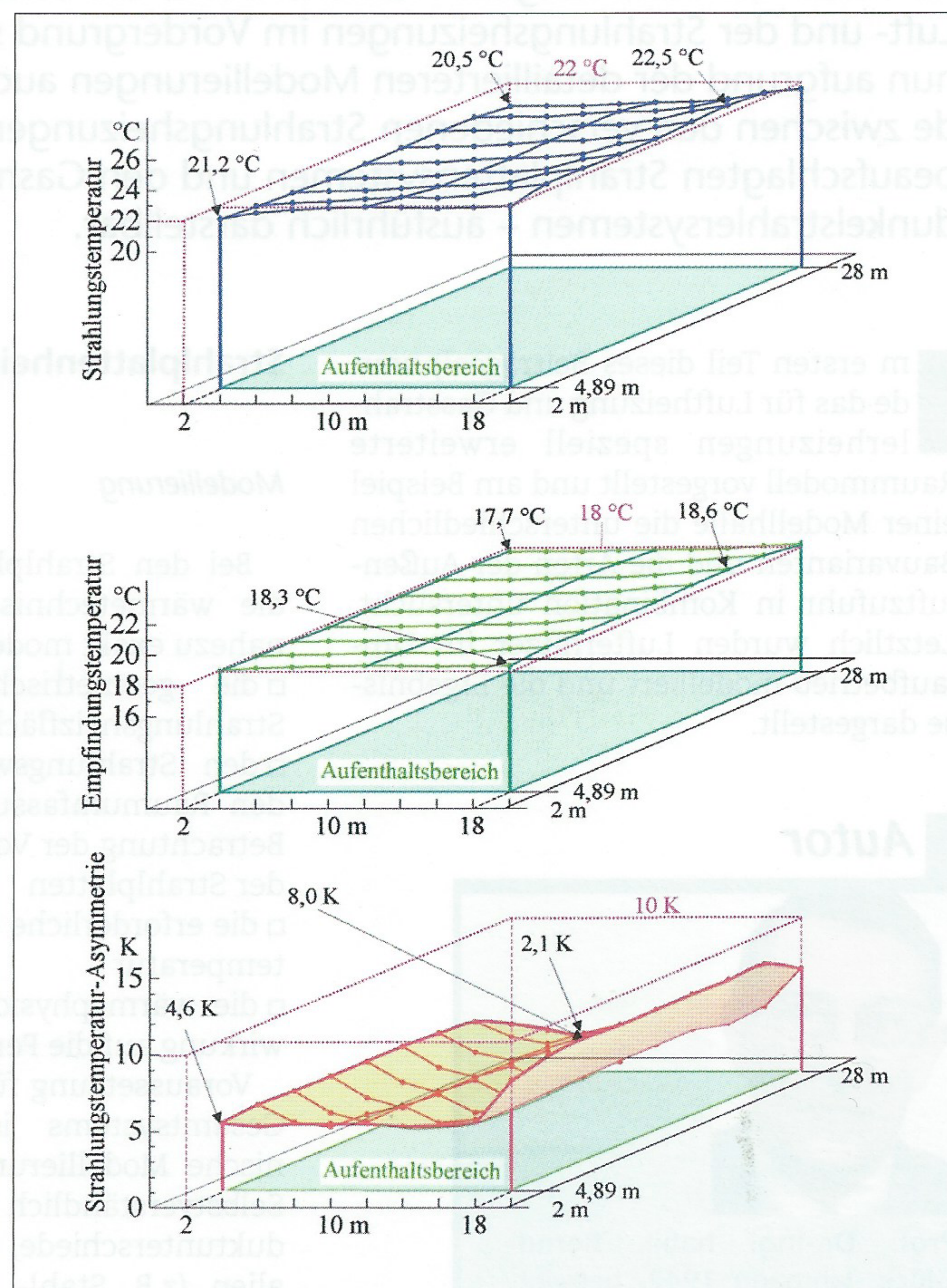


Bild 15

Strahlungstemperatur der Umgebung, Empfindungstemperatur und Strahlungstemperatur-Asymmetrie bei der Strahlplattenheizungsvariante S1_4 (Grundvariante 4 nach Tabelle 3; Strahlplattenverteilung SPV1 nach Bild 13)

zugrunde. Von den zahlreich durchgeführten Berechnungen wird nur eine Auswahl wiedergegeben, die die iterative Lösungsfindung verdeutlicht.

Die Ergebnisse sind wiederum in kompakter Form dargestellt (Tabelle und Bilder).

Ergebnisse der Strahlplattenverteilung SPV1

Im **Bild 13** ist die gewählte Anordnung der Heizbänder dargestellt. Kennzeichnend sind die an den Außenwänden abgesenkten Strahlplattenbänder auf 4 m, für alle anderen Bänder gilt die Installationshöhe von 5,5 m. Die Strahlflächenverdichtung längs der Fassaden soll die kalten Flächen kompensieren. Die Gesamtfläche an Strahlbändern beträgt 128 m². Die allgemeinen Ergebnisse zu den beiden Varianten S1_1 und S1_4 finden sich in **Tabelle 6** und die Temperaturverteilungen in den **Bildern 14** und **15**. Der vertikale Lufttemperaturgradient ist in der Gesamtgegenüberstellung im Bild 19 mit vermerkt. Es folgen die Feststellungen:

- Die Schwankung der Empfindungstemperatur über dem Aufenthaltsbereich ist außerordentlich klein. Sie beträgt über dem direkten Aufenthaltsbereich von 370 m² nur 1,8 K bzw. 0,8 K.
- Die Schwankung der Strahlungstemperatur der Umgebung beträgt dabei 4,5 K bzw. 2,0 K.
- Sehr niedrig liegen die vertikalen Lufttemperaturgradienten mit 1,4 K/m bzw. 1,1 K/m.

Relevante Größen		Variante S1_1	Variante S1_4
mittlere Empfindungstemperatur	°C	18,0	18,0
mittlere Lufttemperatur	°C	15,0	15,9
mittlere Strahlungstemperatur	°C	22,5	21,2
vert. Lufttemperaturgradient (Aufenthaltsbereich)	K/m	1,4	1,1
maximaler Unterschied der Empfindungstemperatur	K	1,8	0,8
maximaler Unterschied der Strahlungstemperatur	K	4,5	2,0
maximale Strahlungstemperatur-Asymmetrie	K	17,5	8,0
mittlere Heizwassertemperatur	°C	91,4	54,4
Transmissionsheizlast	W	58 993	20 588
Lüftungsheizlast	W	21 120	13 471
Heizlast	W	80 113	34 059
Faktor zur Vergleichsheizlast (Tabelle 4)	–	0,91	1,09

Tabelle 6

Strahlplattenheizsysteme nach Bild 13 (S1_1 schlechte Dämmung; S1_4 gute Dämmung)

□ Die Strahlungstemperatur-Asymmetrie ist bei der schlecht gedämmten Halle, Variante S1_1 im Fassadenbereich mit maximal 17,5 K sehr hoch. Bei der gut gedämmten Halle, Variante S1_4 wird mit 8 K der zulässige Grenzwert nicht überschritten.

□ Die niedrige Lufttemperatur im oberen Hallenbereich (Bild 19) reduziert die Heizlast, da die Oberflächentemperaturen relativ niedrig sind und vor allem die Fortlufttemperatur gering hält.

□ Damit werden die wärmephysiologischen Hauptvorteile der Strahlplattenheizung – die ausgeglichene Empfindungstemperatur und der sehr niedrige vertikale Lufttemperaturgradient – be-

reits bei der ersten gewählten Strahlplattenverteilung SPV1 deutlich.

□ Die energetische Betrachtung zeigt sehr gute Ergebnisse. Im Vergleich zur Luftheizung ergeben sich bei der schlecht gedämmten Halle Einsparungen von ca. 18 %, bei der gut gedämmten Halle betragen diese etwa 14 %.

□ Im Weiteren wird zur Senkung der Strahlungstemperatur-Asymmetrie eine verbesserte Heizflächenverteilung gesucht.

Ergebnisse der Strahlplattenverteilung SPV2

Im **Bild 16** ist die neugewählte Anordnung der Heizbänder mit dem Ziel, die Strahlungstemperatur-Asymmetrie im Fassadenbereich zu reduzieren, dargestellt. Die hohen Werte bei der Vorgängervariante SPV1 nach Bild 13 entstanden durch die Unterschiede der Strahlungstemperatur zwischen dem nach oben zur Decke orientierten Flächenelement und dem zur Außenwand gerichteten Element der Würfelwand. Nach Bild 5 sind dies die Flächen 6 und 3. Um die Strahlungstemperatur der Fassadenfläche zu erhöhen, wird ein Strahlplattenband vertikal zwischen 3 m und 4 m positioniert. Für alle waagrecht angeordneten Bänder gilt die Installationshöhe von 5,5 m. Die Gesamtfläche an

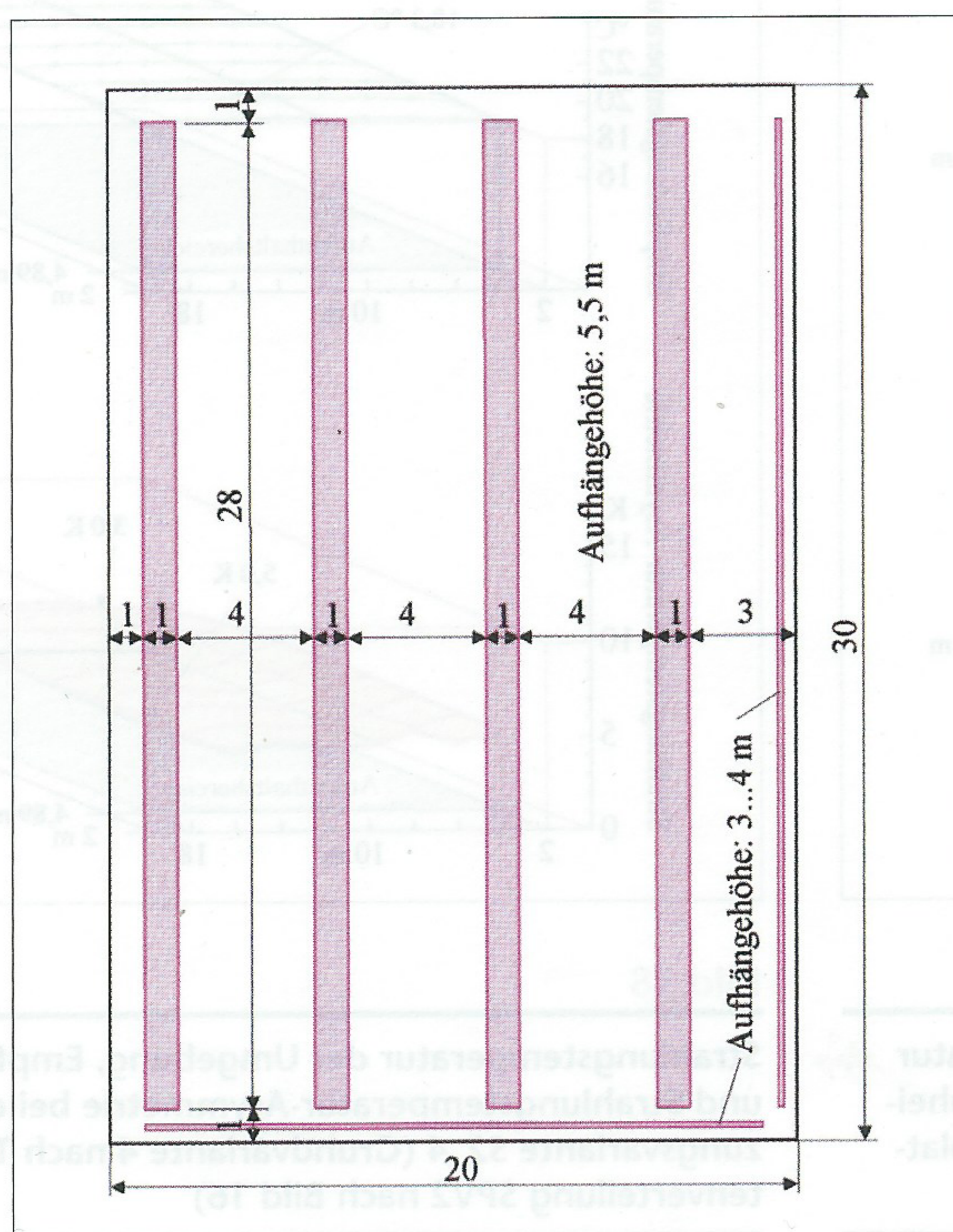


Bild 16

Strahlplattenverteilung SPV2 für die Simulation der Varianten S2_1 und S2_4

Der Außenluftwechsel beträgt im ersten Fall 0,5 h⁻¹ und im zweiten Fall 0,3 h⁻¹.

Relevante Größen		Variante S2_1	Variante S2_4
mittlere Empfindungstemperatur	°C	18,0	18,0
mittlere Lufttemperatur	°C	14,8	15,7
mittlere Strahlungstemperatur	°C	22,8	21,5
vert. Lufttemperaturgradient (Aufenthaltsbereich)	K/m	1,3	1,1
maximaler Unterschied der Empfindungstemperatur	K	1,4	0,6
maximaler Unterschied der Strahlungstemperatur	K	3,4	1,4
maximale Strahlungstemperatur-Asymmetrie	K	10,2	5,0
mittlere Heizwassertemperatur	°C	79,5	47,9
Transmissionsheizlast	W	61 331	20 795
Lüftungsheizlast	W	23 424	14 151
Heizlast	W	84 755	34 946
Faktor zur Vergleichsheizlast (Tabelle 4)	–	0,96	1,12

Tabelle 7

Strahlplattenheizsysteme nach Bild 16 (S2_1 schlechte Dämmung; S2_4 gute Dämmung)

Strahlbändern beträgt 158 m². Die Ergebnisse der beiden Varianten S2_1 und S2_4 sind **Tabelle 7** und die Temperaturverteilungen den **Bildern 17** und **18** zu entnehmen. Der vertikale Lufttemperaturgradient ist im **Bild 19** enthalten. Es gelten die Aussagen:

- Die Schwankungen der Empfindungs-

temperatur über dem Aufenthaltsbereich sinken auf 1,4 K bzw. 0,6 K.

- Die Schwankung der Strahlungstemperatur der Umgebung beträgt dabei 3,4 K bzw. 1,4 K.
- Sehr niedrig sind die vertikalen Lufttemperaturgradienten mit 1,3 K/m bzw. 1,1 K/m.

- Die Strahlungstemperatur-Asymmetrie liegt bei der schlecht gedämmten Halle, Variante S2_1 im Fassadenbereich mit maximal 10,2 K etwas über der zulässigen Obergrenze, bei der gut gedämmten Halle, Variante S2_4 dagegen mit 5 K tief im behaglichen Bereich.
- Die Lufttemperatur im oberen Hallen-

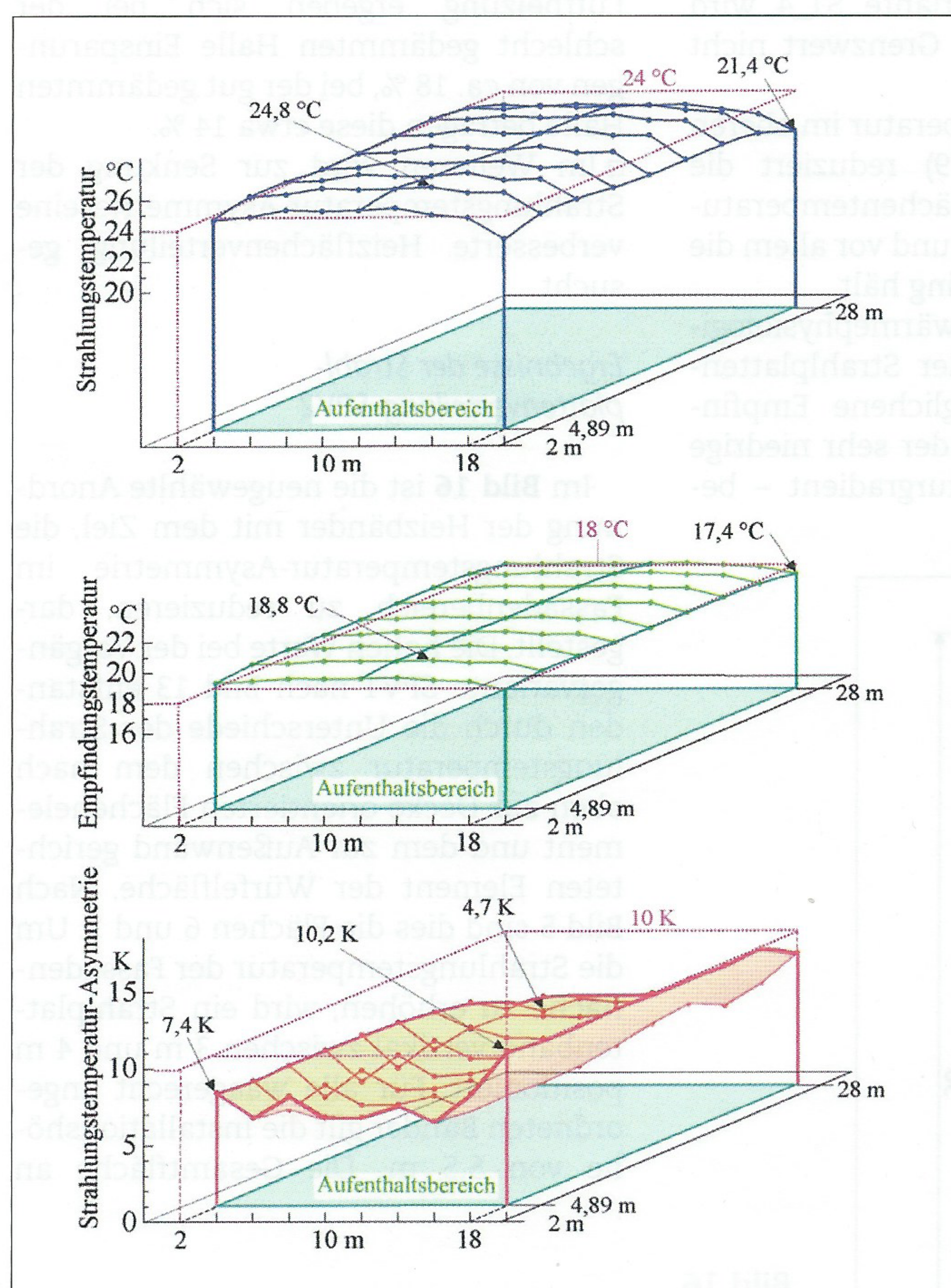


Bild 17

Strahlungstemperatur der Umgebung, Empfindungstemperatur und Strahlungstemperatur-Asymmetrie bei der Strahlplattenheizungsvariante S2_1 (Grundvariante 1 nach Tabelle 3; Strahlplattenverteilung SPV2 nach Bild 16)

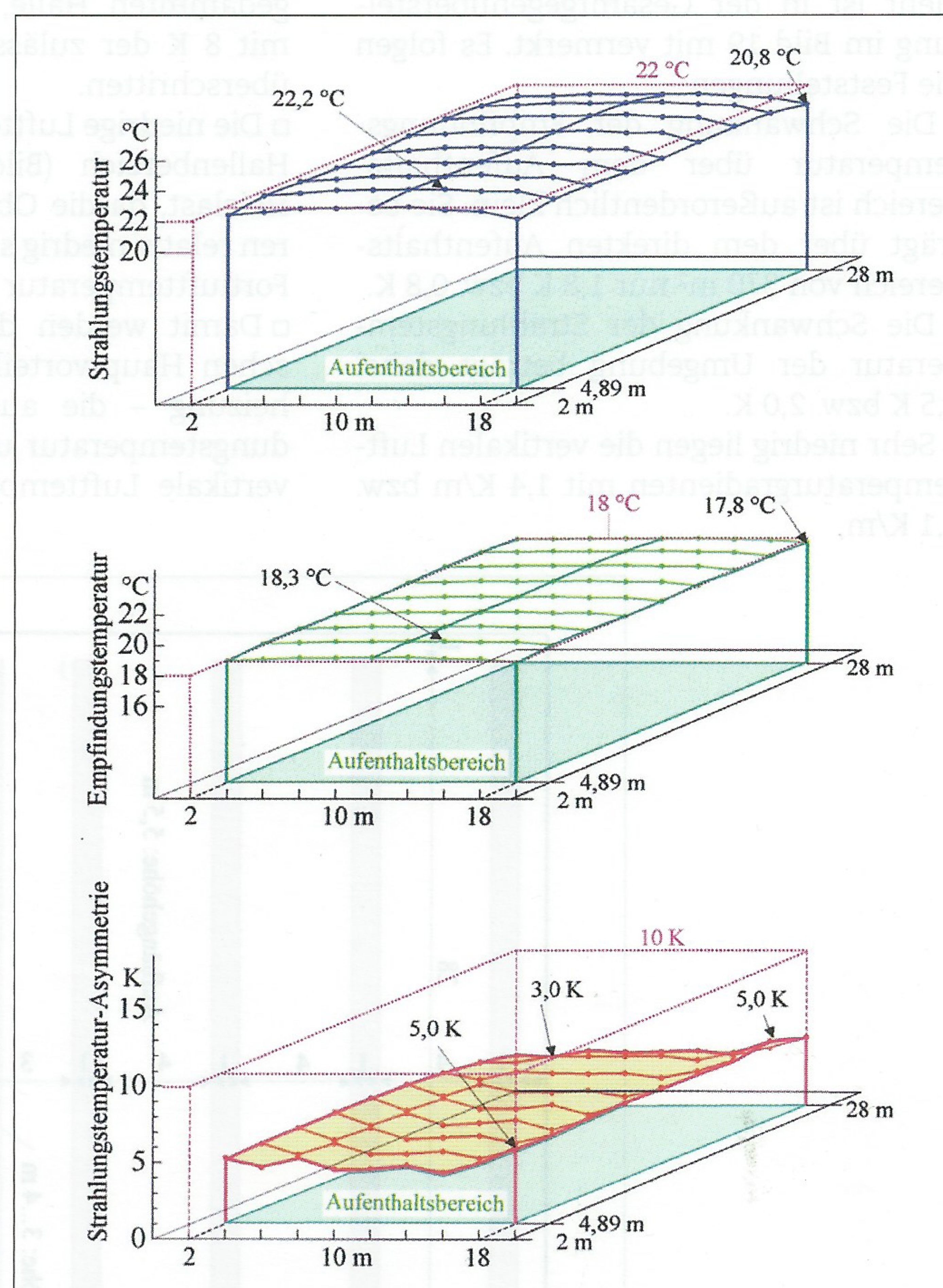


Bild 18

Strahlungstemperatur der Umgebung, Empfindungstemperatur und Strahlungstemperatur-Asymmetrie bei der Strahlplattenheizungsvariante S2_4 (Grundvariante 4 nach Tabelle 3; Strahlplattenverteilung SPV2 nach Bild 16)

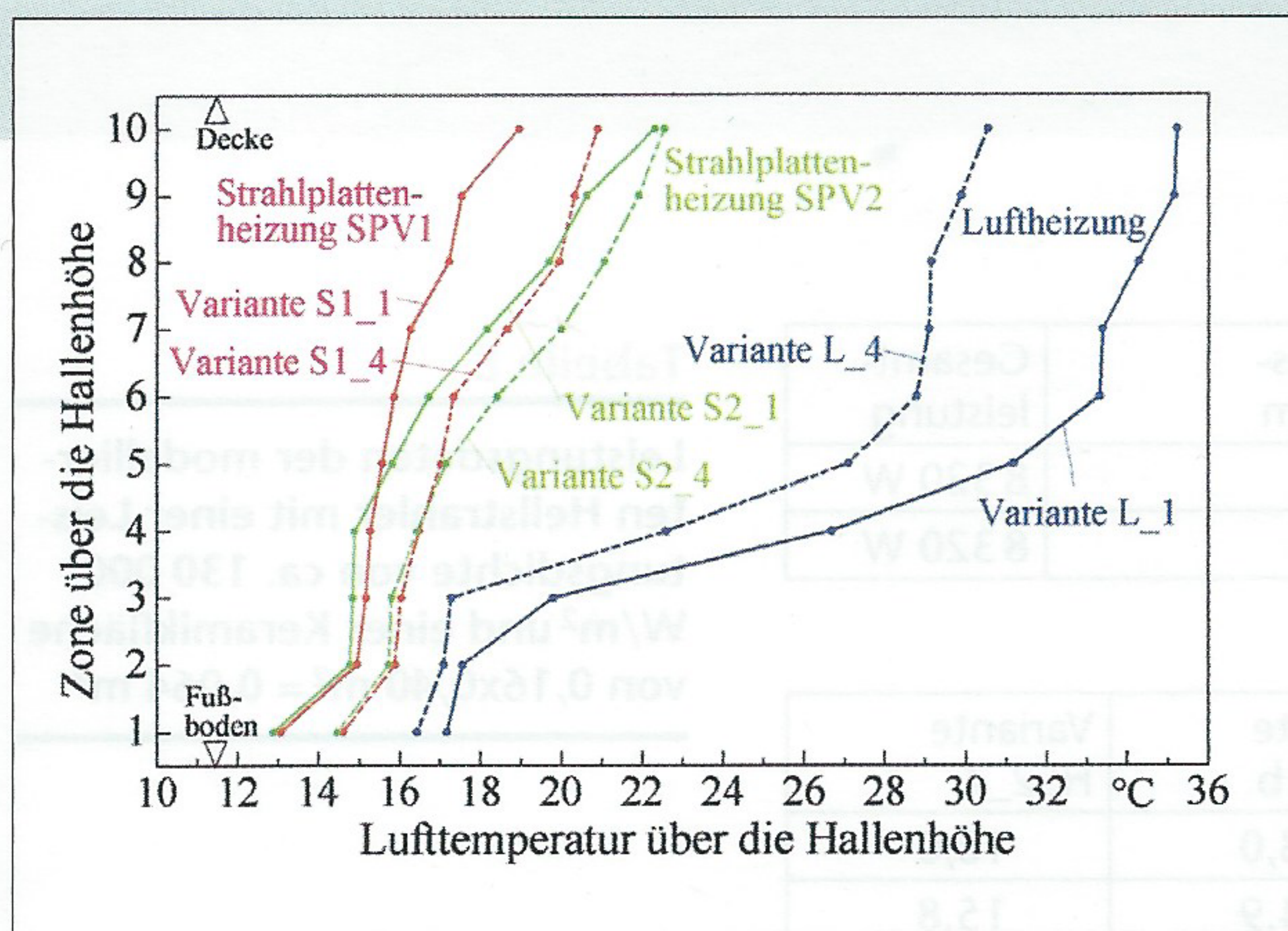


Bild 19

Vertikaler Lufttemperaturverlauf für die Strahlungsheizungsvarianten S1_1 und S1_4 (Grundvarianten 1 und 4 nach Tabelle 3; Strahlplattenanordnungen SPV1 gemäß Bild 13) sowie für die Strahlungsheizungsvarianten S2_1 und S2_4 (Grundvarianten 1 und 4 nach Tabelle 3; Strahlplattenanordnungen SPV2 gemäß Bild 16). Zum Vergleich sind die Lufttemperaturverläufe der Varianten L_1 und L_4 (Bild 11) dargestellt.

bereich (Bild 19) ist wiederum bedeutend niedriger als bei den Luftheizungen jedoch erhöht gegenüber den Varianten mit der Strahlplattenverteilung SPV1. Diese Erhöhung wird durch die senkrecht angeordneten Strahlplatten an den Fassaden der Halle bewirkt. Die größere Konvektion an den vertikalen Platten erhöht folgerichtig auch die Heizlast.

Fazit aus den unterschiedlichen Strahlplattenverteilungen

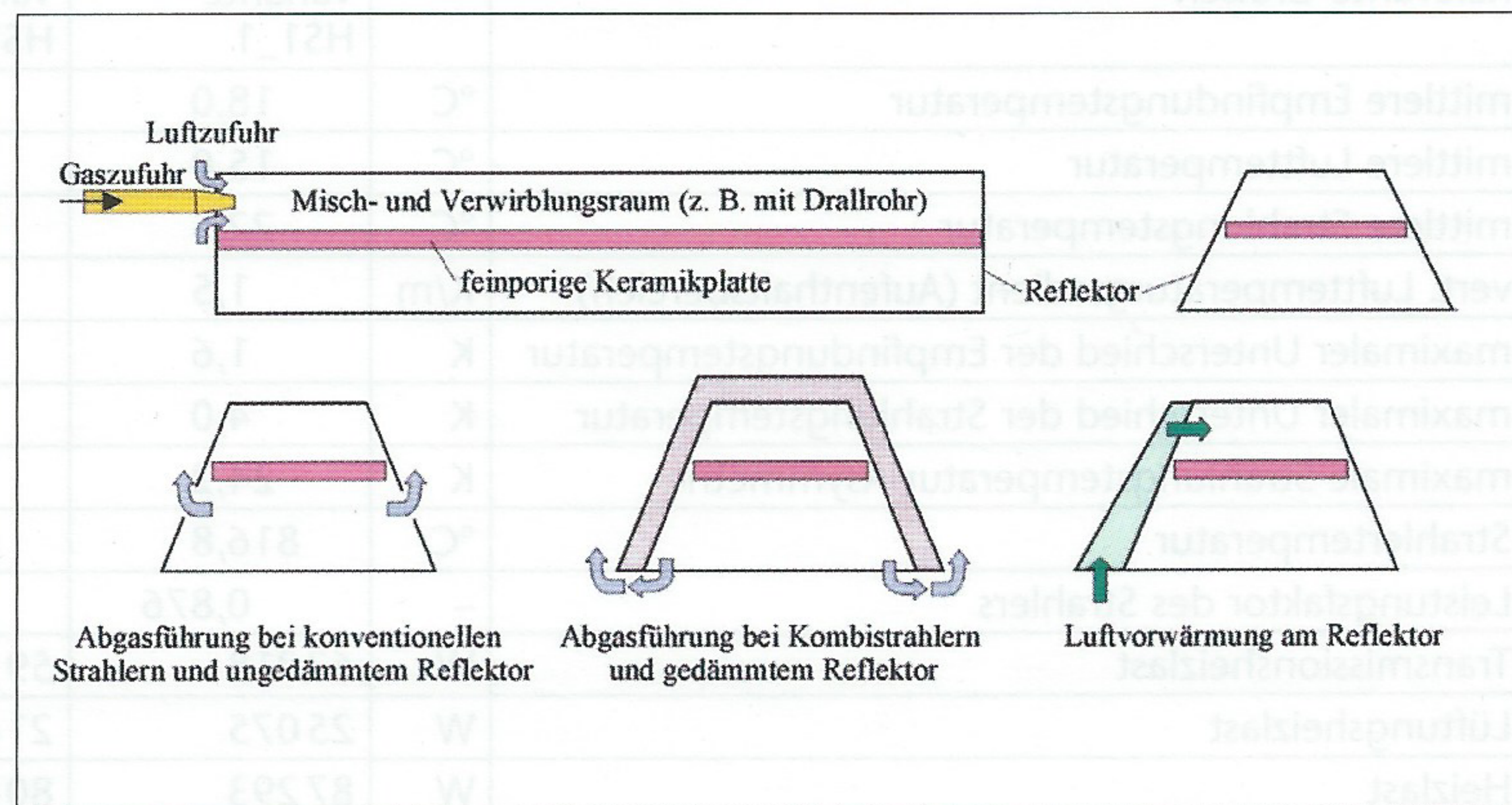
□ Mit Ausnahme einer geringfügigen Überschreitung der Strahlungstempera-

tur-Asymmetrie, die bei der schlecht wärmegeprägten Halle auftritt, werden alle wärmephysiologischen Forderungen sehr gut erfüllt. Bei der gut wärmegeprägten Halle ist es gleichgültig, welche Strahlplattenverteilung (Bild 13 oder Bild 16) realisiert wird.

□ Die schlecht wärmegeprägte Halle sollte mit der Strahlplattenverteilung SPV2 gemäß Bild 16 ausgestaltet werden, da dann die kleinsten Strahlungstemperatur-Asymmetrien auftreten. Die Maximalwerte verursachen im Außenwandbereich dann nur etwa 10 % Unzufriedenheit. Die Überschreitung der Strahlungstemperatur-Asymmetrie im

Bild 20

Oben: Schematische Darstellung eines Hellstrahlers als Langfeldstrahler im Längs- und Querschnitt. Unten: Schematische Darstellung einiger Konstruktionsprinzipien von Hellstrahlern.



äußersten Randbereich kann prinzipiell hingenommen werden, da diese zum Halleninneren rasch abfällt.

□ Die energetische Betrachtung zeigt generell sehr gute Ergebnisse. Der Strahlplattenverteilung SPV1 nach Bild 13 gebührt diesbezüglich der Vorzug.

□ Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die genannte Untersuchung für den Vollastfall (Außentemperatur $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$) geführt wurde. Mit abnehmender Heizlast verbessern sich die wärmephysiologischen Werte deutlich. So sinkt z.B. bei der Strahlplattenverteilung SPV1 die maximale Strahlungstemperatur-Asymmetrie von $17,5\text{ K}$ bei Vollast auf $10,2\text{ K}$.

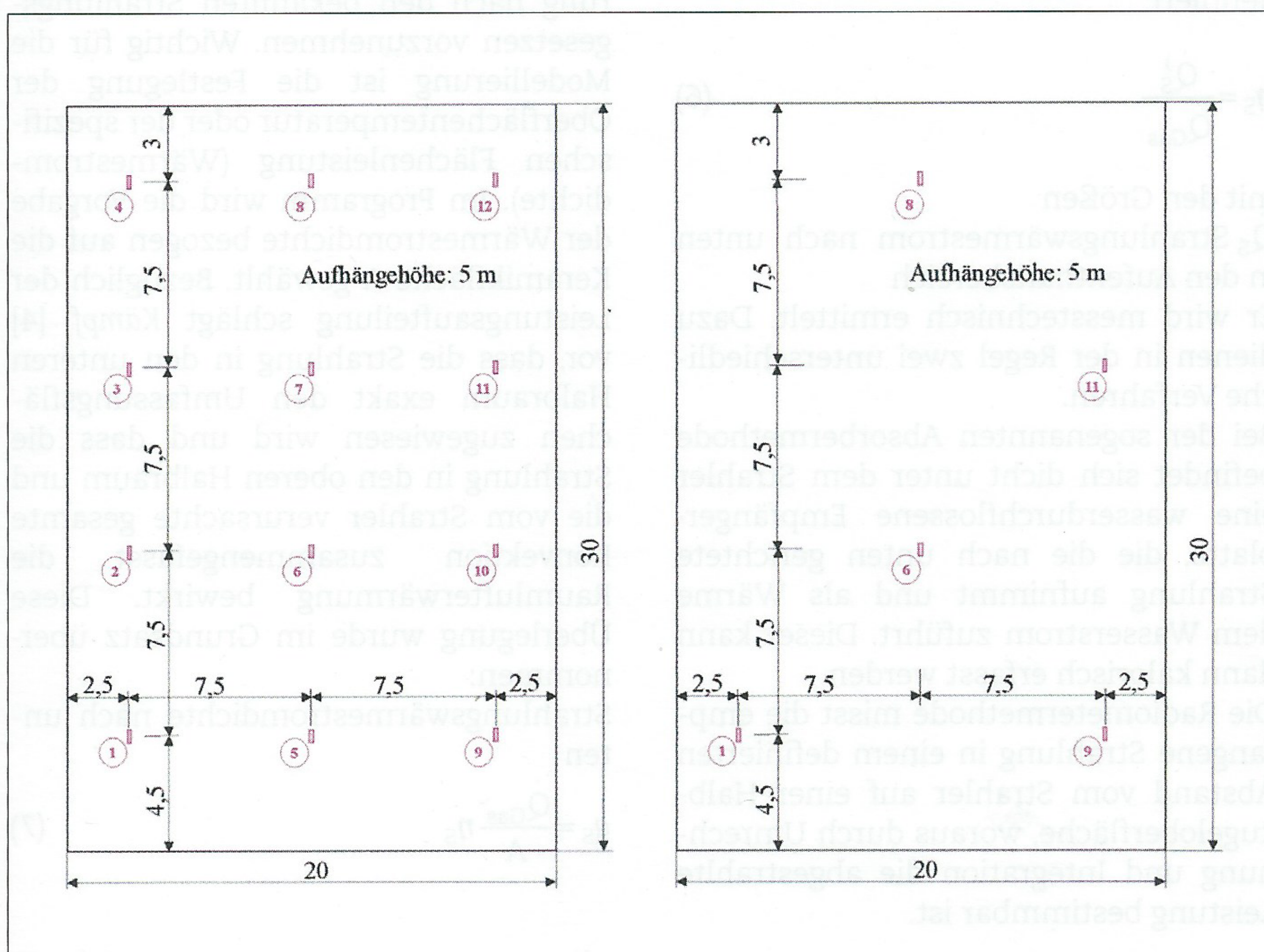


Bild 21

Links: Hellstrahlerverteilung HSV1 für die Simulation der Grundvariante 1 nach Tabelle 3. Rechts: Hellstrahlerverteilung HSV2 für die Simulation der Grundvariante 4 nach Tabelle 3. Es gelten: bei HSV1 Außenluftwechsel $0,5\text{ h}^{-1}$; bei HSV2 Außenluftwechsel $0,3\text{ h}^{-1}$; modellgemäße Luftzufuhr jeweils in Zone 1. Daten der Hellstrahler nach Tabelle 8.

Variante	η_s	Strahlungs-wärmestromdichte	Strahlungs-wärmestrom	Konvektions-wärmestrom	Gesamt-leistung
HS1_1, HS2_4	0,65	84 500 W/m ²	5 408 W	2 912 W	8 320 W
HS1_1b	0,80	104 000 W/m ²	6 656 W	1 664 W	8 320 W

Tabelle 8

Leistungsdaten der modellierten Hellstrahler mit einer Leistungsdichte von ca. 130 000 W/m² und einer Keramikfläche von 0,16x0,40 m² = 0,064 m²

Relevante Größen		Variante HS1_1	Variante HS1_1b	Variante HS2_4
mittlere Empfindungstemperatur	°C	18,0	18,0	18,0
mittlere Lufttemperatur	°C	15,0	14,9	15,8
mittlere Strahlungstemperatur	°C	22,5	22,7	21,3
vert. Lufttemperaturgradient (Aufenthaltsbereich)	K/m	1,5	1,4	1,4
maximaler Unterschied der Empfindungstemperatur	K	1,6	1,7	1,8
maximaler Unterschied der Strahlungstemperatur	K	4,0	4,2	4,4
maximale Strahlungstemperatur-Asymmetrie	K	24,2	26,2	22,1
Strahlertemperatur	°C	816,8	852,9	808,8
Leistungsfaktor des Strahlers	–	0,876	0,811	0,850
Transmissionsheizlast	W	62 218	59 243	20 640
Lüftungsheizlast	W	25 075	21 656	14 746
Heizlast	W	87 293	80 899	35 386
Faktor zur Vergleichsheizlast (Tabelle 4)	–	0,99	0,92	1,13

Tabelle 9

Hellstrahlerheizsysteme (nach Bild 21, links HS1_1; HS1_1b schlechte Dämmung und nach Bild 21, rechts HS2_4 gute Dämmung)

bei Halblast ab, wie das später vorgestellte Bild 32 zeigt. Die kontinuierliche Regelungsmöglichkeit der Wassertemperatur einer Strahlplattenheizung gestattet somit auch die stetige Verbesserung der Behaglichkeit!

Gashellstrahlerheizung

Modellierung

Bild 20 zeigt schematisch die Konstruktion eines Hellstrahlers. Das im Strahler erzeugte Gas-Luft-Gemisch verbrennt an der Oberfläche einer feinporigen Keramikplatte und erzeugt dort Temperaturen um 800 °C bis 950 °C. Die freigesetzte Energie wird hauptsächlich durch Strahlung in den zugehörigen Halbraum übertragen. Um die Strahlung zu bündeln, werden die Keramikplatten von Reflektoren umhüllt. Verschiedene konstruktive Parameter bewirken Effizienzveränderungen:

- Geometrie des Reflektors ergibt unterschiedliche Strahlungsverteilungen
- Poliertes oder geschwärztes Reflektormaterial führt zu unterschiedlicher Eigen erwärmung und Reflexionsgraden
- Wärmedämmte Reflektoren erhöhen die Reflektortemperatur durch den Abgaswärmestrom und bewirken eine zusätzliche langwellige Wärmestrahlung in den Raum
- Abgasführung kann indirekt erfolgen (Abgase vermischen sich mit der Raumluft und erhöhen ihre Enthalpie); Au-

ßenluftwechsel mindestens 10 m³_{Abluft}/(h kW_{installierte Leistung})

- Direkte Abgasführung über eine Abgasanlage reduziert die Ausnützung der Verbrennungswärme, bietet aber hygienische Vorteile
- Weiterentwicklungen arbeiten mit Verbrennungsluftvorwärmung an der Reflektorausfläche
- Keramikoberfläche mit Strukturierung.

Im Bild 20 sind einige grundsätzliche Konstruktionsaufbauten dargestellt. In [4] ist der Strahlungswirkungsgrad als wichtiges Merkmal für die Auslegung definiert:

$$\eta_s = \frac{\dot{Q}_s}{\dot{Q}_{Gas}} \tag{6}$$

mit den Größen

$\dot{Q}_s$ Strahlungswärmestrom nach unten in den Aufenthaltsbereich

Er wird messtechnisch ermittelt. Dazu dienen in der Regel zwei unterschiedliche Verfahren.

Bei der sogenannten Absorbermethode befindet sich dicht unter dem Strahler eine wasserdurchflossene Empfängerplatte, die die nach unten gerichtete Strahlung aufnimmt und als Wärme dem Wasserstrom zuführt. Dieser kann dann kalorisch erfasst werden.

Die Radiometermethode misst die empfangene Strahlung in einem definierten Abstand vom Strahler auf einer Halbkugeloberfläche, woraus durch Umrechnung und Integration die abgestrahlte Leistung bestimmbar ist.

$\dot{Q}_{Gas}$ Nennwärmeleistung des Gasstrahlers

Sie wird aus der zugeführten Gasmenge und dem Heizwert des Brenngases (H_u) ermittelt. Bei Systemen mit direkter Abgasführung ist der Abgasverlust zu subtrahieren.

Trotz der Konstruktionsvielfalt haben Untersuchungen [2; 4] ergeben, dass die Strahlungsverteilung der Hellstrahler bei den praktisch realisierten Aufhängöhöhen mit guter Näherung der Kosinusverteilung folgt. Diese Gegebenheit – sie gilt auch für schräggestellte Strahler – ist sehr hilfreich, um eine Modellierung nach den bekannten Strahlungsgesetzen vorzunehmen. Wichtig für die Modellierung ist die Festlegung der Oberflächentemperatur oder der spezifischen Flächenleistung (Wärmestromdichte). Im Programm wird die Vorgabe der Wärmestromdichte bezogen auf die Keramikfläche A gewählt. Bezüglich der Leistungsaufteilung schlägt Kämpf [4] vor, dass die Strahlung in den unteren Halbraum exakt den Umfassungsflächen zugewiesen wird und dass die Strahlung in den oberen Halbraum und die vom Strahler verursachte gesamte Konvektion zusammengefasst die Raumlufterwärmung bewirkt. Diese Überlegung wurde im Grundsatz übernommen:

Strahlungswärmestromdichte nach unten

$$\dot{q}_s = \frac{\dot{Q}_{Gas}}{A} \eta_s \tag{7}$$

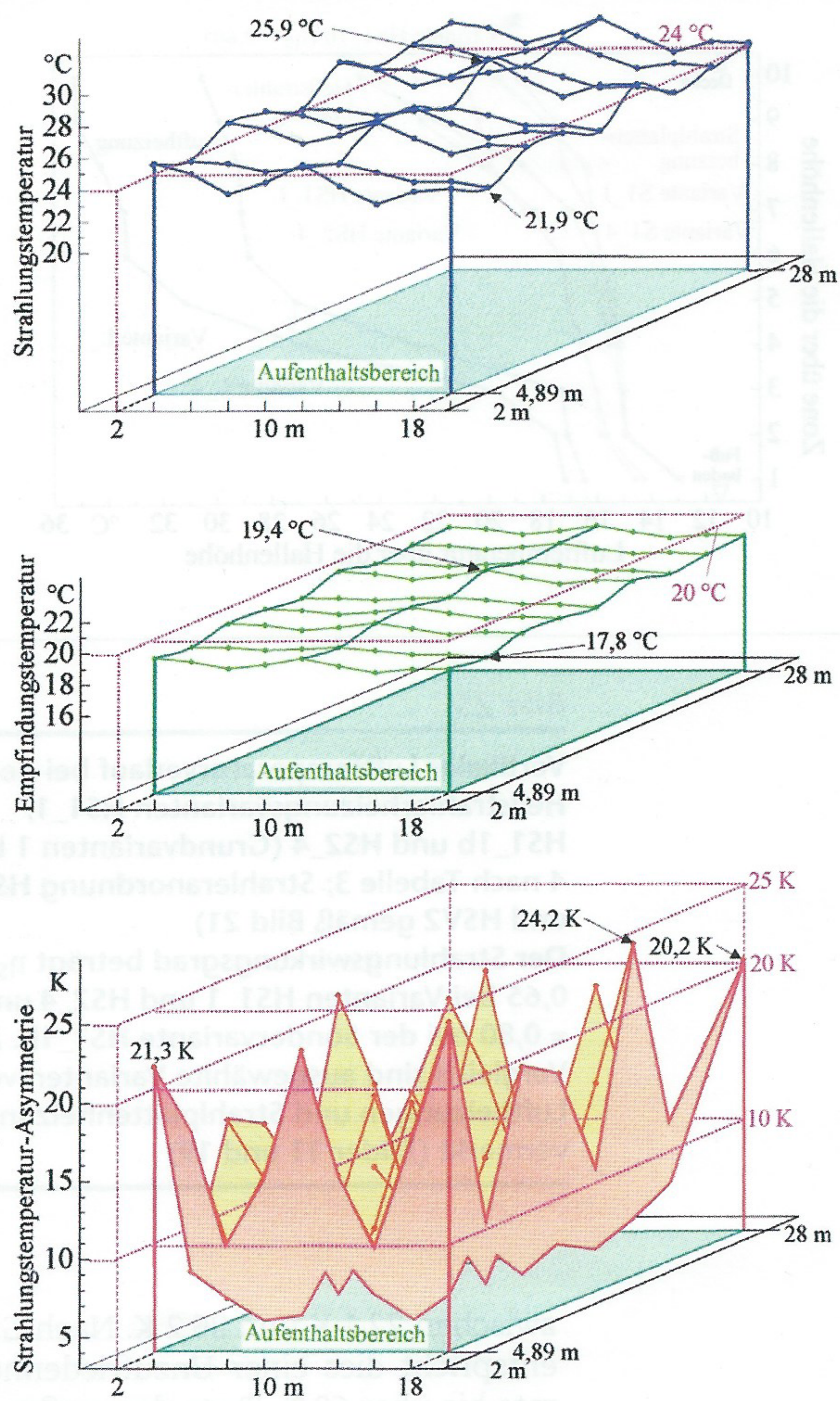


Bild 22

Strahlungstemperatur der Umgebung, Empfindungstemperatur und Strahlungstemperatur-Asymmetrie bei der Hellstrahlerheizungsvariante HS1_1 (Grundvariante 1 nach Tabelle 3; Strahlerverteilung HSV1 nach Bild 21, links)

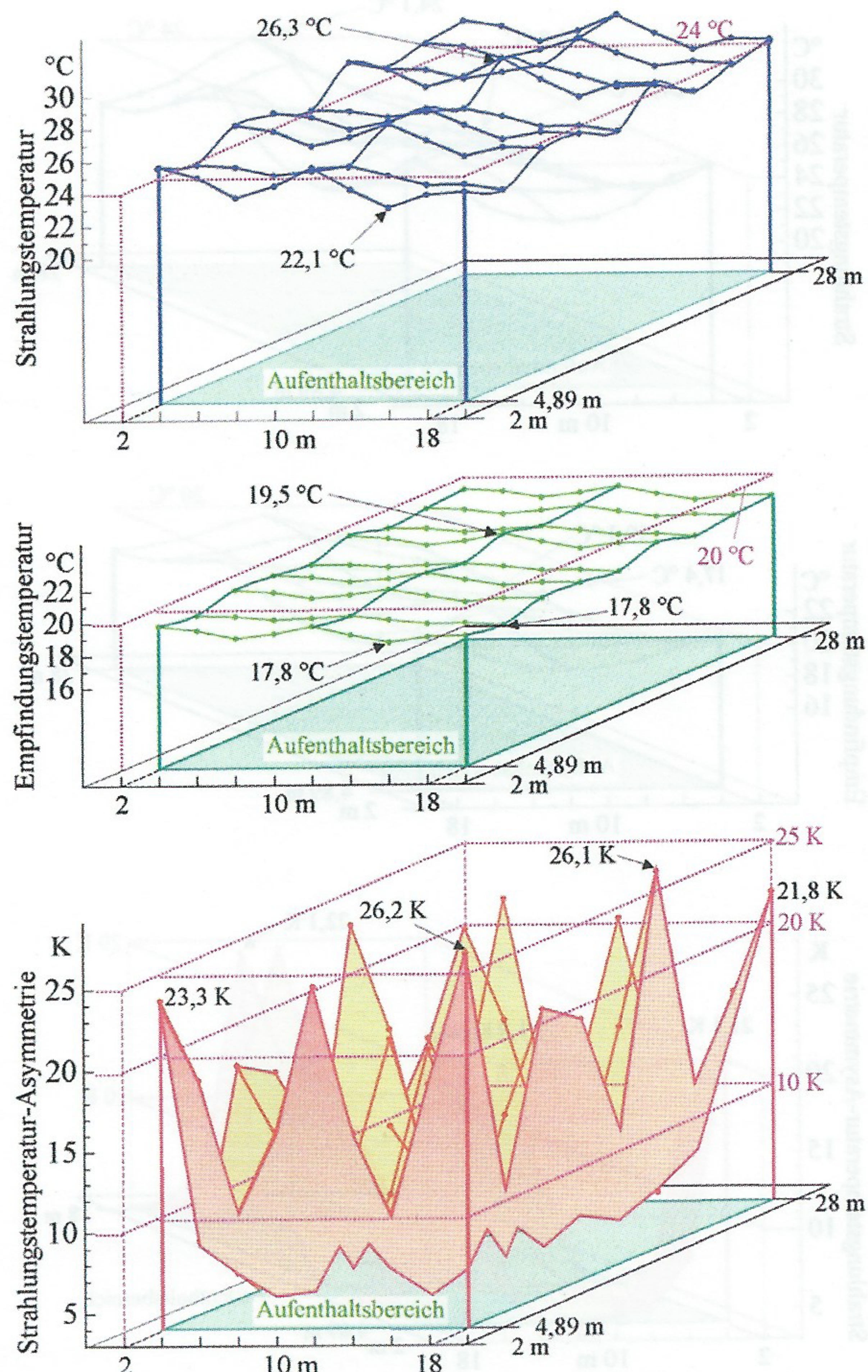


Bild 23

Strahlungstemperatur der Umgebung, Empfindungstemperatur und Strahlungstemperatur-Asymmetrie bei der Hellstrahlerheizungsvariante HS1_1b (Grundvariante 1 nach Tabelle 3; Strahlerverteilung HSV1 nach Bild 21, links) mit erhöhtem Strahlungswirkungsgrad $\eta_s = 0,8$

Konvektionswärmestrom und Strahlungswärmestrom nach oben

$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_{\text{Gas}} (1 - \eta_s) \quad (8)$$

Die Mindestaufhängenhöhen $H_{\min}$ sind leistungsabhängig zunächst nach G 638/I zu wählen. Für die Abstände der Strahler untereinander werden in den Herstellerunterlagen $X_{\min} = 1,5 H_{\min}$ genannt.

Problematisch ist beim Einsatz von Gasstrahlern grundsätzlich die Leistungsanpassung. Es gibt derzeit prinzipiell drei Möglichkeiten:

- Abschaltung von einzelnen Strahlern oder Strahlerreihen
- zweistufige Veränderung des Gasdrucks

ckes (in der Regel 100 % und 50 % Leistung)

- kontinuierliche Veränderung des Gasdruckes im Regelbereich von 100 % bis 50 % Leistung.

Modellgemäß wurden die verschiedensten Fälle untersucht. Zugunsten der Hellstrahler werden nachfolgend aber nur die Ergebnisse der besten Variante – die kontinuierliche Regelung – wiedergegeben.

Zur Senkung der Investitionskosten ist man in der Praxis bestrebt, die Anzahl der Strahler klein zu halten und dafür die Leistung relativ groß zu wählen. Dieses Vorgehen bewirkt von vornherein große Unterschiede der Strahlungsdichte im Aufenthaltsbereich. Im Gegensatz

dazu werden bei den folgenden Untersuchungen eine große Zahl von Strahlern mit einer relativ kleinen Leistung eingesetzt, so dass man dem wärmephysiologischen Idealfall bereits sehr nahe kommt. Die Aufteilung der Strahler über dem Grundriss ist im **Bild 21** dargestellt. Bei der schlecht wärmedämmten Halle kommen 12 Strahler (Hellstrahlerverteilung HSV1) und bei der gut gedämmten Halle 5 Strahler (Hellstrahlerverteilung HSV2) zum Einsatz. Bei der kleineren Strahleranzahl sind die besonderen Gegebenheiten der Hallengeometrie und der wärmetechnischen Situation (beheizte Anbauten an zwei Hallenumfassungen) abschätzend berücksichtigt worden.

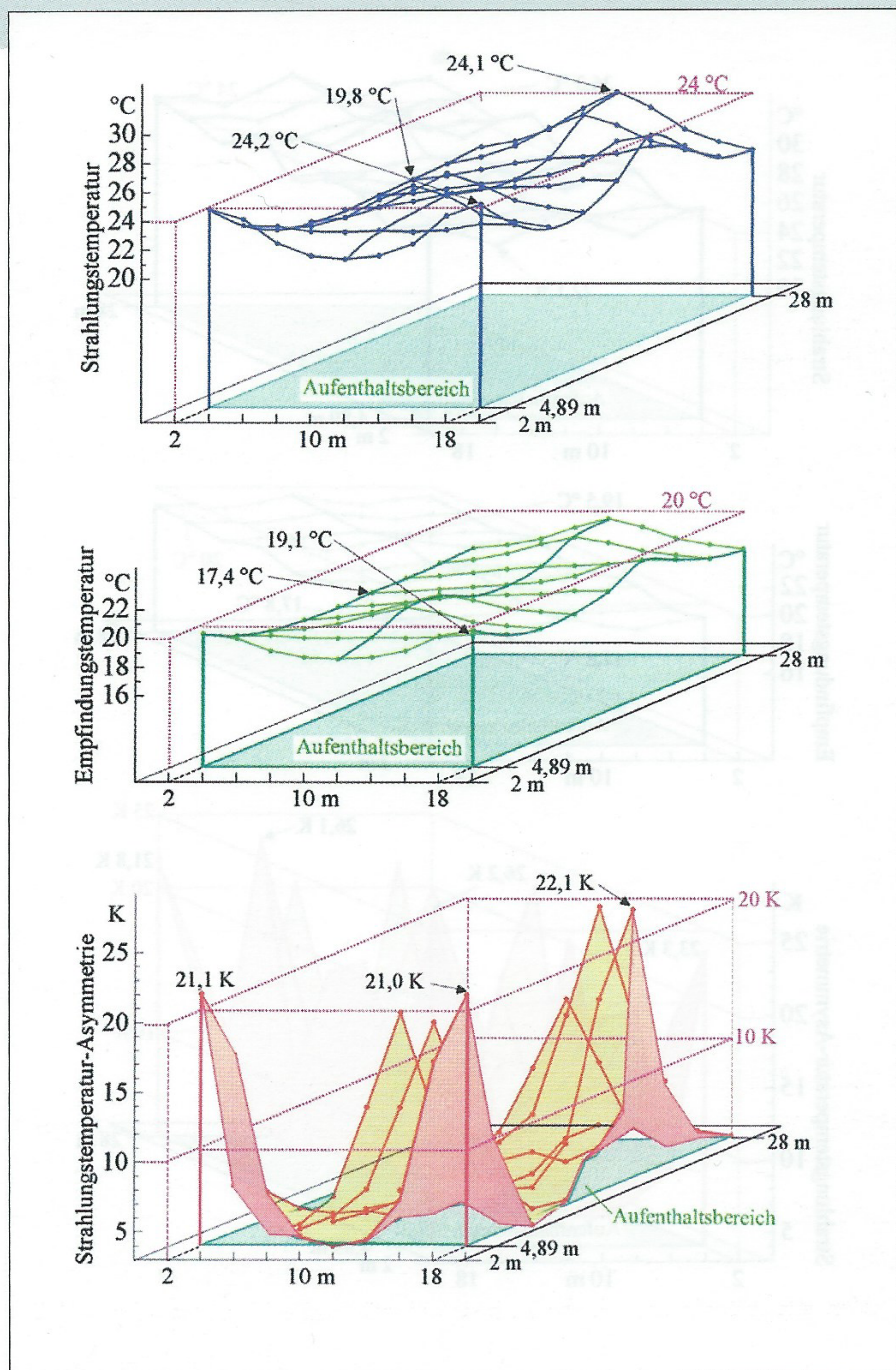


Bild 24

Strahlungstemperatur der Umgebung, Empfindungstemperatur und Strahlungstemperatur-Asymmetrie bei der Hellstrahlerheizungsvariante HS2_4 (Grundvariante 4 nach Tabelle 3; Strahlerverteilung HSV2 nach Bild 21, rechts)

Weiterhin wird der Einfluss des Strahlerwirkungsgrades untersucht, wobei die beiden Typen gemäß der Gln. (7) und (8) durch die Leistungsdaten nach **Tabelle 8** charakterisiert werden.

Ergebnisse

Die Zusammenfassung der Ergebnisse ist in **Tabelle 9** erfolgt. Die Verteilungen der Strahlungstemperatur, der Empfindungstemperatur und der Strahlungstemperatur-Asymmetrie sind in den **Bildern 22 bis 24** gegeben. Der vertikale Lufttemperaturgradient findet sich im **Bild 25**. Es folgen daraus die Aussagen:

- Die Schwankungen der Empfindungstemperatur über dem Aufenthaltsbereich liegen zwischen 1,6 K und 1,8 K.

Sie entsprechen somit der schlechtesten Strahlplattenvariante S1_1. Die beste Lösung lag bei 0,6 K (S2_4).

- Die Schwankung der Strahlungstemperatur der Umgebung beträgt dabei 4,0 K bzw. 4,4 K.

- Die vertikalen Lufttemperaturgradienten liegen mit ca. 1,5 K/m sehr gut im zulässigen Bereich. Über die gesamte Hallenhöhe ergibt sich bei vergrößertem Strahlungswirkungsgrad jedoch ein bedeutend geringerer Anstieg der Lufttemperatur, da im oberen Hallenteil weniger Wärme freigesetzt wird.

- Die Strahlungstemperatur-Asymmetrie hat gegenüber den Luftheizungen und den Strahlplattenheizungen sehr stark zugenommen. Die Spitzenwerte der drei vorgestellten Varianten liegen

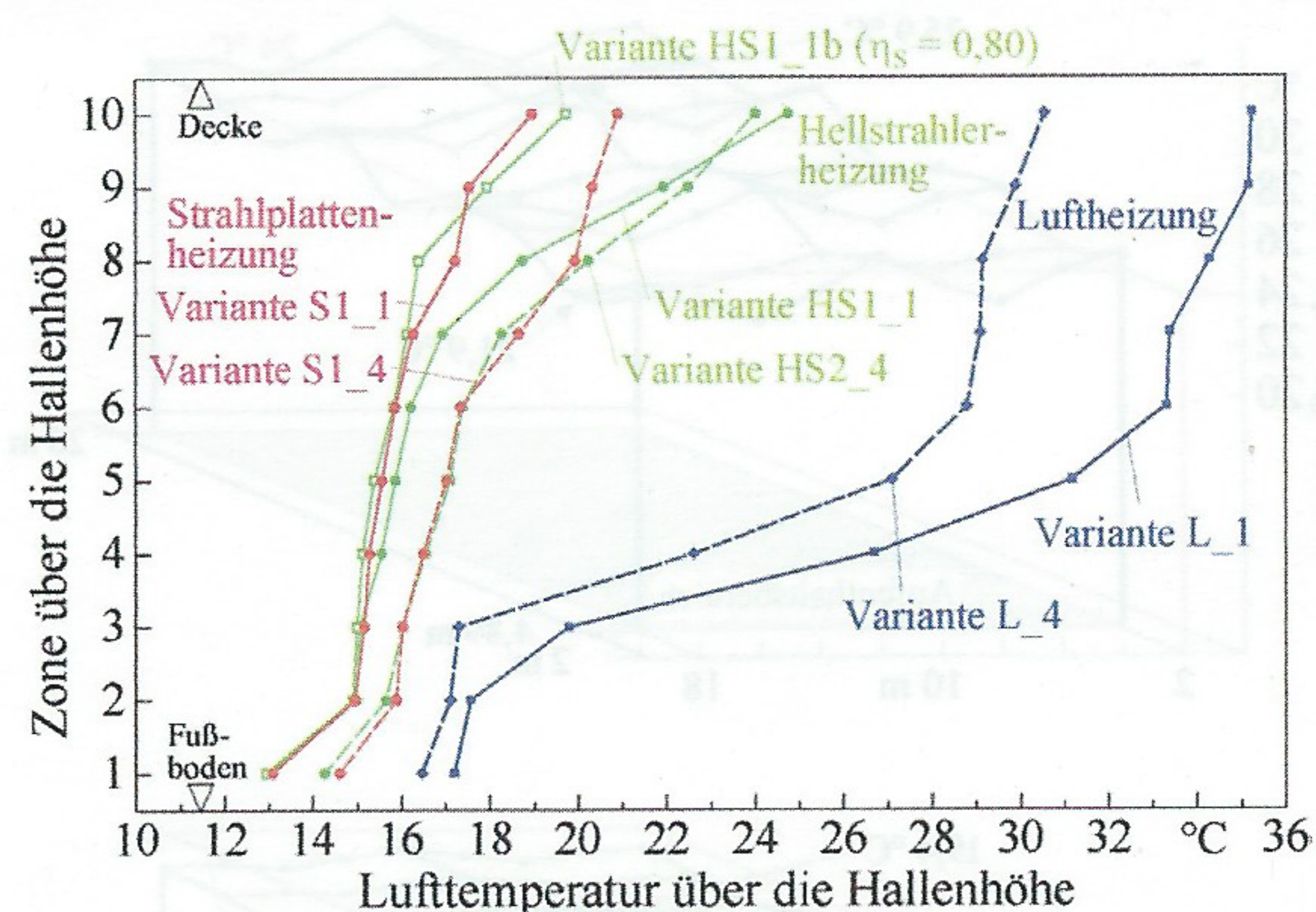


Bild 25

Vertikaler Lufttemperaturverlauf bei den Hellstrahlerheizungsvarianten HS1_1, HS1_1b und HS2_4 (Grundvarianten 1 bzw. 4 nach Tabelle 3; Strahleranordnung HSV1 und HSV2 gemäß Bild 21)

Der Strahlungswirkungsgrad beträgt $\eta_s = 0,65$ bei Varianten HS1_1 und HS2_4 und $\eta_s = 0,80$ bei der Sondervariante HS1_1b. Zum Vergleich sind ausgewählte Varianten von Luftheizungen und Strahlplattenheizungen vermerkt (Bilder 11 und 19)

zwischen 22,1 K und 26,2 K. Nach Gl. (1) entspricht dies einer Unzufriedenheitsrate bis über 60 %. Trotz der großen Anzahl von Strahlern (12 Stück) und der gleichmäßigen Leistungsreduzierung ist in der Hälfte des Aufenthaltsbereiches die Strahlungstemperatur-Asymmetrie > 10 K. Die Ungleichförmigkeiten der Bestrahlung erhöhen sich mit steigendem Strahlungswirkungsgrad.

- Die Lufttemperaturen im oberen Hallenbereich (siehe Bild 25) liegen deutlich unter den Werten der Luftheizung aber auch deutlich über denen der Strahlplattenheizung. Bei dem hohen Strahlungswirkungsgrad von 80 % besteht quasi Übereinstimmung zur Strahlplattenvariante.

- Die Heizlast der schlecht gedämmten Halle zeigt im Vergleich zur Luftheizung einen um 12 % niedrigeren Wert. Gegenüber der Strahlplattenheizung ergibt sich ein Mehraufwand von 3 % und 8 %, bei dem sehr hohen Strahlungswirkungsgrad (80 %) wird etwa Gleichheit erreicht.

- Ungünstiger werden die wärmephysiologischen Verhältnisse im Teillastfall, wenn die untere Leistungsgrenze der kontinuierlich geregelten Strahler (z.B. 50 %) unterschritten werden muss. In diesem Fall sind Strahler abzuschalten, wodurch die Ungleichförmigkeit steigt.

(Teil 3 dieses Beitrages folgt in der nächsten Ausgabe der HLH)