

Grenzen der Deckenheizung – Optimale Heizflächengestaltung



Die Veröffentlichung [1] über die Einsetzbarkeit von Kühldecken als Heizdecken hat in Fachkreisen folgende Fragen ausgelöst: Sind Räume mit relativ schlechter Wärmedämmung und üblicher Außenluftinfiltration auch mit Deckenstrahlflächen wärme-physiologisch zulässig beheizbar?

Wie verhalten sich Eckräume? Kann die Heizflächenform hinsichtlich der Strahlungstemperatur-Verteilung optimiert werden?

An Hand praktischer Beispiele werden die Einflüsse und derzeitigen Grenzen aufgezeigt.

Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Hamburg

HLH Bd. 45 (1994) Nr. 6 – Juni

Wärmephysiologische Grenzwerte

Wie in [1] bereits angedeutet, bestehen Zweifel gegenüber den derzeitigen *Fanger*-Aussagen zur Strahlungstemperatur-Asymmetrie, die auch in die DIN 1946, Teil 2 eingingen. Eine erneute Auswertung der Original-Versuchsaussagen auf der Grundlage der Strahlungsasymmetriedefinition nach [2] erfolgte in [3]. Das Ergebnis ist im *Bild 1* dargestellt. Danach ist bei einer Strahlungstemperatur-Asymmetrie von $\Delta t_{s,zul} = 8,1$ K eine Unzufriedenheitsrate von 5% zu erwarten, bei 9,7 K etwa 10%. Bezüglich der Empfindungstemperatur ist nach ISO 7730 im Bürobereich eine Abweichung von ± 2 K zugelassen. Da sich Luft- und Strahlungstemperatur in erster Näherung paritätisch zur Empfindungstemperatur ergeben [4], die Lufttemperatur aber meist größeren Schwankungen unterliegt, wird für die Strahlungstemperatur – bezogen auf ein kugelförmiges Element nach [2] – eine Abweichung von $\Delta t_{u,zul} = \pm 1,5$ K gestattet.

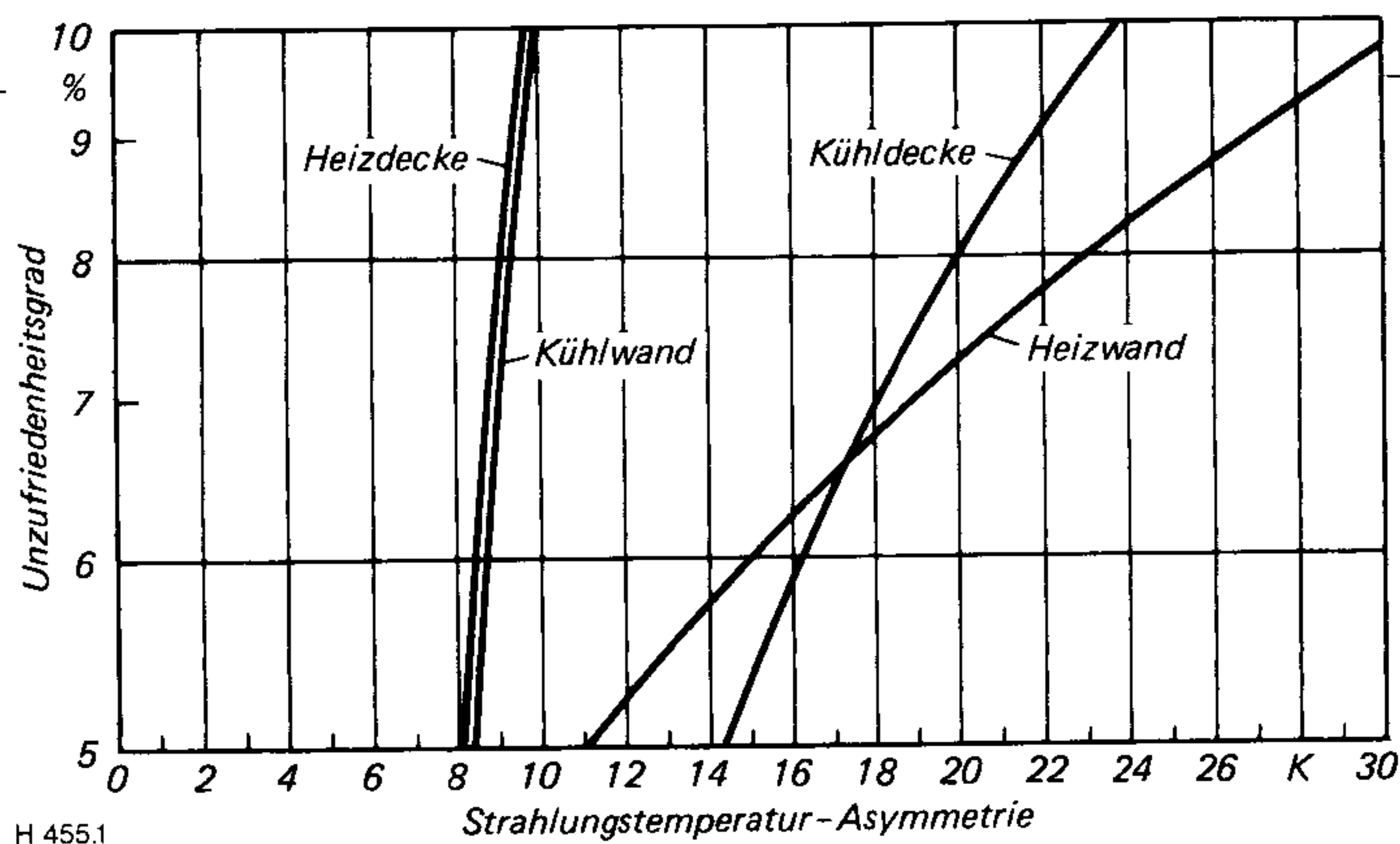


Bild 1: Zulässige Strahlungstemperatur-Asymmetrien nach [3].

Aufenthaltsbereich

Nach DIN 1946, Teil 2 ist der Aufenthaltsbereich von Menschen innerhalb von Räumen definiert. Er beginnt im Abstand von 1 m zu Außen- und 0,5 m zu Innenwänden. Da im weiteren der gleiche Raumgrundriß mit einer Außenwand bzw. mit zwei Außenwänden untersucht werden soll, das Raster der Prüfpunkte zweckmäßigerweise aber deckungsgleich gewählt wird, beginnt der Untersuchungsbereich stets in 1 m Wandabstand. Dies ist vertretbar, da im innenwandnahen Bereich ohnehin keine signifikanten Temperaturänderungen auftreten.

Raummodelle, Heizflächenanordnungen und Oberflächentemperaturen

Es werden die im Bild 2 vorgestellten Räume – ein Eckraum (zwei Außenwände) und ein Normalraum (eine Außenwand) – untersucht. Die Außenwände haben einen großen transparenten Anteil. Die Beheizung erfolgt durch in die Decke bzw. in die Fensterpfeiler integrierte, thermisch aktive Flächen. Es werden folgende Varianten untersucht:

Eckraum

- ER0,8 Deckenheizfläche in Winkelform, 800 mm breit, 6,56 m²
 - ER1,5 Deckenheizfläche in Winkelform, 1500 mm breit, 11,25 m²
 - ERVF Deckenheizfläche als Vollfläche, 20,25 m².
- Zusätzlich zu diesen Grundheizflächen sind noch die raumseitigen Flächen des Fensterpfeilers beheizbar.
- ERWF Wandheizfläche, 2 × 300 mm breit, 2800 mm hoch, 1,68 m².

Normalraum

- NR0,8 Deckenheizfläche in Streifenform, 800 mm breit, 3,60 m²
- NR1,5 Deckenheizfläche in Streifenform, 1500 mm breit, 6,75 m²
- NR2,8 Deckenheizfläche in Streifenform, 2800 mm breit, 12,60 m²
- NRVF Deckenheizfläche als Vollheizfläche, 20,25 m².

Die Heizlast der Räume nach der Normrechnung beträgt für $t_i = t_{i, \text{Nebenräume}} = 20^\circ\text{C}$ und $t_a = -12^\circ\text{C}$ in Abhängigkeit der gewählten Verglasungsart:

k_{Fenster} W/(m ² K)	$\dot{Q}_{H, \text{Eckraum}}$ W	$\dot{Q}_{H, \text{Normalraum}}$ W
3,0	2339	1424
1,3	1425	967
1,0	1264	886

In diesen Werten ist einheitlich die Norm-Lüftungsheizlast mit 508 W enthalten. Im weiteren werden die aufgeführten Norm-Heizlasten unabhängig von der realen Heizflächenbelegung verwendet.

Die Oberflächentemperaturen für die massive Außenwand ($k = 0,4 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$) und das Fenster folgen aus der normierten Berechnung für den Wärmedurchgang

$$t_{\text{Brüstung}} = 18,3^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{Fenster}, 3,0} = 7,5^\circ\text{C}; \quad t_{\text{Fenster}, 1,3} = 14,6^\circ\text{C}; \quad t_{\text{Fenster}, 1,0} = 15,8^\circ\text{C},$$

und für die passiven, an Nachbarräume grenzenden Flächen gilt

$$t_{pF} = 20^\circ\text{C}.$$

Die mittleren Heizflächentemperaturen folgen aus der Forderung, daß die gegebenen Flächen die Heizlast decken. Für den spezifischen Wärmestrom der Heizfläche wird angesetzt:

$$\dot{q}_H = \varepsilon_H \varepsilon_U \sigma [t_H + 273]^4 - (t_i + 273)^4] + K_K (t_H - t_i)^n \text{ in W/m}^2 \quad (1),$$

mit

$\varepsilon_H; \varepsilon_U$	Emissionskoeffizient der Heizfläche bzw. der Raumumfassung ($\varepsilon_H = \varepsilon_U = 0,93$)
σ	Strahlungskonstante ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \text{ K}^4)$)
t_H	mittlere Heizflächentemperatur
t_i	Raumtemperatur
K_K	Konvektionskoeffizient
n	$K_{K, \text{Decke}} = 0,54; K_{K, \text{Wand}} = 1,6$ Exponent $n_{\text{Decke}} = 1,31; n_{\text{Wand}} = 1,3.$

In Bild 3 ist Gl. (1) mit den in der Legende gegebenen Daten ausgewertet.

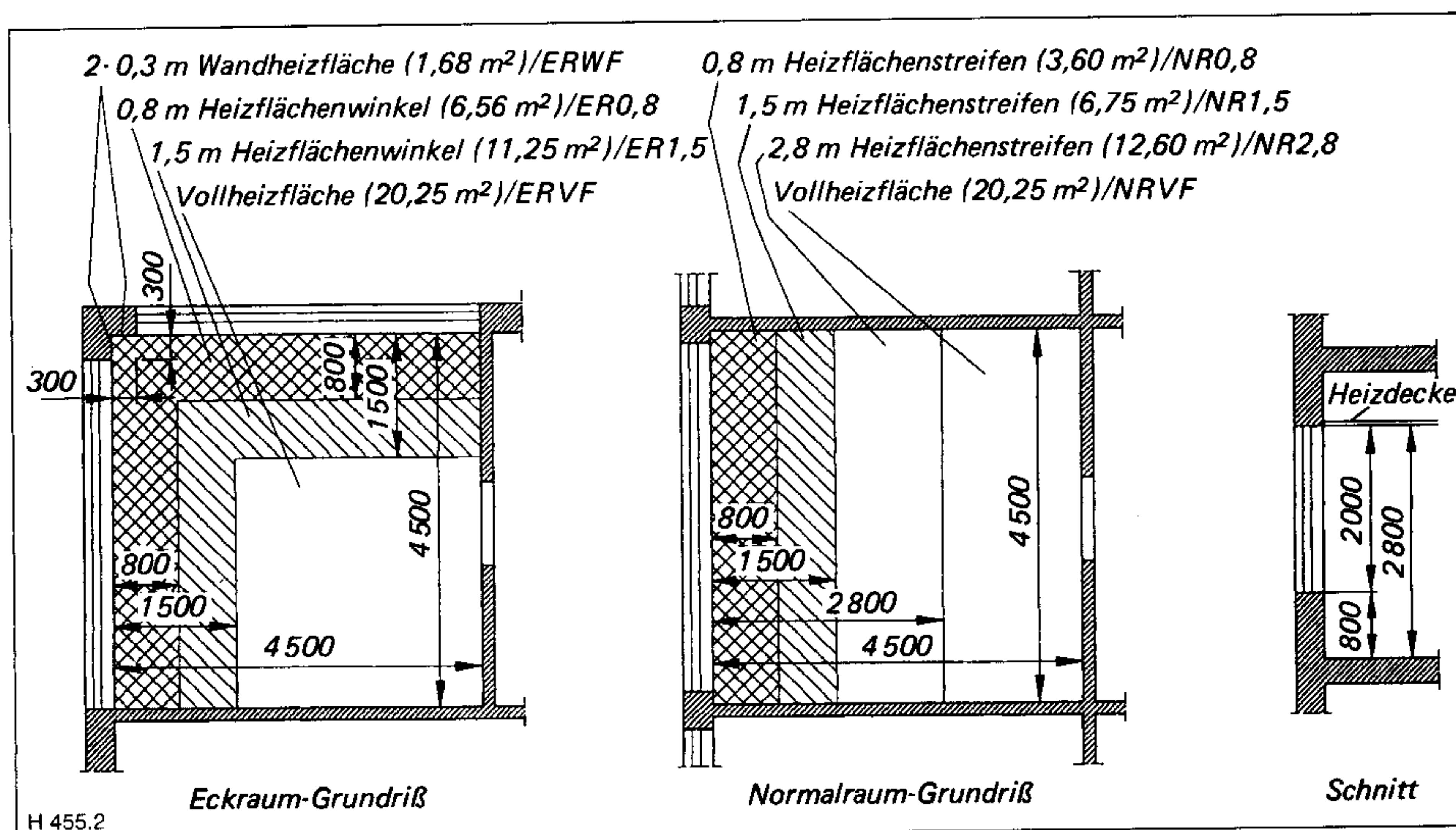


Bild 2: Eck- und Normalraum mit verschiedenen Heizflächenvarianten.

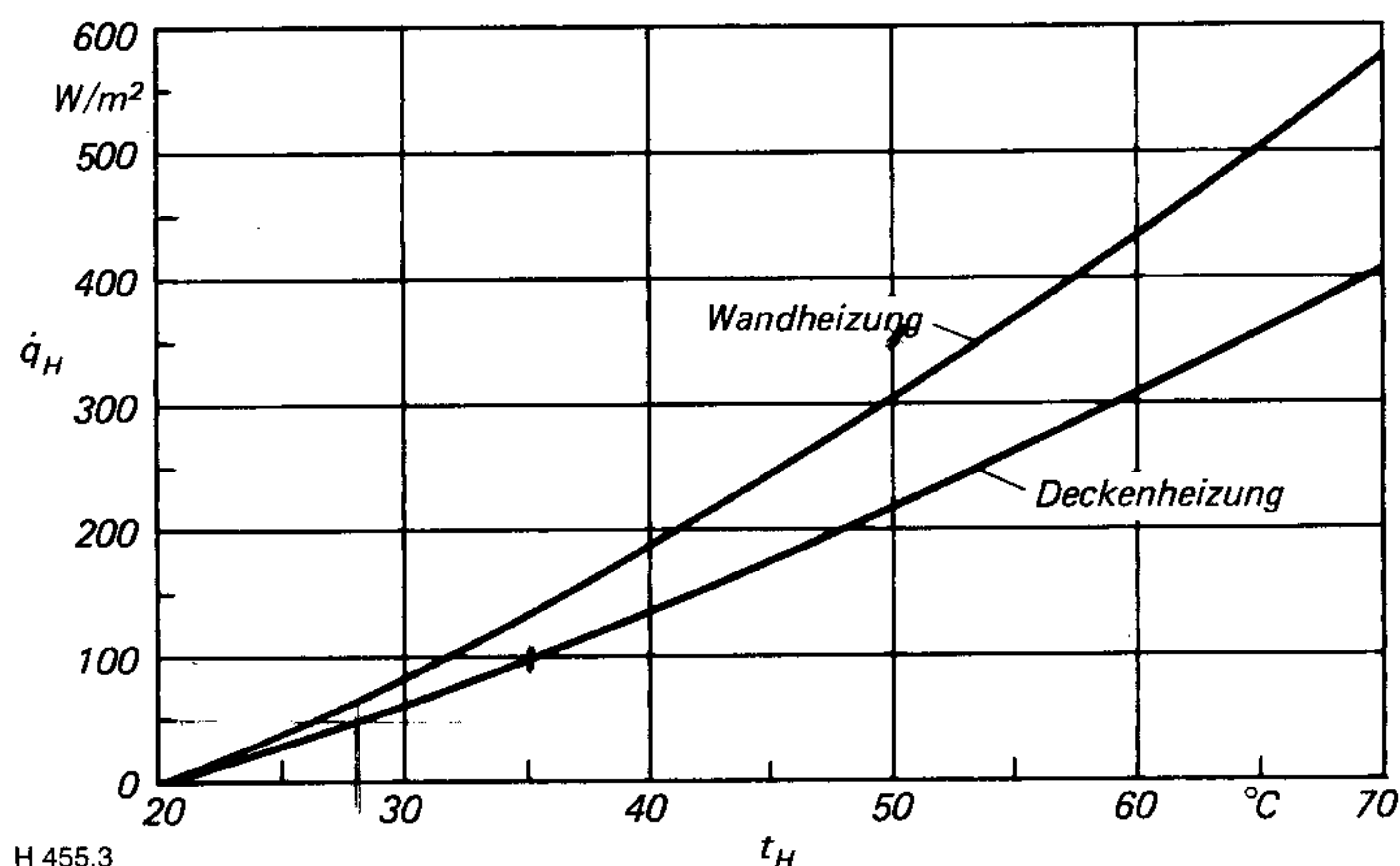


Bild 3: Spezifische Heizleistung für Decken- und Wandflächen in Abhängigkeit der mittleren Heizflächentemperatur (Raumtemperatur: 20 °C).

Bewertungsverfahren

Die Ermittlung der Strahlungstemperaturen ist sehr rechenaufwendig, weshalb ein umfangreiches theoretisches Modell entwickelt wurde [2]. Die erforderlichen Einstrahlzahlen werden nach [5] numerisch bestimmt. Jede Raumumfassung ist in maximal fünf Flächen unterteilbar.

Im Aufenthaltsbereich des Raumes wird in einer Höhe von 1,3 m die Prüfebene angeordnet. In dieser gedachten, nicht gegenständlichen Ebene liegt ein Prüfpunktraster nach Bild 4. An jedem Prüfpunkt P (l, b) befinden sich abwechselnd ein Würfelement mit Seitenflächen, die parallel zu den Raumwänden liegen, ein um 45° gedrehter Würfel (Index q „quer“) und ein Kugelelement (Bild 4). Auf jede Fläche i der beiden Würfelemente werden die Strahlungstemperaturen $t_{s,i}$ (P) bzw. $t_{sq,i}$ (P), d. h. jeweils sechs Stück, bestimmt. Die Differenzen zwischen der jeweiligen maximalen und minimalen Strahlungstemperatur liefern die Strahlungstemperatur-Asymmetrien für den parallelorientierten Würfel

$$\Delta t_s (P) = [\text{MAX} (t_{s,1}, \dots, t_{s,6}) - \text{MIN} (t_{s,1}, \dots, t_{s,6})]_P \quad (2)$$

für den querorientierten Würfel

$$\Delta t_{sq} (P) = [\text{MAX} (t_{sq,1}, \dots, t_{sq,6}) - \text{MIN} (t_{sq,1}, \dots, t_{sq,6})]_P \quad (3)$$

Bei der Auswertung werden zusätzlich die Flächenelemente des Würfels i_{Smax} , i_{Smin} , i_{Sqmax} und i_{Sqmin} , die mit der maxima-

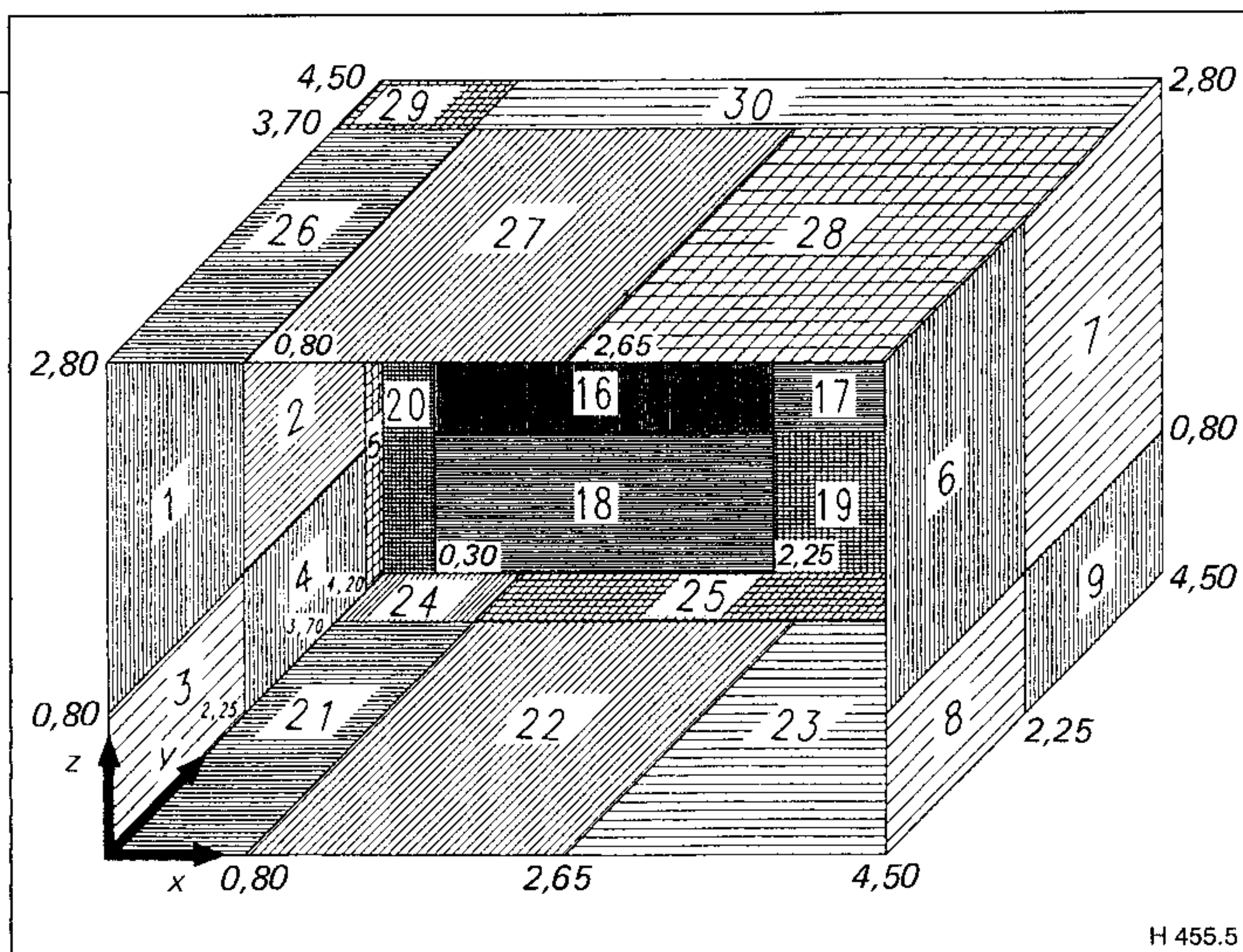


Bild 5: Unterteilung der Umfassungsflächen zur Ermittlung der Strahlungstemperaturen auf die Prüfkörper (vordere Wand entfernt!).

Fensterflächen: 1, 2, 16, 17
Außenwandfläche (massiv): 3, 4, 5, 18, 19, 20
Bodenfläche: 21, 22, 23, 24, 25
Innenwandfläche (rechts): 6, 7, 8, 9
Innenwandfläche (vorn): 11, 12, 13, 14 (nicht dargestellt)
Deckenfläche: 26, 27, 28, 29, 30
(Heizfläche z. B. bei Variante ERO,8: 26, 29, 30)

len bzw. minimalen Strahlungstemperatur verknüpft sind, ausgegeben. Der Größtwert von $\Delta t_s (P)$ und $\Delta t_{sq} (P)$ ist $\Delta t_{s,zul}$ gegenüberzustellen. Da von Punkt zu Punkt unterschiedlich Δt_s oder Δt_{sq} relevant sein kann, enthält die Strahlungstemperatur-Asymmetriefläche – über dem Raumgrundriß aufgespannt – mitunter Singularitäten. Schließlich werde noch die Strahlungstemperatur der Umgebung, bezogen auf das Kugelelement $t_u (P)$, für jeden Prüfpunkt P (l, b) bestimmt.

Der maximale Unterschied über alle 25 Prüfpunkte gebildet

$$\Delta t_u = [\text{MAX} (t_{u,1}, \dots, t_{u,25}) - \text{MIN} (t_{u,1}, \dots, t_{u,25})] \quad (4)$$

ist mit $\Delta t_{u,zul}$ zu vergleichen.

Ergebnisdarstellung

Bild 5 zeigt die Flächenaufteilung der Raumumfassungen, und zugehörig sind im Bild 6 alle geometrischen Raumwerte und Oberflächentemperaturen für das Beispiel ER0,8 – $k_{\text{Fenster}} = 3,0 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ zusammengestellt.

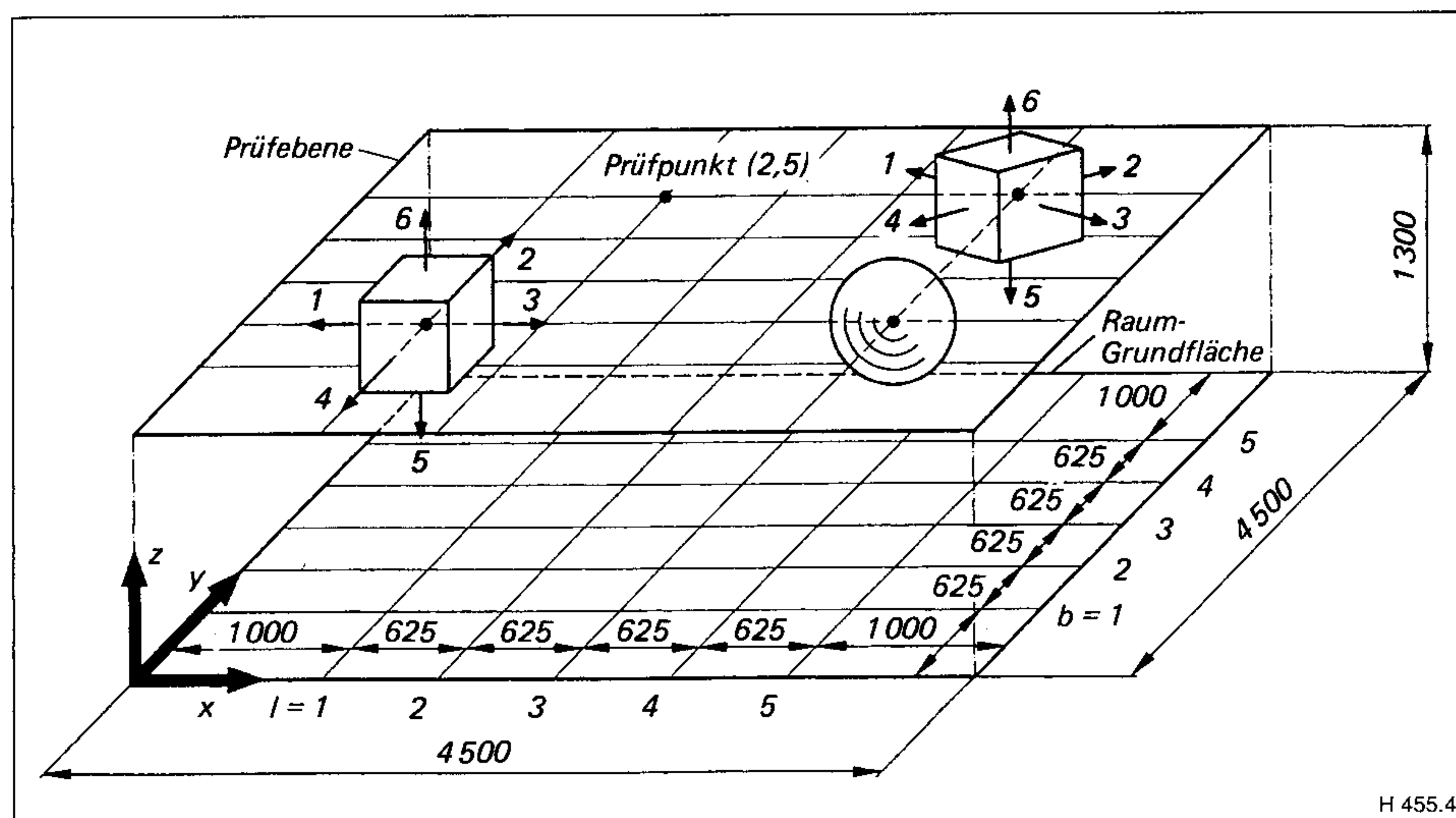


Bild 4: Grundriß des Eck- und Normalraumes mit Prüfpunktraster (l, b), Prüfebene und Prüfkörpern.

Linke Wand $A_l = 12.60 \text{ m}^2$								
i	xmin	xmax	ymin	ymax	zmin	zmax	A(i)	t(i)
1	0.00	0.00	0.00	2.25	0.80	2.80	4.50	7.5
2	0.00	0.00	2.25	4.20	0.80	2.80	3.90	7.5
3	0.00	0.00	0.00	2.25	0.00	0.80	1.80	18.3
4	0.00	0.00	2.25	4.20	0.00	0.80	1.56	18.3
5	0.00	0.00	4.20	4.50	0.00	2.80	0.84	18.3
Rechte Wand $A_r = 12.60 \text{ m}^2$								
i	xmin	xmax	ymin	ymax	zmin	zmax	A(i)	t(i)
6	4.50	4.50	0.00	2.25	0.80	2.80	4.50	20.0
7	4.50	4.50	2.25	4.50	0.80	2.80	4.50	20.0
8	4.50	4.50	0.00	2.25	0.00	0.80	1.80	20.0
9	4.50	4.50	2.25	4.50	0.00	0.80	1.80	20.0
10	4.50	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Vordere Wand $A_v = 12.60 \text{ m}^2$								
i	xmin	xmax	ymin	ymax	zmin	zmax	A(i)	t(i)
11	0.00	2.25	0.00	0.00	0.80	2.80	4.50	20.0
12	2.25	4.50	0.00	0.00	0.80	2.80	4.50	20.0
13	0.00	2.25	0.00	0.00	0.00	0.80	1.80	20.0
14	2.25	4.50	0.00	0.00	0.00	0.80	1.80	20.0
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Hintere Wand $A_h = 12.60 \text{ m}^2$								
i	xmin	xmax	ymin	ymax	zmin	zmax	A(i)	t(i)
16	0.30	2.25	4.50	4.50	0.80	2.80	3.90	7.5
17	2.25	4.50	4.50	4.50	0.80	2.80	4.50	7.5
18	0.30	2.25	4.50	4.50	0.00	0.80	1.56	18.3
19	2.25	4.50	4.50	4.50	0.00	0.80	1.80	18.3
20	0.00	0.30	4.50	4.50	0.00	2.80	0.84	18.3
Boden $A_b = 20.25 \text{ m}^2$								
i	xmin	xmax	ymin	ymax	zmin	zmax	A(i)	t(i)
21	0.00	0.80	0.00	3.70	0.00	0.00	2.96	20.0
22	0.80	2.65	0.00	3.70	0.00	0.00	6.85	20.0
23	2.65	4.50	0.00	3.70	0.00	0.00	6.84	20.0
24	0.00	0.80	3.70	4.50	0.00	0.00	0.64	20.0
25	0.80	4.50	3.70	4.50	0.00	0.00	2.96	20.0
Decke $A_d = 20.25 \text{ m}^2$								
i	xmin	xmax	ymin	ymax	zmin	zmax	A(i)	t(i)
26	0.00	0.80	0.00	3.70	2.80	2.80	2.96	65.0
27	0.80	2.65	0.00	3.70	2.80	2.80	6.85	20.0
28	2.65	4.50	0.00	3.70	2.80	2.80	6.84	20.0
29	0.00	0.80	3.70	4.50	2.80	2.80	0.64	65.0
30	0.80	4.50	3.70	4.50	2.80	2.80	2.96	65.0

Eingabewerte

Raumlänge $L = 4.50 \text{ m}$ Prüfebene
Raumbreite $B = 4.50 \text{ m}$ Höhe
Raumhöhe $H = 2.80 \text{ m}$ $PH = 1.3 \text{ m}$ H 455.6

Bild 6: Rechnerausdruck der geometrischen und thermischen Eingabedaten (Beispielvariante ERO,8; $k_{\text{Fenster}} = 3,0 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$).

Strahlungstemperaturen und Strahlungstemperatur - Asymmetrien

P	tSmax	tSmin	tSqmax	tSqmin	dtS	dtSq	iSmax/ iSmin	iSqmax/ iSqmin	tU(P)
l b									
1 1	27.4	16.6	27.4	17.9	10.8	9.6	6/1	6/4	20.5
1 2	28.5	16.5	28.5	17.9	12.0	10.5	6/1	6/1	20.7
1 3	29.3	16.4	29.3	17.6	12.9	11.7	6/1	6/1	20.8
1 4	30.4	16.4	30.4	16.9	14.1	13.5	6/1	6/1	20.9
1 5	31.5	16.2	31.5	15.3	15.3	16.2	6/2	6/1	20.8
2 1	24.5	19.5	24.5	19.6	5.1	4.9	6/1	6/4	20.4
2 2	25.4	19.4	25.4	19.5	6.0	5.9	6/1	6/1	20.5
2 3	26.4	19.4	26.4	19.3	7.0	7.1	6/1	6/1	20.7
2 4	28.2	19.3	28.2	18.8	8.9	9.4	6/5	6/1	20.9
2 5	30.4	16.3	30.4	16.9	14.1	13.5	6/2	6/1	20.9
3 1	22.5	19.7	22.5	19.7	2.8	2.8	6/2	6/1	20.1
3 2	23.2	19.7	23.2	19.6	3.4	3.6	6/5	6/1	20.2
3 3	24.3	19.6	24.3	19.6	4.7	4.7	6/5	6/1	20.4
3 4	26.4	19.4	26.4	19.3	7.0	7.1	6/2	6/1	20.7
3 5	29.3	16.4	29.3	17.6	12.9	11.7	6/2	6/1	20.8
4 1	21.4	19.6	21.4	19.5	1.9	2.0	6/2	6/1	19.9
4 2	22.0	19.7	22.0	19.5	2.4	2.5	6/2	6/1	20.0
4 3	23.2	19.7	23.2	19.6	3.4	3.6	6/5	6/1	20.2
4 4	25.4	19.4	25.4	19.5	6.0	5.9	6/2	6/1	20.5
4 5	28.5	16.5	28.5	17.9	12.0	10.5	6/2	6/1	20.7
5 1	20.9	19.5	20.9	19.3	1.4	1.6	6/1	6/1	19.9
5 2	21.4	19.6	21.4	19.5	1.9	2.0	6/1	6/1	19.9
5 3	22.5	19.7	22.5	19.7	2.8	2.8	6/1	6/1	20.1
5 4	24.5	19.5	24.5	19.6	5.1	4.9	6/2	6/2	20.4
5 5	27.4	16.6	27.4	17.9	10.8	9.6	6/2	6/2	20.5

Temperaturen in °C; Temperaturdifferenzen in K

Maximaler Unterschied der Strahlungstemperaturen $t_U(P)$: 1.1 K

Maximale Asymmetrie : 16.2 K am Prüfungspunkt (1,5)

Minimale Asymmetrie : 1.4 K am Prüfungspunkt (5,1) H 455.7

Bild 7: Rechnerausdruck der extremen Strahlungstemperaturen auf die Würfelflächen, der maximalen Asymmetrien mit den Flächenzuordnungen und die Strahlungstemperaturen bezogen auf das Kugelelement (Variante nach Bild 6).

Der Ausdruck (Bild 7) gibt für alle Prüfungspunkte die maximalen und minimalen Strahlungstemperaturen auf die Flächen des parallel zu den Raumumfassungen orientierten und des querstehenden Würfels an. Gemäß der Gln. (2) und (3) folgen die maximalen Strahlungstemperatur-Asymmetrien und die Nummern der Würfelflächen (Bezeichnungen nach Bild 4), zwischen denen diese Asymmetrien bestehen. Schließlich ist die Strahlungstemperatur der Umgebung, bezogen auf das Kugelelement $t_U(P)$, tabellarisch ergänzt. Die Extremwerte der Temperaturunterschiede werden aus den Tabellendaten ermittelt und zusammengefaßt dargestellt. Bild 8 gibt die Strahlungstemperaturen auf die je sechs Würfelflächen an. Sie sind für weitergehende Auswertungen nutzbar.

Strahlungstemperaturen

l b	tS_1	tS_2	tS_3	tS_4	tS_5	tS_6	tS/1	tS/2	tS/3	tS/4	tS/5	tS/6
1 1	16.6	20.3	19.9	19.9	19.2	27.4	18.1	20.4	20.2	17.9	19.2	27.4
1 2	16.5	20.1	20.0	20.2	19.1	28.5	17.9	20.4	20.5	18.0	19.1	28.5
1 3	16.4	19.9	20.2	20.5	19.0	29.3	17.6	20.4	20.7	18.2	19.0	29.3
1 4	16.4	19.1	20.6	20.7	18.9	30.4	16.9	20.2	21.0	18.4	18.9	30.4
1 5	16.2	16.2	20.8	20.8	18.6	31.5	15.3	18.6	21.7	18.6	18.6	31.5
2 1	19.5	20.0	20.0	20.1	19.6	24.5	19.6	19.9	20.0	19.6	19.6	24.5
2 2	19.4	20.0	20.0	20.3	19.6	25.4	19.5	19.9	20.1	19.7	19.6	25.4
2 3	19.4	20.0	20.2	20.4	19.5	26.4	19.3	20.0	20.2	19.8	19.5	26.4
2 4	19.4	19.4	20.5	20.5	19.3	28.2	18.8	19.9	20.4	19.9	19.3	28.2
2 5	19.1	16.3	20.7	20.6	18.9	30.4	16.9	18.4	21.0	20.2	18.9	30.4
3 1	19.8	19.7	20.0	20.1	19.8	22.5	19.7	19.7	20.0	19.9	19.8	22.5
3 2	19.8	19.8	20.0	20.1	19.7	23.2	19.6	19.8	20.0	19.9	19.7	23.2
3 3	19.9	19.9	20.2	20.2	19.6	24.3	19.6	19.9	20.0	19.9	19.6	24.3
3 4	20.0	19.4	20.4	20.2	19.5	26.4	19.3	19.8	20.2	20.0	19.5	26.4
3 5	19.9	16.4	20.5	20.2	19.0	29.3	17.6	18.2	20.7	20.4	19.0	29.3
4 1	19.7	19.6	20.0	20.0	19.8	21.4	19.5	19.7	20.0	19.8	19.8	21.4
4 2	19.7	19.7	20.0	20.0	19.8	22.0	19.5	19.8	20.0	19.8	19.8	22.0
4 3	19.8	19.8	20.1	20.0	19.7	23.2	19.6	19.9	20.0	19.8	19.7	23.2
4 4	20.0	19.4	20.3	20.0	19.6	25.4	19.5	19.7	20.1	19.9	19.6	25.4
4 5	20.1	16.5	20.2	20.0	19.1	28.5	17.9	18.0	20.5	20.4	19.1	28.5
5 1	19.5	19.5	20.0	20.0	19.9	20.9	19.3	19.8	20.0	19.8	19.9	20.9
5 2	19.6	19.7	20.0	20.0	19.8	21.4	19.5	19.8	20.0	19.7	19.8	21.4
5 3	19.7	19.8	20.1	20.0	19.8	22.5	19.7	19.9	20.0	19.7	19.8	22.5
5 4	20.0	19.5	20.1	20.0	19.6	24.5	19.6	19.6	20.0	19.9	19.6	24.5
5 5	20.3	16.6	19.9	19.9	19.2	27.4	18.1	17.9	20.2	20.4	19.2	27.4

Temperaturen in °C

H 455.8

Bild 8: Rechnerausdruck aller Strahlungstemperaturen auf die Würfelflächen zur individuellen Auswertung (Variante nach Bild 6).

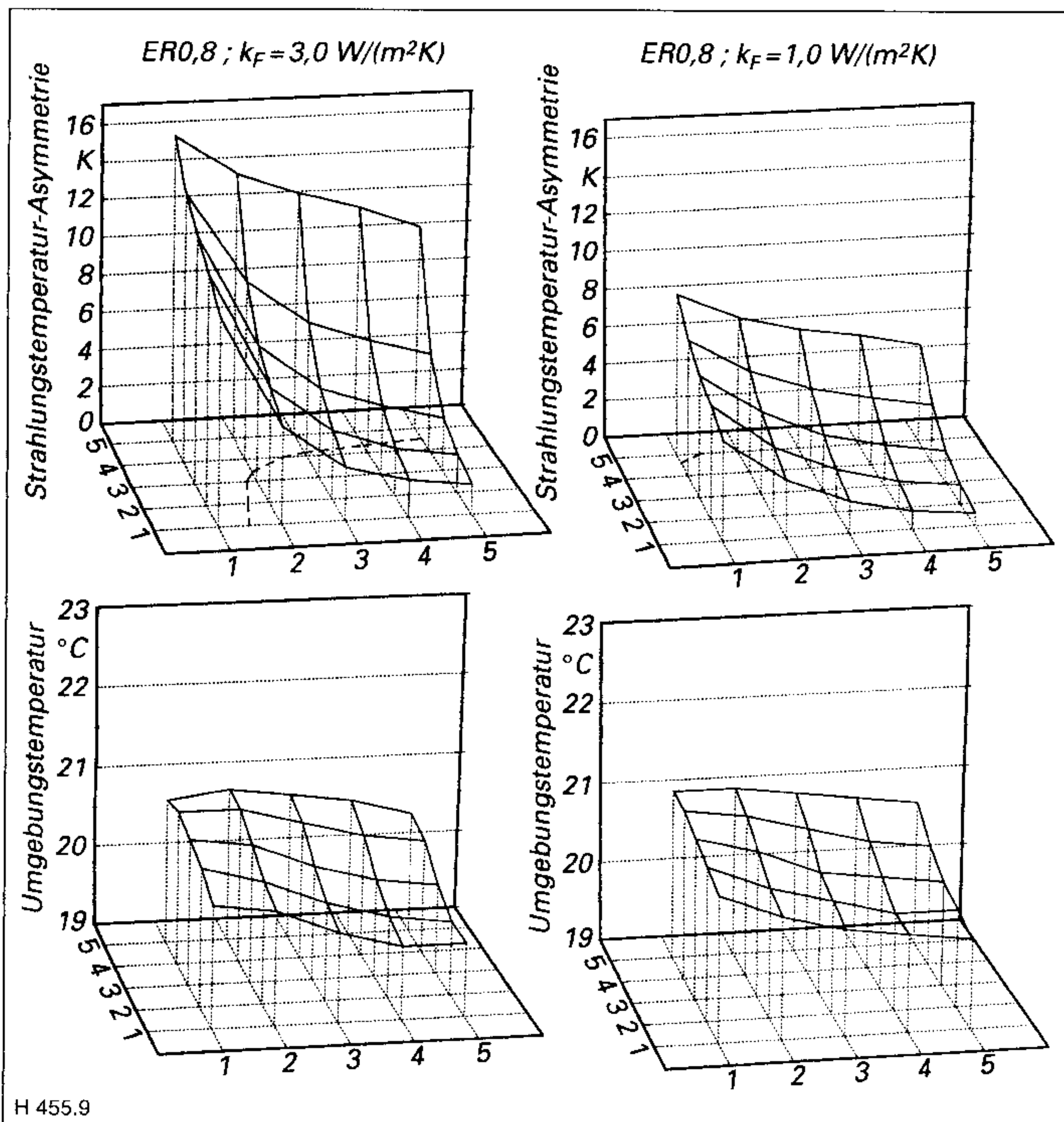


Bild 9: Verteilung der Strahlungstemperatur-Asymmetrien Δt_s (oben) und der Strahlungstemperaturen t_u für Variante ER0,8. Gestrichelter Linienzug auf der Grundfläche stellt die Isokurve $\Delta t_{s,zul} = 8 \text{ K}$ dar.

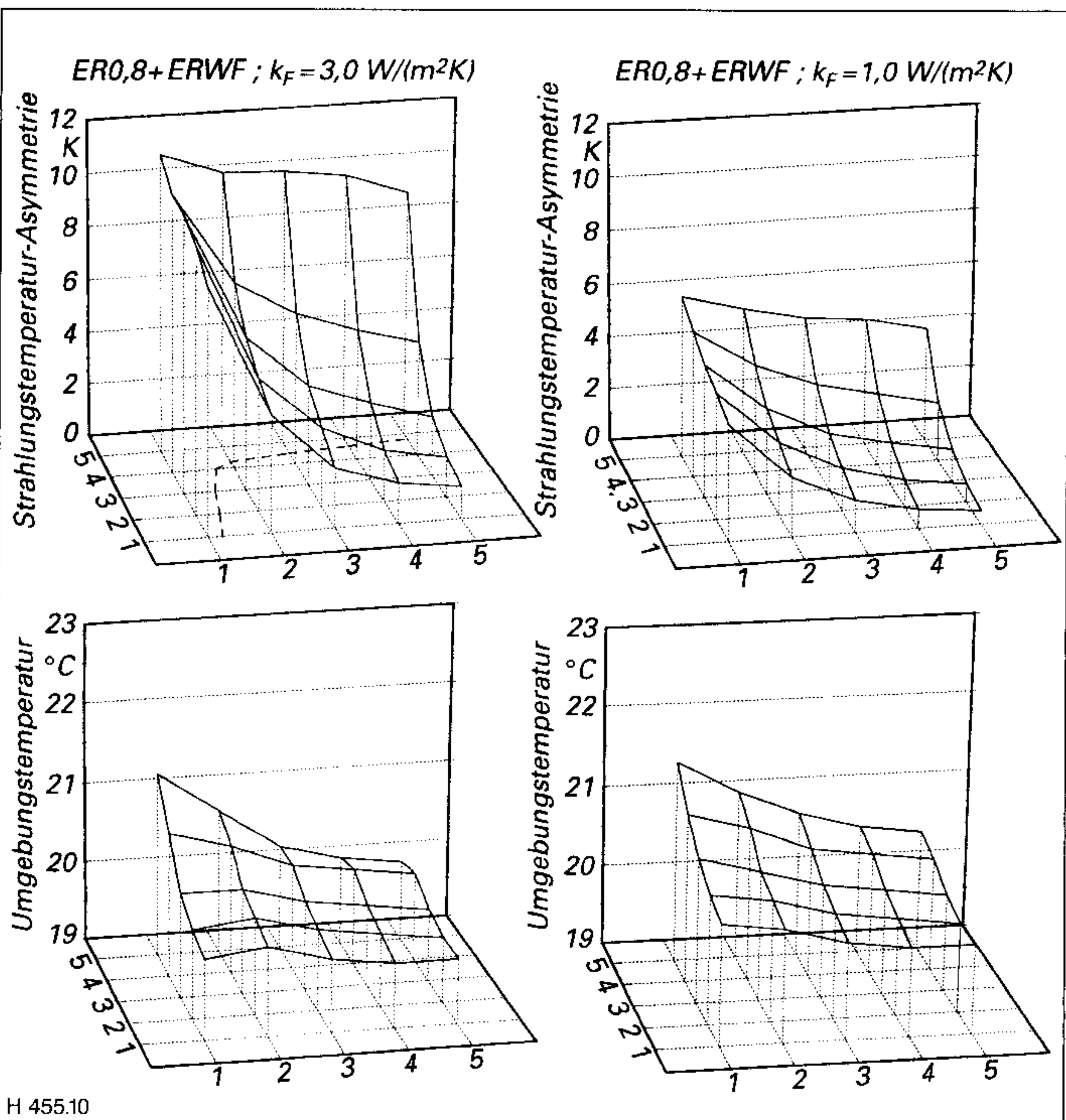


Bild 10: Verteilung der Strahlungstemperatur-Asymmetrien Δt_s (oben) und der Strahlungstemperaturen t_u für Variante ERVF.

Ergebnisse für den Eckraum

Für die wärmetechnischen Extremkonfigurationen $k_{\text{Fenster}} = 3$ bzw. $1 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ sind in den Bildern 9 bis 11 für drei unterschiedliche Heizflächenanordnungen (siehe Bildunterschriften) die Strahlungstemperatur-Asymmetrien und Strahlungstemperaturen

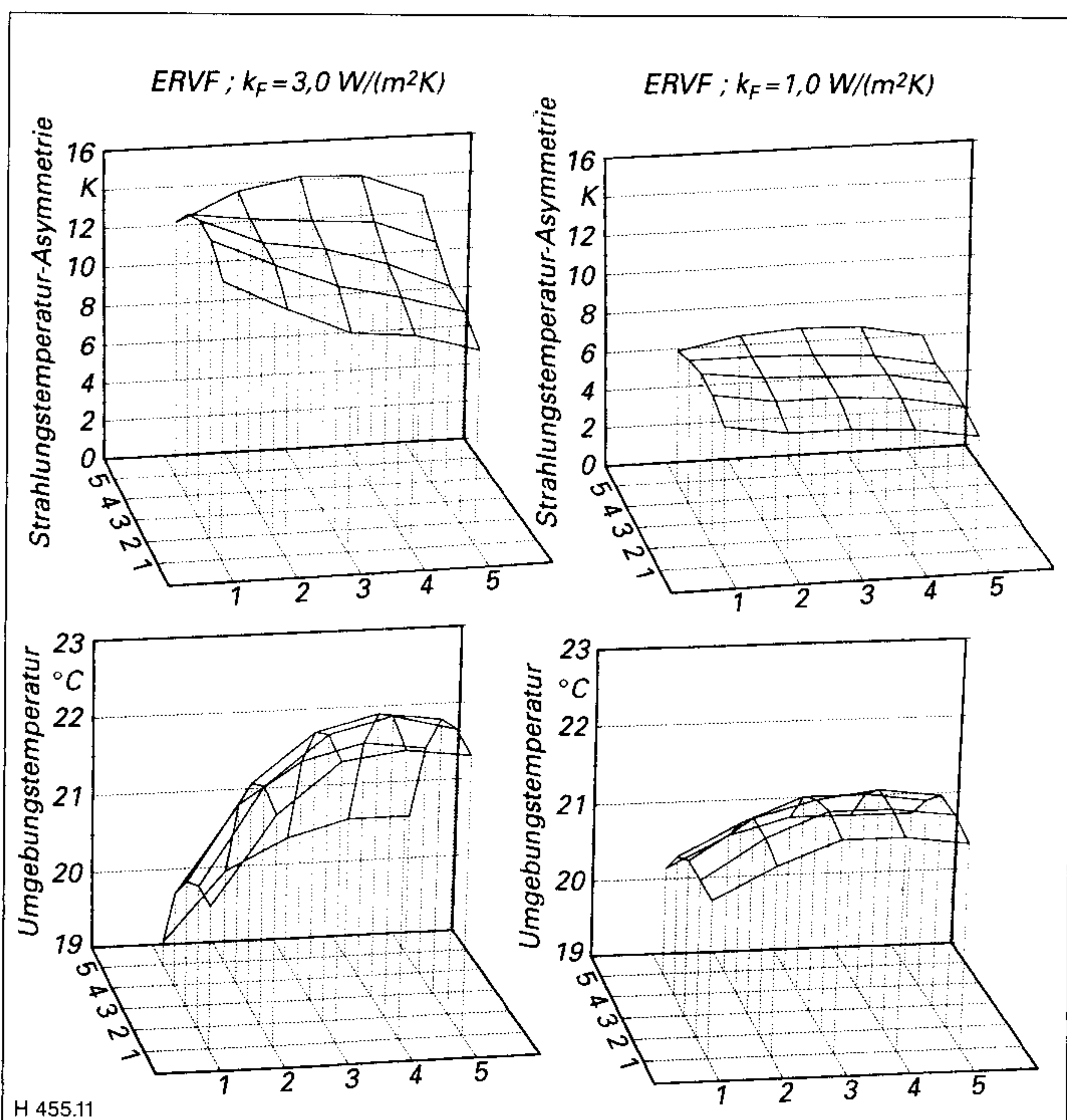


Bild 11: Verteilung der Strahlungstemperatur-Asymmetrien Δt_s (oben) und der Strahlungstemperaturen t_u für Variante ER0,8 + ERWF. Gestrichelter Linienzug auf der Grundfläche stellt die Isokurve $\Delta t_{s,zul} = 8 \text{ K}$ dar.

t_u im Aufenthaltsbereich räumlich dargestellt. Weiterhin enthält Tabelle 1 alle relevanten Temperaturunterschiede zur raschen Beurteilung der Heizflächenanordnung.

Bild 12 zeigt die Asymmetrie- und Strahlungstemperaturverläufe längs der Raumdiagonalen für $k_{\text{Fenster}} = 1,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ für verschiedene Varianten in direkter Gegenüberstellung.

Ergebnisse für den Normalraum

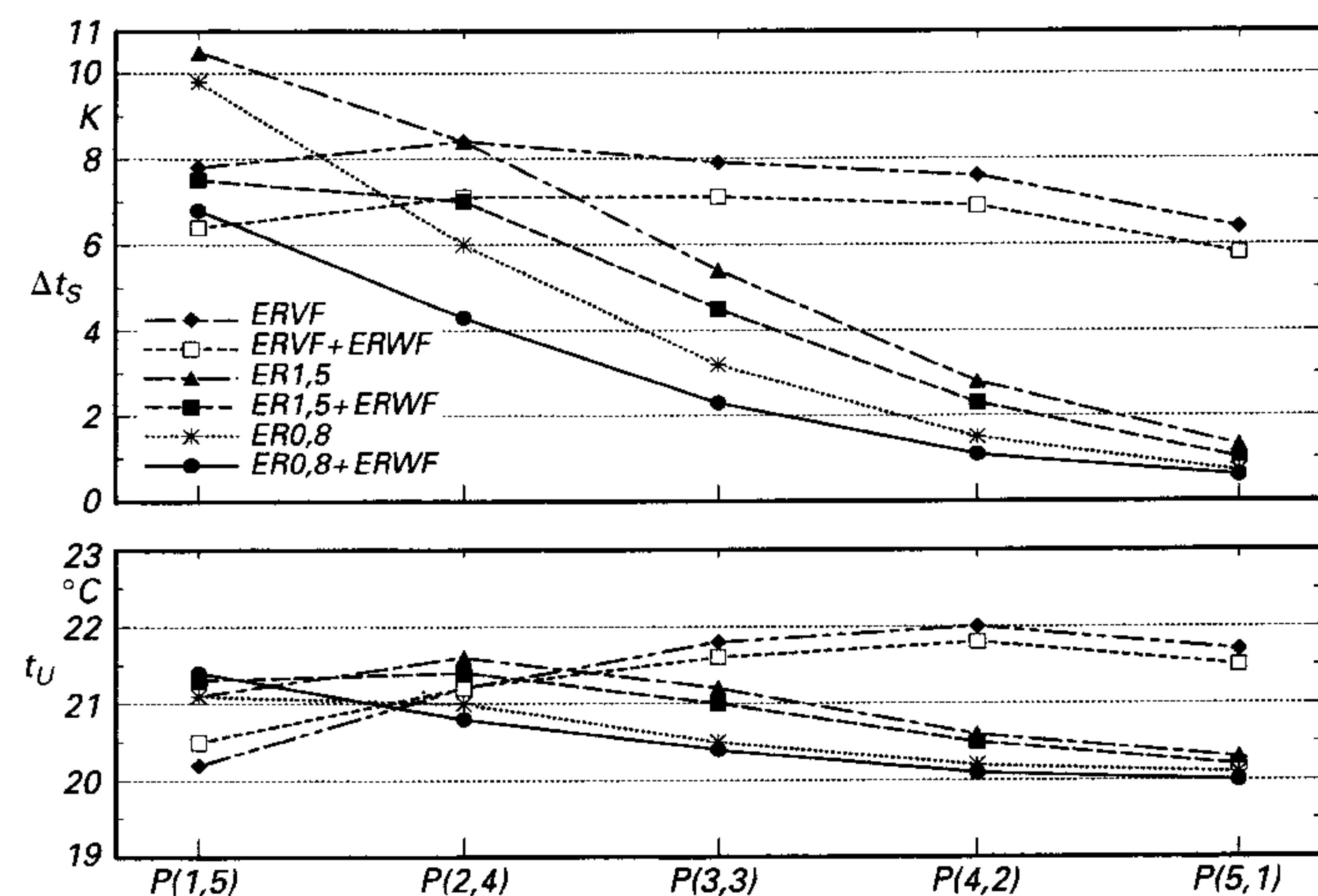
Zur Vereinfachung der Rechnung blieben die im Bild 2 dargestellten Fensterpfeiler unberücksichtigt. Die Strahlungstemperatur-Asymmetrien und die Strahlungstemperaturen t_u sind im Bild 13 für $k_{\text{Fenster}} = 1,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ längs der Raummittellachse (rechtwinklig zum Fenster) aufgezeichnet. Eine weitere Datenzusammenstellung gibt Tabelle 2.

Tabelle 1: Daten der Variantenrechnungen für den Eckraum.

Heizflächen- variante	k_{Fenster} $\text{W/(m}^2 \text{ K)}$	Heizflächen- temperatur $^{\circ}\text{C}$	$\Delta t_{s,\text{max}}$ K	$\Delta t_{s,\text{min}}$ K	Δt_u K
ER 0,8	3	65	16,2	1,4	1,1
	1,3	50	9,8	0,7	1,1
	1	47	8,6	0,7	1,0
ER 1,5	3	49	17,4	1,9	1,7
	1,3	39	10,5	1,3	1,3
	1	37	9,2	1,2	1,2
ERVf	3	37	15,1	9,8	3,5
	1,3	31	8,8	6,4	1,8
	1	30	7,7	5,8	1,5
ER 0,8 + ERWF	3	55	11,2	1,1	1,5
	1,3	43	6,8	0,5	1,4
	1	41	6,1	0,5	1,4
ER 1,5 + ERWF	3	44	14,3	1,5	1,3
	1,3	36	8,4	1,0	1,2
	1	34	7,2	0,9	1,1
ERVf + ERWF	3	36	14,2	9,2	2,7
	1,3	30	8,0	5,8	1,3
	1	29	7,0	5,1	1,0

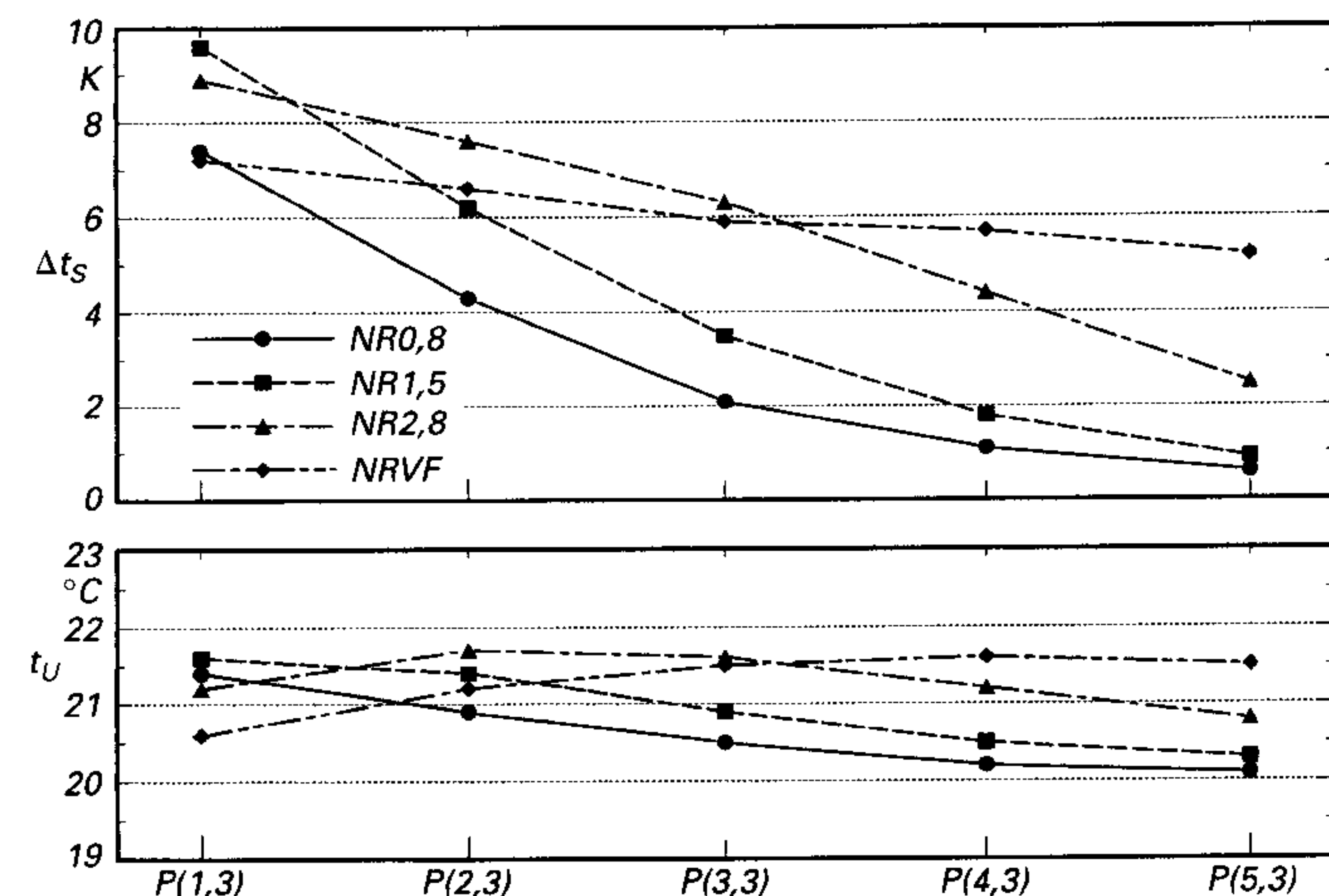
Tabelle 2: Daten der Variantenrechnungen für den Normalraum.

Heizflächen- variante	k_{Fenster} W/(m ² K)	Heizflächen- temperatur °C	$\Delta t_{s,\text{max}}$ K	$\Delta t_{s,\text{min}}$ K	Δt_U K
NR 0,8	3	69	12,2	0,7	1,2
	1,3	56	7,4	0,5	1,3
	1	53	6,8	0,5	1,2
NR 1,5	3	49	15,4	1,0	1,4
	1,3	41	9,6	0,8	1,4
	1	39	8,4	0,7	1,3
NR 2,8	3	37	14,5	3,1	1,2
	1,3	32	8,9	2,2	1,0
	1	31	7,8	2,0	1,0
NRVF	3	31	11,8	6,3	2,0
	1,3	28	7,2	4,6	1,1
	1	27	6,1	4,0	0,9



H 455.12

Bild 12: Verteilung der Strahlungstemperatur-Asymmetrien Δt_s (oben) und der Strahlungstemperaturen t_U längs der Raumdiagonalen – beginnend beim Fensterpfeiler – für die Varianten ER0,8; ER0,8 + ERWF; ER 1,5; ER 1,5 + ERWF; ERVF und ERVF + ERWF mit $k_{\text{Fenster}} = 1,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. Hinweis: Die Extremwerte $\Delta t_{s,\text{max}}$ liegen nicht immer auf der Diagonalen!



H 455.13

Bild 13: Verteilung der Strahlungstemperatur-Asymmetrien Δt_s (oben) und der Strahlungstemperaturen t_U längs der Raummittellachse für Varianten NR0,8; NR1,5; NR2,8 und NRVF mit $k_{\text{Fenster}} = 1,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$.

Feststellungen aus den Ergebnissen

1. In Räumen mit großen Fensterflächen, gepaart mit hohen k_{Fenster} -Werten können mit Deckenheizungen allein keine wärme-physiologisch vertretbaren Verhältnisse im gesamten Aufenthaltsbereich erzielt werden. Dies gilt auch, wenn man schmale Fensterpfeiler als zusätzliche Wandheizflächen einbezieht.

Bei Einsatz von Wärmeschutzgläsern ($k_{\text{Fenster}} \leq 1,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$) sind dagegen auch bei großen Fensterflächen behagliche Bedingungen möglich (Beachte Punkt 5.).

2. Der Einsatz von hochtemperierten, schmalen Deckenheizstreifen entlang der transparenten Außenumfassungen sichert im Aufenthaltsbereich nahezu konstante bzw. in Fensterichtung leicht steigende Strahlungstemperaturen t_U , da die kalten Außenwandflächen unmittelbar kompensiert werden. Damit verbunden sind jedoch hohe Asymmetrien durch die stark unterschiedlichen Strahlungsbedingungen im Randbereich. Sie bauen sich jedoch in Richtung des Rauminnen rasch ab.

3. Bei einer Volldeckenheizung unterliegen die Strahlungstemperaturen t_U – und damit die Empfindungstemperaturen – größeren Schwankungen. Das Absenken im Bereich schlecht gedämmter Außenwände kann mit überlagerten Kaltluftströmungen zu Discomfort führen. Die Strahlungstemperatur-Asymmetrien sind relativ ausgeglichen, sie bewegen sich jedoch auf hohem Niveau.

4. Breite Deckenheizstreifen entlang der Außenwände liefern indifferente Ergebnisse. In der Regel liegen die t_U -Unterschiede zwischen denen schmaler Deckenheizstreifen und Volldeckenheizungen. Die Asymmetrien können jedoch Höchstwerte aufweisen.

5. Zusätzliche Heizflächen im Außenwandbereich (z. B. an Fensterpfeilern) verringern durch gleichgerichtete thermische Kompensation stets die Strahlungsasymmetrie. Bei Eckräumen mit zwei Fensterflächen ist ihr Einsatz sehr zu empfehlen. Die Veränderungen in der t_U -Verteilung sind in der Regel unbedeutend.

6. Übliche Möblierungen, deren Oberflächentemperaturen nicht durch innere Lasten beeinflusst werden und damit etwa der Raumtemperatur entsprechen, verändern die für den Leerraum ermittelten Strahlungstemperaturverteilungen nur unbedeutend.

Fazit

Räume mit einer Außenwand und auch Eckräume mit großen Fensterflächen können mit Deckenstrahlflächen wärme-physiologisch zulässig beheizt werden, wenn Wärmeschutzgläser zum Einsatz kommen. Zusätzliche Wandheizflächen reduzieren die Strahlungsasymmetrie. Sie sind bei Eckräumen mit zwei verglasten Außenwänden in der Regel notwendig. Schmale Randheizflächen garantieren hohe Strahlungstemperaturen im Außenwandbereich. Ihnen gilt gegenüber Volldeckenheizungen der Vorzug. RLT-Anlagen zur Sicherung des Mindestluftwechsels reduzieren die Raumheizlast und damit die erforderliche Heizleistung, wodurch ebenfalls die thermische Behaglichkeit zunimmt. [H 455]

Literaturangaben

- [1] Glück, B.: Sind Kühldecken als Heizdecken einsetzbar? HLH 45 (1994) Nr. 2, S. 64/67.
- [2] Glück, B.: Bewertungsmaßstab zur optimalen Anordnung von Heiz- und Kühlflächen im Raum. Gesundheits-Ingenieur (1991) Nr. 2, S. 65/71.
- [3] Glück, B.: Zulässige Strahlungstemperatur-Asymmetrie. Eingereicht bei Gesundheits-Ingenieur.
- [4] Glück, B.: Empfindungstemperatur und ihre Meßbarkeit. Gesundheits-Ingenieur (1993) Nr. 3, S. 134/142.
- [5] Glück, B.: Strahlungsheizung – Theorie und Praxis. Berlin: Verlag für Bauwesen; Karlsruhe: C. F. Müller 1982.