

Wärmephysiologische Bewertung von Kühlsystemen zur Raumklimatisierung

Teil 2 -Lastmodellierung, Anlagenvariationen und Schlussfolgerungen

Bernd Glück, Jößnitz

Die Raumklimatisierung wird mit den verschiedenartigsten Systemen durchgeführt. Bei Vergleichen werden meistens nur die zugehörigen Investitions- und Betriebskosten betrachtet. Im vorliegenden Beitrag erfolgt eine Gegenüberstellung der durch die Systeme im Raum bewirkten wärmephysiologischen Gegebenheiten. Im Teil 1 wurden die objektiven Anforderungen an die Raumverhältnisse im Kühlfall und die durch Normen und Empfehlungen gegebenen Randbedingungen zusammengestellt. Weiterhin erfolgte eine Diskussion über die Eignung der üblichen Simulationsmodelle zur wärmephysiologischen Bewertung der Kühlsysteme.¹⁾

Die Untersuchungen erfolgen für einen Eckraum mit zwei großen Glasfassaden entsprechend der Bilder 8 und 9. Dieser Einsatzfall charakterisiert einen üblichen Problemfall. Kann dieser zur Zufriedenheit bezüglich der Behaglichkeitsanforderungen gelöst werden, dann sind Normalräume mit einer Außenfassade ohne weiteres beherrschbar.

Lastmodellierung und Belastungsvariationen

Die Lasteinbringung geschieht über die Umfassungen und neun Interieurwärmequellen im Raum. Die Standorte gelten unverändert nach Bild 8 mit den in Tabelle 1 vermerkten Koordinaten. Gemäß einer speziellen Variante im Raummodell [2] kann eine Interieurwärmequelle näherungsweise durch die Koordinaten des „Wärmeschwerpunktes“, den Wärmestrom und den Strahlungsanteil modelliert werden. Hierzu sind in dem Programmmodul Interieursim die

Einstrahlzahlen für ein kugelförmiges Element – am Standort der Interieurwärmequelle – auf alle Flächen des Raumes zu bestimmen. Der emittierte Strahlungswärmestrom wird an alle Raumbooberflächen entsprechend der berechneten Einstrahlzahlen mit Hilfe des gleichen Programms aufgeteilt. Dieser Anteil geht zwar in die Bilanz zur Bestimmung der Oberflächentemperatur ein, findet aber keine direkte Beachtung im Raumstrahlungsmodell. Die durch die Konvektion verursachte Luftbewegung wird näherungsweise bestimmt und in vertikaler Richtung analog wie bei von Flächen ausgelösten Luftströmungen verfolgt.

Die Lastvariation bezieht sich auf die Parameter

- Größe der Kühllast (Raumumfassungen $\dot{Q}_{\text{Raum}}$ und Interieur $\dot{Q}_{\text{Interieur}}$)
- Lastverteilung zwischen Umfassungen und Interieur bei konstanter Gesamtlast
- Qualität der Wärmequellen bezüglich Konvektion und Strahlung mit den nachfolgenden Detaillierungen:

V1 Normallast 3 870 W

⇒ $\dot{Q}_{\text{Raum}} = 3 010 \text{ W}$ plus $\dot{Q}_{\text{Interieur}} = 860 \text{ W}$
⇒ Kühllastdichte $77,4 \text{ W/m}^2$

Glasflächen (1; 2; 5; 6)	$\dot{q}_{\text{ab,i}} = 50 \text{ W/m}^2$
Fußbodenflächen (9; 10)	$\dot{q}_{\text{ab,i}} = 8 \text{ W/m}^2$
Innenwandflächen (3; 4; 7; 8)	$\dot{q}_{\text{ab,i}} = 8 \text{ W/m}^2$
Interieurquellen (1; 2)	$\dot{Q} = 80 \text{ W}$ ($\text{Ant}_{\text{rad}} = 0,5$)
Interieurquellen (3 ... 5)	$\dot{Q} = 100 \text{ W}$ ($\text{Ant}_{\text{rad}} = 0,2$)
Interieurquellen (6 ... 9)	$\dot{Q} = 100 \text{ W}$ ($\text{Ant}_{\text{rad}} = 0,5$)
(Interieurlast mit ca. 40 % Strahlungsanteil)	

V2 wie V1, jedoch Interieurlast mit 100 % Strahlungsanteil ($\text{Ant}_{\text{rad}} = 1$)
V3 wie V1, jedoch Interieurlast mit 100 % Konvektionsanteil ($\text{Ant}_{\text{rad}} = 0$)

Autor



Professor Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Jahrgang 1942, Studienrichtung TGA, war tätig am Institut für Thermodynamik und Energiewirtschaft der TU Dresden, in der TGA-Planung, im Industrieinstitut TGA und im Zentralbereich Ingenieurtechnik bei ROM in Leitender Funktion auf

dem Gebiet der Heizungs- und Lüftungstechnik, jetzt eigenes Forschungs- und Entwicklungsbüro TGA sowie Honorarprofessor an der Westsächsischen Hochschule Zwickau (FH); bisher über 170 Buch- und Zeitschriftenveröffentlichungen.

¹⁾ Teil 1 dieses Beitrages erschien in HLH 9/2000, S. 54-69.

Lasteintrag			Lastabfuhr			Charakteristiken	
$\dot{Q}_{\text{Raum}}$	=	3 010 W	$\dot{Q}_{\text{Kühldecke}}$	=	3 357 W	$t_{\text{Kaltwasser}}$	= 15,6 °C
$\dot{Q}_{\text{Interieur}}$	=	860 W	$\dot{Q}_{\text{Zuluft}}$	=	524 W	$\dot{V}_{\text{Zuluft}}$	= 450 m³/h
Strahlung		40 %	$\dot{Q}_{\text{Umluft}}$	=	0 W	t_{Zuluft}	= 22 °C
Konvektion		60 %				$\dot{V}_{\text{Umluft}}$	= 0 m³/h
Summe	=	3 870 W	Summe	=	3 881 W	t_{Umluft}	= – °C

Tabelle 6

Kühldecke, Normallast V1

Temperaturen						Charakteristiken	
Zone	$t_{\text{Luft,zoneL}}$ °C	t_{Zuluft} °C	t_{Abluft} °C	$t_{\text{Umluft, zu}}$ °C	$t_{\text{Umluft, ab}}$ °C	Temperaturen in 1,3 m Höhe	
10	25,47		25,5				
9	25,14					t_{Luft}	= 24,3 °C
8	24,63					t_{Umgebung}	= 25,7 °C
7	24,40					$t_{\text{Empfindung}}$	= 25,0 °C
6	24,35					Lufttemperaturgradient zwischen 0,1 m und 1,1 m Höhe (Mittelwert)	
5	24,31						
4	24,26					$g_{\text{Lufttemperatur}}$	= 0,9 K/m
3	24,16					maximaler Unterschied der Empfindungstemperatur in 1,3 m Höhe	
2	24,02						
1	23,44	22,0				$\Delta t_{\text{Empfindung}}$	= 1,3 K

Strahlungsverhältnisse				(l, k kennzeichnen den Prüfrasterpunkt)			
globale Strahlungstemperatur		Strahlungstemperatur-Asymmetrie		maximal		minimal	
maximal		minimal		maximal		minimal	
$t_{\text{U,max}}$	= 26,9 °C	$t_{\text{U,min}}$	= 24,4 °C	$\Delta t_{\text{S,max}}$	= 6,3 K	$\Delta t_{\text{S,min}}$	= 3,2 K
l = 1	k = 1	l = 8	k = 3	l = 6	k = 1	l = 9	k = 4

Oberflächentemperatur der Kühldecke: 19,0 °C

Lasteintrag			Lastabfuhr			Charakteristiken	
$\dot{Q}_{\text{Raum}}$	=	1 885 W	$\dot{Q}_{\text{Kühldecke}}$	=	3 439 W	$t_{\text{Kaltwasser}}$	= 16,3 °C
$\dot{Q}_{\text{Interieur}}$	=	1 985 W	$\dot{Q}_{\text{Zuluft}}$	=	457 W	$\dot{V}_{\text{Zuluft}}$	= 450 m³/h
Strahlung		100 %	$\dot{Q}_{\text{Umluft}}$	=	0 W	t_{Zuluft}	= 22 °C
Konvektion		0 %				$\dot{V}_{\text{Umluft}}$	= 0 m³/h
Summe	=	3 870 W	Summe	=	3 896 W	t_{Umluft}	= – °C

Tabelle 7

Kühldecke, erhöhte Interieurlast mit 100 % Strahlung V5

Temperaturen						Charakteristiken	
Zone	$t_{\text{Luft,zoneL}}$ °C	t_{Zuluft} °C	t_{Abluft} °C	$t_{\text{Umluft, zu}}$ °C	$t_{\text{Umluft, ab}}$ °C	Temperaturen in 1,3 m Höhe	
10	25,03		25,0				
9	24,69					t_{Luft}	= 24,2 °C
8	24,33					t_{Umgebung}	= 25,8 °C
7	24,28					$t_{\text{Empfindung}}$	= 25,0 °C
6	24,23					Lufttemperaturgradient zwischen 0,1 m und 1,1 m Höhe (Mittelwert)	
5	24,17						
4	24,10					$g_{\text{Lufttemperatur}}$	= 0,7 K/m
3	24,06					maximaler Unterschied der Empfindungstemperatur in 1,3 m Höhe	
2	24,01						
1	23,49	22,0				$\Delta t_{\text{Empfindung}}$	= 0,5 K

Strahlungsverhältnisse				(l, k kennzeichnen den Prüfrasterpunkt)			
globale Strahlungstemperatur		Strahlungstemperatur-Asymmetrie		maximal		minimal	
maximal		minimal		maximal		minimal	
$t_{\text{U,max}}$	= 26,4 °C	$t_{\text{U,min}}$	= 25,4 °C	$\Delta t_{\text{S,max}}$	= 5,2 K	$\Delta t_{\text{S,min}}$	= 4,0 K
l = 1	k = 1	l = 4	k = 2	l = 6	k = 3	l = 9	k = 4

Oberflächentemperatur der Kühldecke: 19,5 °C

Lasteintrag			Lastabfuhr			Charakteristiken		
$\dot{Q}_{\text{Raum}}$	=	1 885 W	$\dot{Q}_{\text{Kühldecke}}$	=	3 028 W	$t_{\text{Kaltwasser}}$	=	16,7 °C
$\dot{Q}_{\text{Interieur}}$	=	1 985 W	$\dot{Q}_{\text{Zuluft}}$	=	861 W	$\dot{V}_{\text{Zuluft}}$	=	450 m³/h
Strahlung		0 %	$\dot{Q}_{\text{Umluft}}$	=	0 W	t_{Zuluft}	=	22 °C
Konvektion		100 %				$\dot{V}_{\text{Umluft}}$	=	0 m³/h
Summe	=	3 870 W	Summe	=	3 889 W	t_{Umluft}	=	- °C

Tabelle 8

Kühldecke, erhöhte Interieurlast mit 100 % Konvektion V6

Temperaturen						Charakteristiken	
Zone	$t_{\text{Luft,zoneL}}$ °C	t_{Zuluft} °C	t_{Abluft} °C	$t_{\text{Umluft, zu}}$ °C	$t_{\text{Umluft, ab}}$ °C	Temperaturen in 1,3 m Höhe	
10	27,70		27,7			t_{Luft}	= 25,5 °C
9	26,30					t_{Umgebung}	= 24,5 °C
8	25,84					$t_{\text{Empfindung}}$	= 25,0 °C
7	25,79					Lufttemperaturgradient zwischen 0,1 m und 1,1 m Höhe (Mittelwert)	
6	25,74						
5	25,64						
4	25,04					$g_{\text{Lufttemperatur}}$	= 2,0 K/m
3	24,42					maximaler Unterschied der Empfindungstemperatur in 1,3 m Höhe	
2	23,71						
1	23,23	22,0				$\Delta t_{\text{Empfindung}}$	= 0,8 K

Strahlungsverhältnisse				(l, k kennzeichnen den Prüfrasterpunkt)			
globale Strahlungstemperatur				Strahlungstemperatur-Asymmetrie			
maximal		minimal		maximal		minimal	
$t_{\text{U,max}}$	= 25,2 °C	$t_{\text{U,min}}$	= 23,7 °C	$\Delta t_{\text{S,max}}$	= 4,2 K	$\Delta t_{\text{S,min}}$	= 2,5 K
$l = 1$	$k = 1$	$l = 8$	$k = 3$	$l = 6$	$k = 1$	$l = 9$	$k = 4$

Oberflächentemperatur der Kühldecke: 19,7 °C

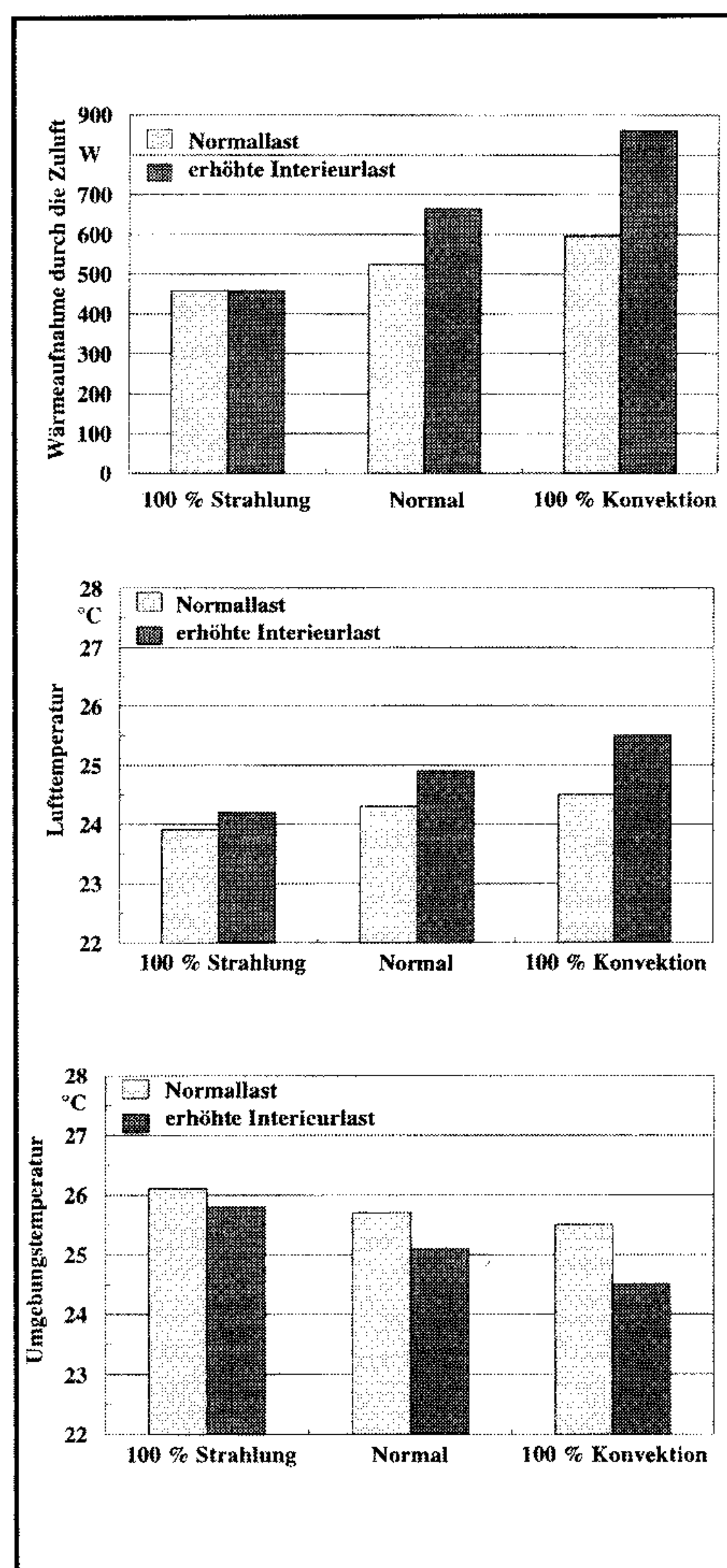


Bild 18

Wärmeaufnahme durch die Zuluft sowie Luft- und Umgebungstemperatur für die im Bild 17 dargestellte Anlagenvariante bei Normallast und bei erhöhter Interieurlast in Abhängigkeit des Strahlungs-/Konvektionsanteiles der Interieurwärmequellen

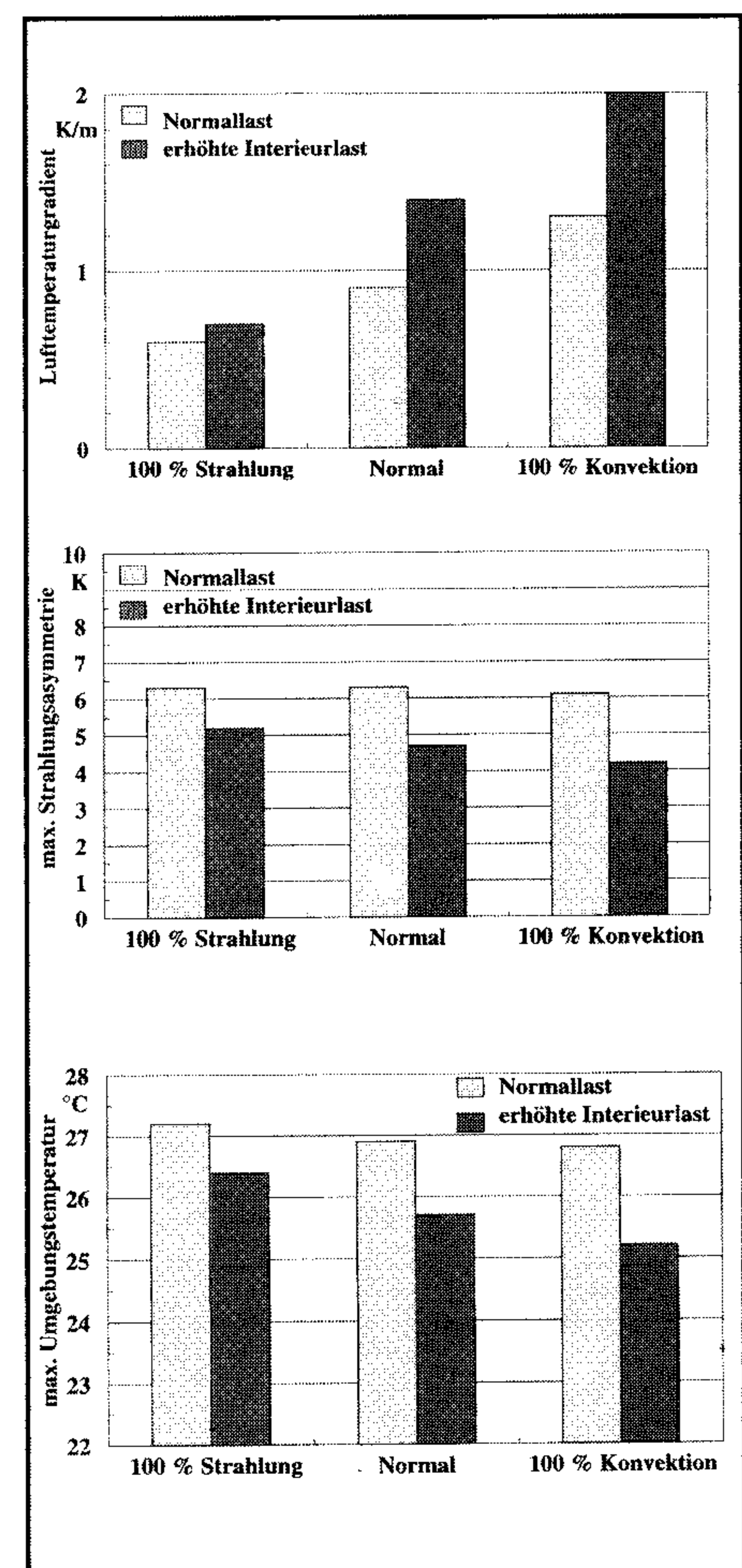
reine Quelllüftung mit den gleichen Parametern (Luftvolumenstrom, Zulufttemperatur) ersetzt werden. Die Aussagen sind dann identisch.

Die Ergebnisse der drei ausgewählten Lastvarianten V1, V5 und V6 gehen aus den Tabellen 9 bis 11 hervor, die wichtigsten Größen für alle Lastvarianten sind den Bildern 21 und 22 zu entnehmen.

Bei hohen Raumlasten – beispielsweise bei 80 W/m² – ist eine Umluftkühlung

Bild 19

Partielle Behaglichkeitsgrößen für die im Bild 17 dargestellte Anlagenvariante bei Normallast und bei erhöhter Interieurlast in Abhängigkeit des Strahlungs-/Konvektionsanteiles der Interieurwärmequellen



nur bei einem sehr hohen konvektiven Lastanteil vertretbar. Die reine Umluftkühlung im Raum trägt die wärmephysiologischen Merkmale einer Nur-Luft-Klimatisierung: niedrige Lufttemperaturen und unzulässig hohe Umgebungstemperaturen.

□ Die Eintrittstemperatur der Umluft steigt mit zunehmender konvektiver Lasteinbringung an. Mit ihr steigt auch die Lufttemperatur und die Strahlungstemperatur der Umgebung sinkt im gleichen Verhältnis.

□ Der vertikale Lufttemperaturgradient übersteigt in den meisten Fällen den zulässigen Bereich von 2 K/m geringfügig.

□ Die Strahlungstemperatur-Asymmetrie liegt weit unterhalb der zulässigen Grenze gemäß Bild 7.

□ Die maximale Umgebungstemperatur übersteigt bei den meisten Belastungsvariationen den nach Bild 3 zulässigen Wert von 28 °C.

□ Sehr problematisch ist es, eine nahezu zugfreie Raumluftströmung zu realisieren. Dies ist hauptsächlich von der Gestaltung der Luftdurchlässe abhängig. Die Erfahrungen mit Quellluftdurchlässen sind zu nutzen.

Kombination eines Kühlsegels mit einem Umluftkühler

Der Einsatz von Kühlsegel zeigt, dass diese eine sehr hohe Leistung aufweisen

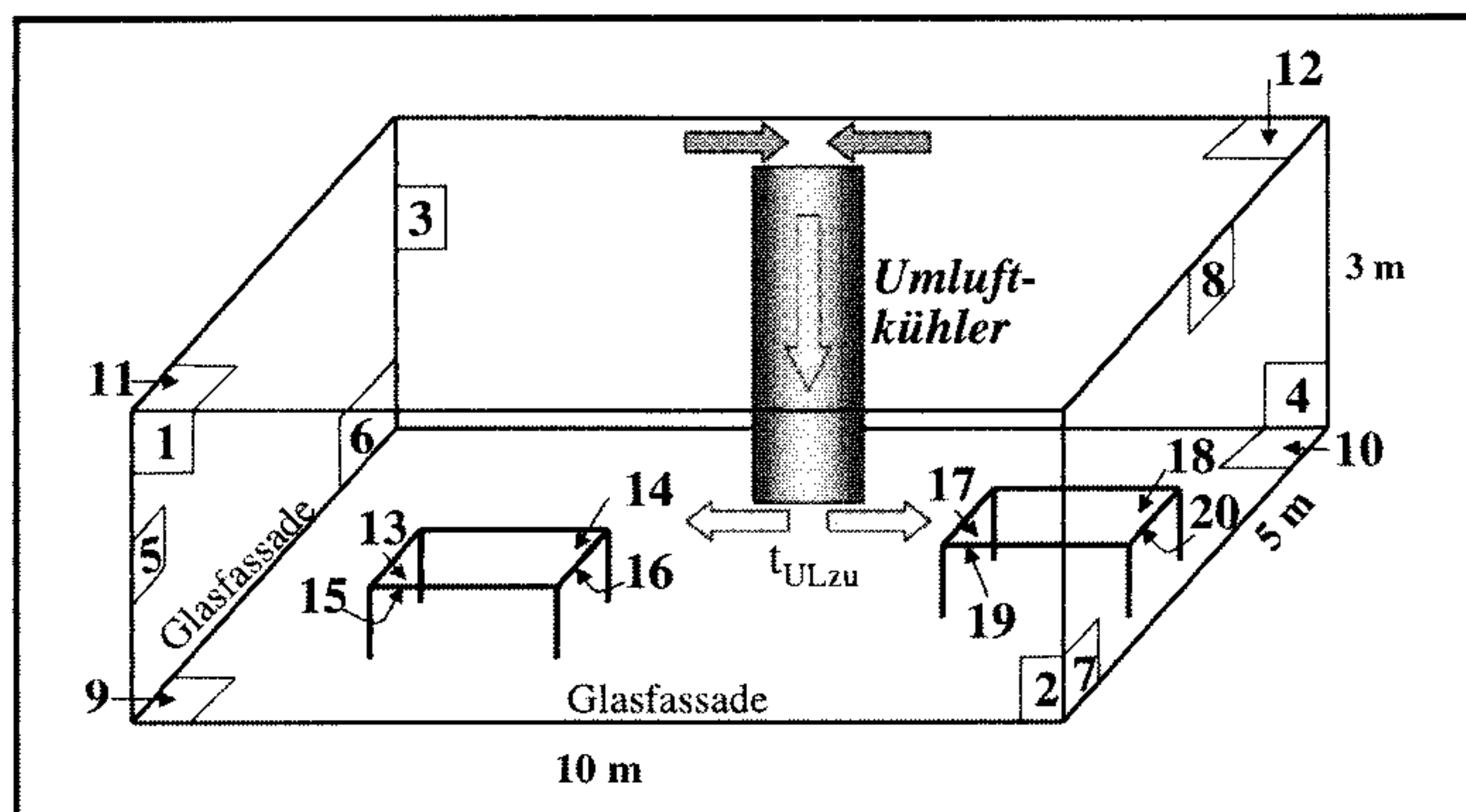


Bild 20

Anlagenvariante: Umluftkühler oder Quelllüftung (2000 m³/h) mit Leistungsanpassung durch die Lufttemperatur am Raumeintritt

und sehr behagliche Raumverhältnisse ermöglichen. Eine Leistungsbegrenzung entsteht, wenn die Kühlwassertemperatur den Taupunkt (Tabelle 12) erreicht. Deshalb wird im Weiteren eine kombinierte Kühlsegel-Umluft-Kühlung untersucht. Im Bild 23 ist die grundsätzliche Anordnung schematisch gezeigt. Aus gestalterischen Aspekten und aus Kostengründen wird davon ausgegangen nur eine Deckenhälfte in Fassadennähe mit dem Kühlsegel zu belegen.

Der Einsatz in einem Eckraum mit zwei Vollglasfassaden charakterisiert wiederum den Extremfall. Interessant ist hierbei die Abfuhr der vollen Raumkühllast V1 bis V6 (spezifische Kühlleistung 77,4 W/m²). Die mittlere Kaltwassertemperatur mit der das Kühlsegel ($\kappa_{\text{Panel}} = 20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) beaufschlagt wird, beträgt 15 °C. Würde eine wärmetechnisch

bessere Konstruktion eingesetzt, könnte die Wassertemperatur bei gleicher Deckenoberflächentemperatur höher liegen. Die wärmetechnische Modellierung des Kühlsegels erfolgt im Raummodell durch eine einfache Modellerweiterung, indem der konvektive Wärmestrom der Kühldecke verdoppelt wird. Wollte man genauer vorgehen, müssten sehr spezielle Konstruktionsdetails Berücksichtigung finden. Das Kühlsegel wird stets in der obersten Zone angeordnet.

Der Umluftstrom beträgt 1200 m³/h (Luftwechsel 8 h⁻¹). Die Einströmung der Umluft erfolgt in der obersten Zone, der Luftaustritt ist in der untersten Zone platziert. Der Zuluftstrom wird gleich null gesetzt. Er kann dann im praktischen Fall einen beliebigen Teil des Umluftstromes ersetzen, wenn die Zuluft-

Lasteintrag		Lastabfuhr		Charakteristiken	
$\dot{Q}_{\text{Raum}}$	= 3010 W	$\dot{Q}_{\text{Kühldecke}}$	= 0 W	$t_{\text{Kaltwasser}}$	= - °C
$\dot{Q}_{\text{Interieur}}$	= 860 W	$\dot{Q}_{\text{Zuluft}}$	= 0 W	$\dot{V}_{\text{Zuluft}}$	= 0 m³/h
Strahlung	40 %	$\dot{Q}_{\text{Umluft}}$	= 3867 W	t_{Zuluft}	= - °C
Konvektion	60 %			$\dot{V}_{\text{Umluft}}$	= 2000 m³/h
Summe	= 3870 W	Summe	= 3867 W	t_{Umluft}	= 18,4 °C

Tabelle 9

Umluftkühler 2000 m³/h, Normallast V1

Temperaturen						Charakteristiken	
Zone	$t_{\text{Luft,zoneL}}$ °C	t_{Zuluft} °C	t_{Abluft} °C	$t_{\text{Umluft, zu}}$ °C	$t_{\text{Umluft, ab}}$ °C	Temperaturen in 1,3 m Höhe	
10	24,15				24,2		
9	23,23					t_{Luft}	= 21,6 °C
8	22,88					t_{Umgebung}	= 28,4 °C
7	22,70					$t_{\text{Empfindung}}$	= 25,0 °C
6	22,44					Lufttemperaturgradient zwischen 0,1 m und 1,1 m Höhe (Mittelwert)	
5	21,75						
4	21,05					$g_{\text{Lufttemperatur}}$	= 2,5 K/m
3	20,62					maximaler Unterschied der Empfindungstemperatur in 1,3 m Höhe	
2	20,50						
1	18,81			18,4		$\Delta t_{\text{Empfindung}}$	= 1,2 K

Strahlungsverhältnisse				(l, k kennzeichnen den Prüfrasterpunkt)			
globale Strahlungstemperatur				Strahlungstemperatur-Asymmetrie			
maximal		minimal		maximal		minimal	
$t_{\text{U,max}}$	= 29,6 °C	$t_{\text{U,min}}$	= 27,2 °C	$\Delta t_{\text{S,max}}$	= 3,6 K	$\Delta t_{\text{S,min}}$	= 1,6 K
l = 1	k = 1	l = 9	k = 4	l = 1	k = 1	l = 9	k = 4

Lasteintrag			Lastabfuhr			Charakteristiken		
$\dot{Q}_{\text{Raum}}$	=	1 885 W	$\dot{Q}_{\text{Kühldecke}}$	=	0 W	$t_{\text{Kaltwasser}}$	=	- °C
$\dot{Q}_{\text{Interieur}}$	=	1 985 W	$\dot{Q}_{\text{Zuluft}}$	=	0 W	$\dot{V}_{\text{Zuluft}}$	=	0 m ³ /h
Strahlung		100 %	$\dot{Q}_{\text{Umluft}}$	=	3 867 W	t_{Zuluft}	=	- °C
Konvektion		0 %				$\dot{V}_{\text{Umluft}}$	=	2 000 m ³ /h
Summe	=	3 870 W	Summe	=	3 867 W	t_{Umluft}	=	17,7 °C

Tabelle 10

Umluftkühler 2000 m³/h, erhöhte Interieurlast mit 100 % Strahlung V5

Temperaturen						Charakteristiken	
Zone	$t_{\text{Luft,zoneL}}$ °C	t_{Zuluft} °C	t_{Abluft} °C	$t_{\text{Umluft, zu}}$ °C	$t_{\text{Umluft, ab}}$ °C	Temperaturen in 1,3 m Höhe	
10	23,42				23,4		
9	22,16					t_{Luft}	= 21,3 °C
8	22,11					t_{Umgebung}	= 28,7 °C
7	21,99					$t_{\text{Empfindung}}$	= 25,0 °C
6	21,83					Lufttemperaturgradient zwischen 0,1 m und 1,1 m Höhe (Mittelwert)	
5	21,42						
4	20,57					$g_{\text{Lufttemperatur}}$	= 2,4 K/m
3	20,45					maximaler Unterschied der Empfindungstemperatur in 1,3 m Höhe	
2	20,41						
1	18,38			17,7		$\Delta t_{\text{Empfindung}}$	= 0,3 K

Strahlungsverhältnisse				(l, k kennzeichnen den Prüfrasterpunkt)			
globale Strahlungstemperatur				Strahlungstemperatur-Asymmetrie			
maximal		minimal		maximal		minimal	
$t_{\text{U,max}}$	= 28,9 °C	$t_{\text{U,min}}$	= 28,4 °C	$\Delta t_{\text{S,max}}$	= 2,1 K	$\Delta t_{\text{S,min}}$	= 1,1 K
l = 1	k = 1	l = 9	k = 2	l = 5	k = 2	l = 8	k = 4

Lasteintrag			Lastabfuhr			Charakteristiken		
$\dot{Q}_{\text{Raum}}$	=	1 885 W	$\dot{Q}_{\text{Kühldecke}}$	=	0 W	$t_{\text{Kaltwasser}}$	=	- °C
$\dot{Q}_{\text{Interieur}}$	=	1 985 W	$\dot{Q}_{\text{Zuluft}}$	=	0 W	$\dot{V}_{\text{Zuluft}}$	=	0 m ³ /h
Strahlung		0 %	$\dot{Q}_{\text{Umluft}}$	=	3 867 W	t_{Zuluft}	=	- °C
Konvektion		100 %				$\dot{V}_{\text{Umluft}}$	=	2 000 m ³ /h
Summe	=	3 870 W	Summe	=	3 867 W	t_{Umluft}	=	20,4 °C

Tabelle 11

Umluftkühler 2000 m³/h, erhöhte Interieurlast mit 100 % Konvektion V6

Temperaturen						Charakteristiken	
Zone	$t_{\text{Luft,zoneL}}$ °C	t_{Zuluft} °C	t_{Abluft} °C	$t_{\text{Umluft, zu}}$ °C	$t_{\text{Umluft, ab}}$ °C	Temperaturen in 1,3 m Höhe	
10	26,15				26,2		
9	25,86					t_{Luft}	= 22,7 °C
8	25,10					t_{Umgebung}	= 27,3 °C
7	24,24					$t_{\text{Empfindung}}$	= 25,0 °C
6	23,42					Lufttemperaturgradient zwischen 0,1 m und 1,1 m Höhe (Mittelwert)	
5	22,78						
4	22,20					$g_{\text{Lufttemperatur}}$	= 1,9 K/m
3	21,90					maximaler Unterschied der Empfindungstemperatur in 1,3 m Höhe	
2	21,82						
1	20,53			20,4		$\Delta t_{\text{Empfindung}}$	= 0,7 K

Strahlungsverhältnisse				(l, k kennzeichnen den Prüfrasterpunkt)			
globale Strahlungstemperatur				Strahlungstemperatur-Asymmetrie			
maximal		minimal		maximal		minimal	
$t_{\text{U,max}}$	= 27,9 °C	$t_{\text{U,min}}$	= 26,6 °C	$\Delta t_{\text{S,max}}$	= 2,0 K	$\Delta t_{\text{S,min}}$	= 0,9 K
l = 1	k = 1	l = 8	k = 4	l = 1	k = 1	l = 9	k = 4

t_{Luft} °C	t_{Umgebung} °C	Δt_E K	$g_{\text{Lufttemp.}}$ K/m	$\Delta t_{\text{Strahl.}}$ K	$t_{L, \text{zone}=1}$ °C	$t_{L, \text{zone}=2}$ °C	$t_{\text{Luft, zu}}$ °C	t_{Decke} °C	$t_{\text{Kaltwasser}}$ °C	$n_{\text{Luftwechsel}}$ h ⁻¹	Gesamt- urteil
Kühldecke, voll belegt, Normallast (77,4 W/m ²) V1 bis V6, Quellluft mit $t_{Lzu} = 22$ °C											
23,9...25,5	24,5...26,1	0,5...1,3	0,6...2,0	4,2...6,3	23,2...23,6	23,7...24,2	22	18,9...19,7	15,6...16,7	3	ideal
Kühldecke, halb belegt, reduzierte Last (47,3 W/m ²) hV1 bis hV3, Quellluft mit $t_{Lzu} = 22$ °C											
24,0...24,9	25,1...26,0	0,7...1,1	0,6...1,8	4,4...4,9	23,1...23,7	23,6...24,2	22	17,7...18,5	13,9...15,1	3	gut
Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 2 000 m ³ /h, Normallast (77,4 W/m ²) V1 bis V6											
21,2...21,7	27,3...28,8	0,3...1,3	1,9...2,5	1,9...3,8	18,4...20,5	20,4...21,8	17,7...20,4	–	–	13,3	mangelhaft
Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 1 200 m ³ /h, reduzierte Last (47,3 W/m ²) hV1 bis hV3											
22,5...23,2	26,8...27,5	0,5...0,7	2,2...2,6	2,0...2,3	19,9...20,8	21,3...21,9	18,6...19,9	–	–	8	befriedigend
Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 1 500 m ³ /h, reduzierte Last (47,3 W/m ²) hV1 bis hV3											
22,5...23,2	26,8...27,5	0,4...0,7	1,8...2,1	1,9...2,2	20,2...21,1	21,6...22,1	19,5...20,8	–	–	10	gut
Kombination: Kühldecke, halb belegt + Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 1 200 m ³ /h, Normallast (77,4 W/m ²) V1 bis V6											
23,0...24,4	25,6...27,0	0,8...1,4	1,5...2,7	4,4...5,8	20,4...22,6	21,9...23,3	19,0...22,3	18,6	15	8	gut
Kühlsegel, halb belegt, Normallast (77,4 W/m ²) V1 bis V6, Quellluft mit $t_{Lzu} = 22$ °C											
23,1...24,4	25,6...26,9	1,0...1,8	0,6...0,8	4,9...7,1	22,3...23,6	22,4...24,2	22	15,6...17,7	8,6...11,6	3	mangelhaft
Kühlsegel, halb belegt, reduzierte Last (47,3 W/m ²) hV1 bis hV3, Quellluft mit $t_{Lzu} = 22$ °C											
23,7...24,4	25,6...26,3	0,6...0,9	0,7...0,8	3,7...4,2	23,0...23,6	23,4...24,1	22	19,5...20,4	15,6...16,8	3	ideal
Kombination: Kühlsegel, halb belegt + Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 1 200 m ³ /h, Normallast (77,4 W/m ²) V1 bis V6											
22,6...24,2	25,8...27,4	0,7...1,3	1,3...1,9	4,1...5,6	21,1...23,0	22,4...23,7	19,8...22,7	19,3	15	8	ideal

Tabelle 12

Zusammenstellung aller relevanten Ergebnisse der berechneten Beispiele

temperatur $t_{Lzu} = t_{ULzu}$ realisiert wird (Zuluftvolumenstrom muss wenigstens dem hygienisch bedingten Mindestwert entsprechen!). Die Temperatur der Umluft am Eintritt in den Raum t_{ULzu} wird iterativ ermittelt, sodass $t_E = 25$ °C erreicht wird.

Die Ergebniszusammenstellung der relevanten Größen ist aus den Bildern 24 und 25 ersichtlich.

Das kombinierte Kühlsegel-Umluftkühl-System ist bei der Abfuhr hoher Raumlasten auch für Eckräume sehr gut einsetzbar. Die globalen und partikulären Behaglichkeitsbedingungen werden eingehalten.

□ Die Eintrittstemperatur der Umluft in den Raum steigt mit der konvektiven Lastenbringung an. Mit ihr steigt auch die Lufttemperatur und die Strahlungstemperatur der Umgebung sinkt im gleichen Verhältnis.

□ Der vertikale Lufttemperaturgradient befindet sich stets im zulässigen Bereich von ≤ 2 K/m.

□ Die Strahlungstemperatur-Asymmetrie liegt unterhalb der zulässigen Grenze nach Bild 7.

□ Kritisch kann im Ausnahmefall sehr hoher Strahlungslasten lediglich die Strahlungstemperatur der Umgebung werden. Sie ist aber stets niedriger als bei Nur-Luft-Klimaanlagen.

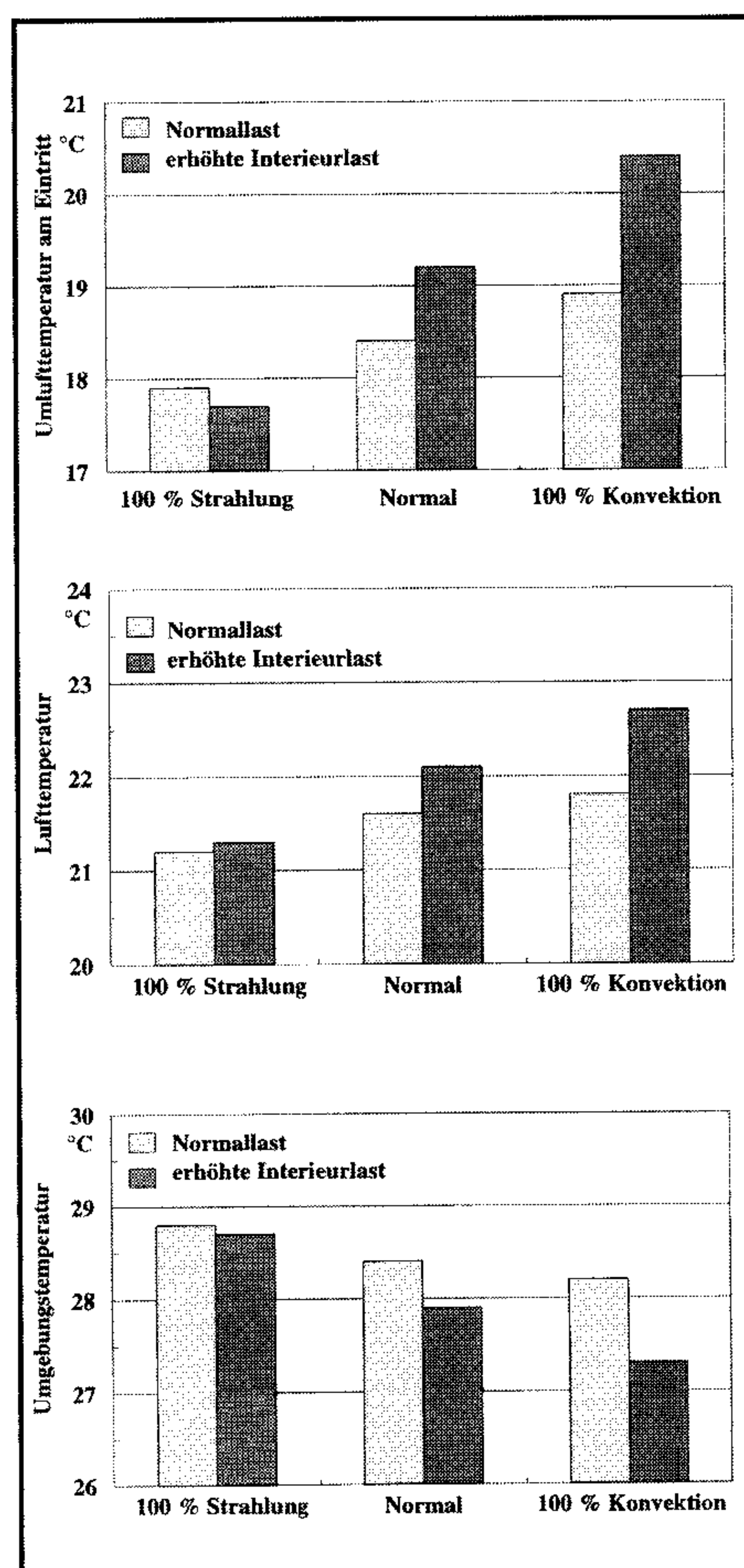


Bild 21

Lufttemperatur am Raumeintritt sowie Luft- und Umgebungstemperatur für die im Bild 20 dargestellte Anlagenvariante bei Normallast und bei erhöhter Interieurlast in Abhängigkeit des Strahlungs-/Konvektionsanteiles der Interieurwärmequellen

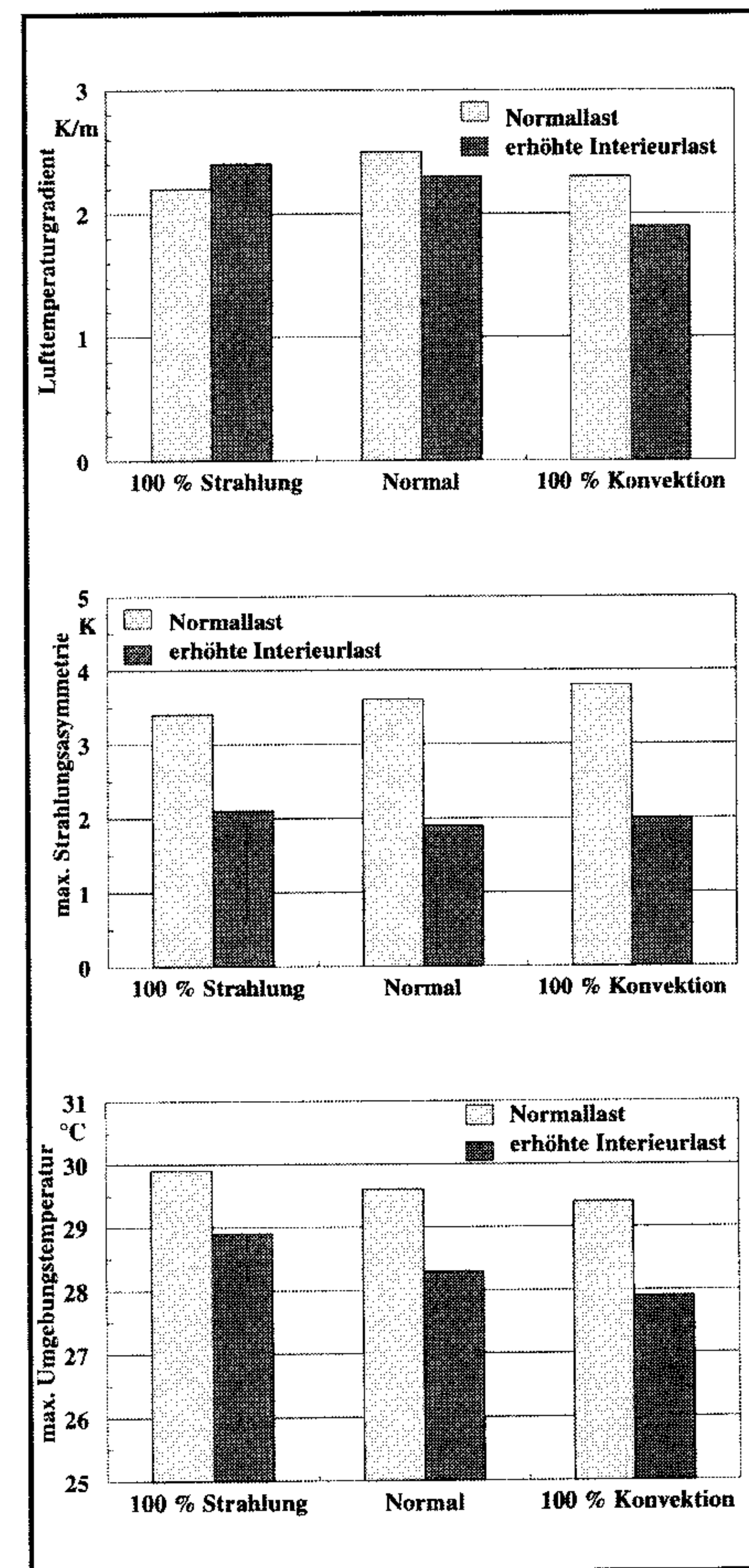


Bild 22

Partielle Behaglichkeitsgrößen für die im Bild 20 dargestellte Anlagenvariante bei Normallast und bei erhöhter Interieurlast in Abhängigkeit des Strahlungs-/Konvektionsanteiles der Interieurwärmequellen

Gesamtbewertung

Auf der Basis der umfangreichen Untersuchungen – deren Einzelergebnisse auszugsweise angegeben wurden – soll der Versuch einer zusammenfassenden Beurteilung unternommen werden.

Zusammenstellung der relevanten Größen für alle Varianten

In der Tabelle 12 finden sich alle relevanten Ergebnisse der Simulation mit dem Raummodell, die für die Behaglichkeit und auch für den Anlagenbetrieb signifikant sind. Sie werden nachfolgend kurz charakterisiert:

Für alle aufgeführten Varianten gilt eine Empfindungstemperatur von 25 °C in der Aufenthaltszone (Kopfhöhe eines sitzenden Menschen 1,3 m über Fußboden; arithmetisch gemittelt aus dem Maximal- und Minimalwert über dem Raumgrundriss mit einem Wandabstand von jeweils 1 m).

Diskussion der Varianten

Die in der Praxis vorkommenden spezifischen Lasten schwanken in sehr weiten Grenzen. Vielfach werden die Leistungsangaben aufgrund unterschiedlicher Interessenslagen auch bewusst zu besonders hohen oder auch besonders

niedrigen Werten hin manipuliert.

Für Eckräume mit hohem transparenten Flächenanteil stellt die in Rechnung gestellte Normallast von 77,4 W/m² einen moderaten Wert dar. Bei Einsatz von guten Gläsern und wirksamen Verschattungseinrichtungen ist diese Größenordnung auch erreichbar und im Sinne einer wirtschaftlichen, umweltschonenden Klimatisierung als Obergrenze anzustreben.

Die verwendete reduzierte Last von 47,3 W/m wird bei Eckräumen nur zutreffend sein können, wenn die Fassade einen kleinen Fensteranteil aufweist. Die reduzierte Last stellt jedoch einen typischen Belastungsfall bei Normalräumen (eine Außenwand) dar.

Bei der wärmephysiologischen Bewertung der Varianten kann man somit folgende pauschale Feststellungen treffen. Erfüllt eine Anlagenvariante alle ausgewählten Behaglichkeitskriterien und die technischen Grenzwerte bei

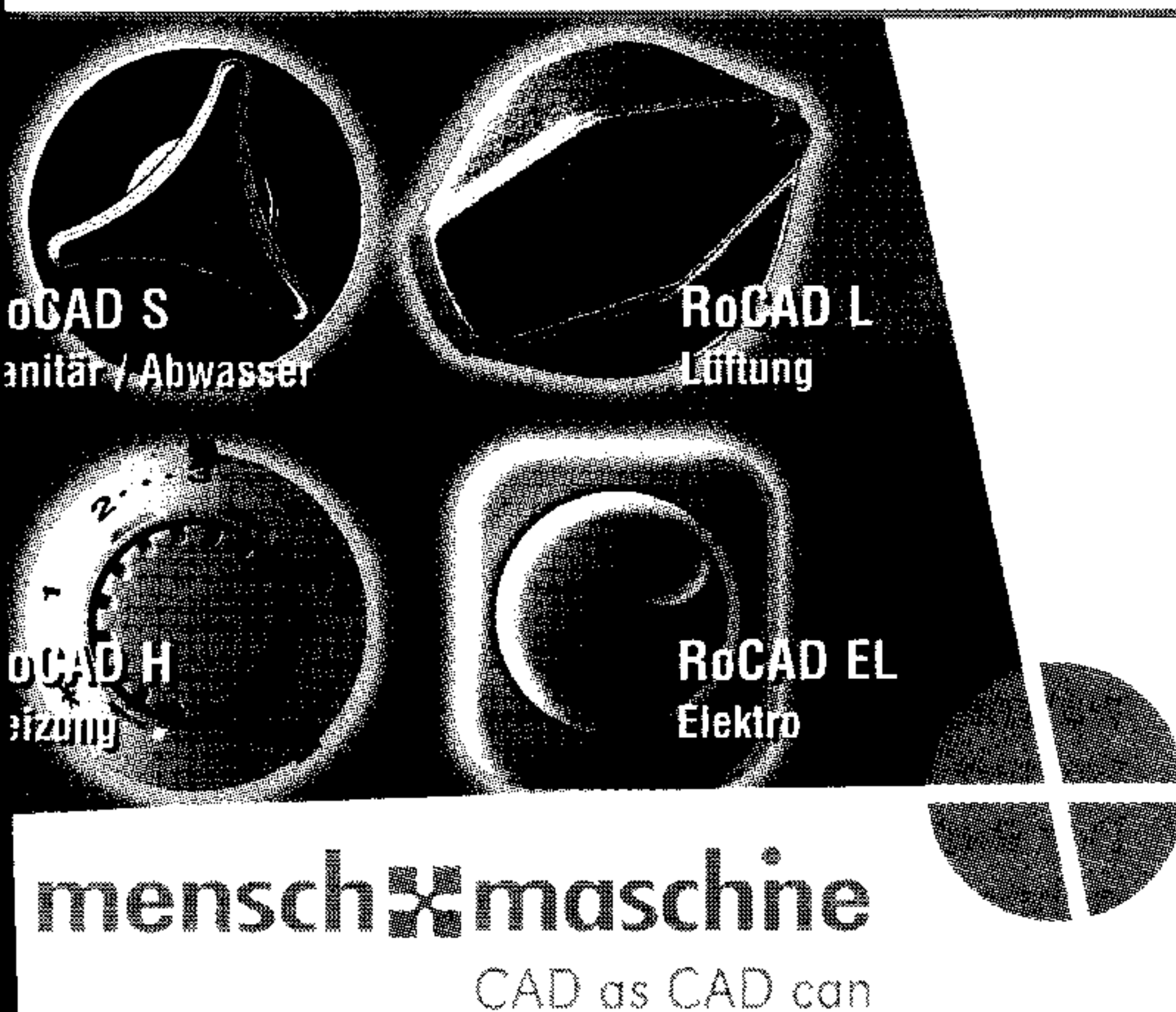
- Normallast für einen Eckraum, dann ist der Einsatz im Eckraum und erst recht in einem Normalraum ideal möglich;
- reduzierter Last für einen Eckraum, dann ist der Einsatz im Eckraum mit geringem Fensteranteil und in einem Normalraum ideal möglich.

Für die einzelnen Anlagenvarianten ergeben sich in Verbindung mit Tabelle 12 die nachfolgenden, speziellen Bewertungen.

□ Kühldecke, voll belegt, Normallast (77,4 W/m²) V1 bis V6, Quellluft mit $t_{Lzu} = 22$ °C

Ideale Lösung, da alle wärmephysiologischen Kriterien und technischen Grenzparameter eingehalten werden. Es sind auch Kühldecken mit normalen

t_{Luft}	°C	Raumlufttemperatur in Kopfhöhe eines sitzenden Menschen (1,3 m über Fußboden)
$t_{Umgebung}$	°C	Strahlungstemperatur der Umgebung in Kopfhöhe eines sitzenden Menschen (1,3 m über Fußboden)
Δt_E	K	Schwankung der Empfindungstemperatur in Kopfhöhe eines sitzenden Menschen (1,3 m über Fußboden) über dem Raumgrundriss mit einem Wandabstand von jeweils 1 m
$g_{Lufttemp.}$	K/m	Vertikaler Lufttemperaturgradient zwischen den Höhen 0,1 m und 1,1 m, näherungsweise gebildet aus den mittleren Lufttemperaturen in den Zonen 4 und 1 gemäß dem Zusammenhang $g_{Lufttemp.} = (t_{L,zone=4} - t_{L,zone=1}) / 0,9$ m
$\Delta t_{Strahl.}$	K	maximale Strahlungstemperatur-Asymmetrie bezogen auf Würfелеlemente gemäß Bild 12 in Kopfhöhe eines sitzenden Menschen (1,3 m über Fußboden) untersucht über dem Raumgrundriss mit einem Wandabstand von jeweils 1 m
$t_{L,zone=1}$	°C	mittlere Lufttemperatur in der Zone 1 (Höhe: 0 ... 0,3 m)
$t_{L,zone=2}$	°C	mittlere Lufttemperatur in der Zone 2 (Höhe: 0,3 ... 0,6 m)
t_{Decke}	°C	Oberflächentemperatur der thermisch aktiven Kühldecke (Voll- oder Teilbelegung) bzw. eines Kühlsegels
$t_{Kaltwasser}$	°C	mittlere Kaltwassertemperatur mit der die Kühldecke oder das Kühlsegel beaufschlagt wird, wenn $\kappa_{Panel} = 20$ W/(m ² K) gilt
$n_{Luftwechsel}$	h ⁻¹	stündlicher Raumluftwechsel durch Zuluft oder Umluft (Umluftkühler).

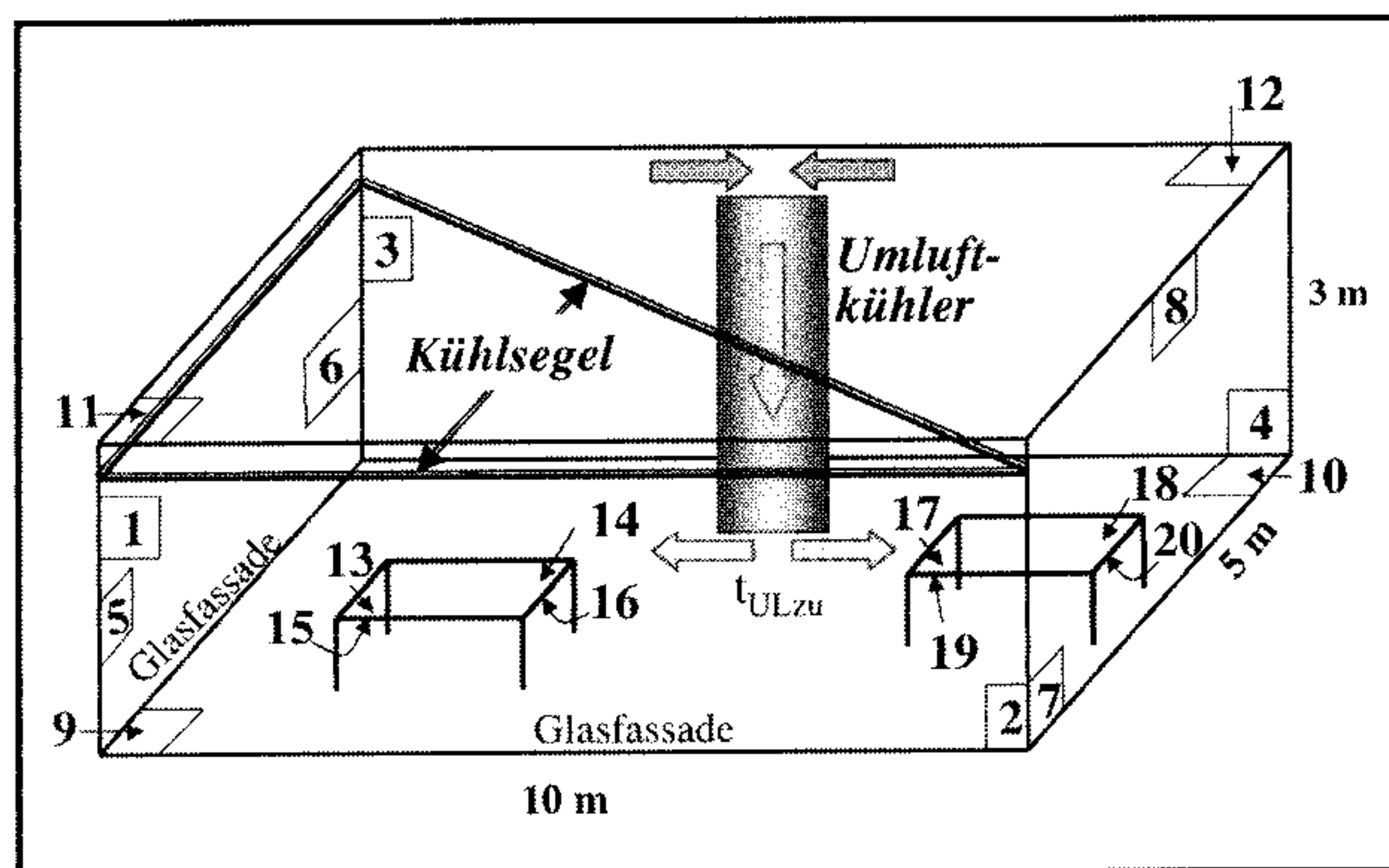


Full House CAD – 4 x CAD für die Haustechnik

RoCAD ist die komplette 2D/3D-Haustechnik-Lösung unter AutoCAD. Ideal für Planer und ausführende Betriebe. Mit RoCAD agieren Sie effektiv, schnell und sicher – vom Schema über den 2D/3D-Plan zur Stückliste in Berechnung und Ausschreibung. Ihre Haustechnik-Komplettlösung für Lüftung, Heizung, Sanitär / Abwasser und Elektrotechnik gibt's als wirtschaftliches Gesamtpaket oder als Einzelmodule. Gönnen Sie sich Professionalität à la RoCAD!

Mensch und Maschine
Software AG
Argelsrieder Feld 5
D-82234 Wessling
Infoline 0 18 05 / 6 86-4 61*
www.mum.de

(0,24 DM / min)



Bida 23

Anlagenvariante: Kombination eines Kühlsegels ($\kappa_{\text{Panel}} = 20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $t_{\text{KW}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$) und eines Umluftkühlers oder einer Quelllüftung ($1\,200 \text{ m}^3/\text{h}$) mit Leistungsanpassung durch die Lufttemperatur am Raumeintritt

Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 1200
m³/h, Normallast (77,4 W/m²) V1 bis V6

Bei dieser kombinierten Anlagenvariante werden bei Normalbelastung die wärmephysiologischen Kriterien und technischen Grenzparameter teilweise sehr gut eingehalten. Überschreitungen der Grenzwerte treten bei hohen Strahlungsanteilen der Kühllasten auf. Sie betreffen geringfügig die Lufttemperaturen in Fußbodennähe und verstärkt den Lufttemperaturgradienten.

□ Kühlsegel, halb belegt, Normallast (77,4 W/m²) V1 bis V6, Quellluft mit $t_{Lzu} = 22\text{ °C}$

Alle wärmephysiologischen Kriterien werden erfüllt. Die erforderliche Oberflächentemperatur der Kühldecke liegt bei 15,6 °C bis 17,7 °C und damit sehr nahe an der Taupunkttemperatur der Raumluft, die bei 50 % relativer Feuchte ca. 14 °C beträgt. Die niedrigen Kühldeckentemperaturen treten bei hohen Strahlungskühllasten auf, da unter diesen Umständen die Kühldeckenleistung sehr groß sein muss. Damit ist diese Anlagenvariante nur im Ausnahmefall bei Einsatz von Hochleistungskühldecken (geringer Temperaturabfall innerhalb der Konstruktion) und bei hohen konvektiven Lastanteilen realisierbar.

□ Kühlsegel, halb belegt, reduzierte Last
(47,3 W/m²) hV1 bis hV3, Quellluft mit t_{Lzu}
= 22 °C

Ideale Lösung für reduzierte Last, da alle wärmephysiologischen Kriterien und technischen Grenzparameter eingehalten werden. Es sind auch Kühldecken mit normalen wärmetechnischen Konstruktionskennwerten ($\kappa_{\text{paneel}} \geq 20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) einsetzbar. Der kleine Raumluftwechsel von 3 h^{-1} gewährleistet Zugfreiheit.

□ Kombination: Kühlsegel, halb belegt +
Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 1200
m³/h, Normallast (77,4 W/m²) V1 bis V6

Ideale Lösung für Normallast – vergleichbar mit der voll belegten Kühldecke mit Quellluft (erste vorgestellte Anlagenvariante) –, da alle wärmephysiologischen Kriterien und technischen Grenzparameter eingehalten werden. Es sind auch Kühldecken mit normalen wärmetechnischen Konstruktionskennwerten ($\kappa_{\text{Panel}} \geq 20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) einsetzbar. Der Raumlftwechsel von 8 h^{-1} wird bei richtiger Gestaltung der Luftdurchlässe zugfrei beherrscht.

Einsatzempfehlungen

Die Tabelle 12 und die Diskussion der Anlagenvarianten ergeben folgende Einsatzvorschläge:

□ Abzuführende Kühllasten $< 80 \text{ W/m}^2$ in Eckräumen oder in Normalräumen können

wärmetechnischen Konstruktionskennwerten ($\kappa_{\text{Panel}} \geq 20 \text{ W / (m}^2\text{K)}$) einsetzbar. Der kleine Raumlftwechsel von 3 h^{-1} gewährleistet Zugfreiheit.

□ Kühldecke, halb belegt, reduzierte Last
(47,3 W/m²) hV1 bis hV3, Quellluft mit t_{Lzu}
= 22 °C

Alle wärmephysiologischen Kriterien werden erfüllt. Es sind aber nur Hochleistungskühldecken mit einem geringen Temperaturabfall innerhalb der Konstruktion einsetzbar. Dies ist möglich, da die erforderliche Oberflächentemperatur der Kühldecke bei etwa 18 °C liegt und die Taupunkttemperatur der Raumluft bei 50 % relativer Feuchte ca. 14 °C beträgt. Der kleine Raumluftwechsel von 3 h⁻¹ gewährleistet Zugfreiheit.

□ Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 2000 m³/h, Normallast (77,4 W/m²) V1 bis V6

Diese Lösung ist bezüglich der wärmephysiologischen Kriterien und technischen Grenzparameter kritisch zu bewerten. Die Umgebungstemperatur liegt zu hoch und die Lufttemperatur in Fußbodennähe ist zu niedrig. Außerdem kann der Lufttemperaturgradient 2 K/m übersteigen. Der große Raumluftwechsel von über 13 h^{-1} gestattet nur in Sonderfällen ohne Zugfahrrad – beispielsweise bei einer Teppichbodenlüftung – eine Erhöhung. Die Vergrößerung des Luftvolumenstromes wäre aber die Voraussetzung, um die wärmephysiologisch ungünstigen thermischen Verhältnisse den zulässigen Grenzwerten anzunähern.

Die Erhöhung des Raumluchtwechsels auf ca. 17 h^{-1} bietet dennoch keine umfassenden behaglichen Bedingungen bei einer angestrebten Empfindungstemperatur von 25°C , wie eine separate Berechnung verdeutlicht; Die Lufttemperatur in Fußbodennähe liegt deutlich unter 21°C ; die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung ist größer 28°C , der Maximalwert beträgt sogar $29,6^\circ\text{C}$. Diese Werte können bei hohen Strahlungskühllasten noch ungünstiger werden. Außerdem besteht bei dem hohen

Raumluftwechsel Unbehaglichkeit infolge von Zugfahrt.

In vielen Fällen wird bei den Nur-Luft-Systemen die Empfindungstemperatur angehoben. Bleibt man bei dem Raumluftwechsel von etwa 13 h^{-1} und setzt $t_E = 26^\circ\text{C}$, dann liefert eine weitere Simulationsrechnung: Die Lufttemperatur in Fußbodennähe liegt deutlich unter 21°C ; der Lufttemperaturgradient von $2,5 \text{ K/m}$ überschreitet den zulässigen Wert; die mittlere Umgebungstemperatur beträgt $29,4^\circ\text{C}$ und der Maximalwert $30,5^\circ\text{C}$. Dies ist nach Bild 5 bei $t_E = 26^\circ\text{C}$ noch akzeptabel. Die Ergebnisse werden bei hohen Strahlungskühllasten noch ungünstiger. Weiterhin besteht auch bei einem Raumluftwechsel von 13 h^{-1} Zugfahrr. Die erhöhte Empfindungstemperatur $t_E = 26^\circ\text{C}$ kann nach Bild 3 bis zu 12 % Unzufriedenheit bewirken.

□ Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 1200 m³/h, reduzierte Last (47,3 W/m²) hV1 bis hV3

Bei dieser Anlagenvariante ist mit der Reduzierung der Last auch der Luftvolumenstrom reduziert worden (Raumluftwechsel 8 h^{-1}), sodass die bei der vorherigen Variante festgestellten Mängel grundsätzlich erhalten blieben. Die Strahlungstemperatur der Umgebung sank zwar unter den in diesem Fall geltenden zulässigen Wert von 28°C , der Lufttemperaturgradient stieg dagegen sogar noch an.

□ Quelllüftung und/oder Umluftkühler, 1500 m³/h, reduzierte Last (47,3 W/m²) hV1 bis hV3

Im Vergleich zur vorhergehenden Anlagenvariante ist eine Erhöhung des Luftvolumenstromes erfolgt (Raumluftwechsel 10 h^{-1}). Dadurch stieg die Lufttemperatur in Fußbodennähe etwas an, liegt aber mitunter noch unter dem zulässigen Grenzwert. Der Lufttemperaturgradient sank soweit ab, dass er den zulässigen Grenzwert nur noch tangiert. Die Luftdurchlässe sind so zu konzipieren, dass Zugfreiheit gewährleistet werden kann.

- Kombination: Kühldecke, halb belegt +

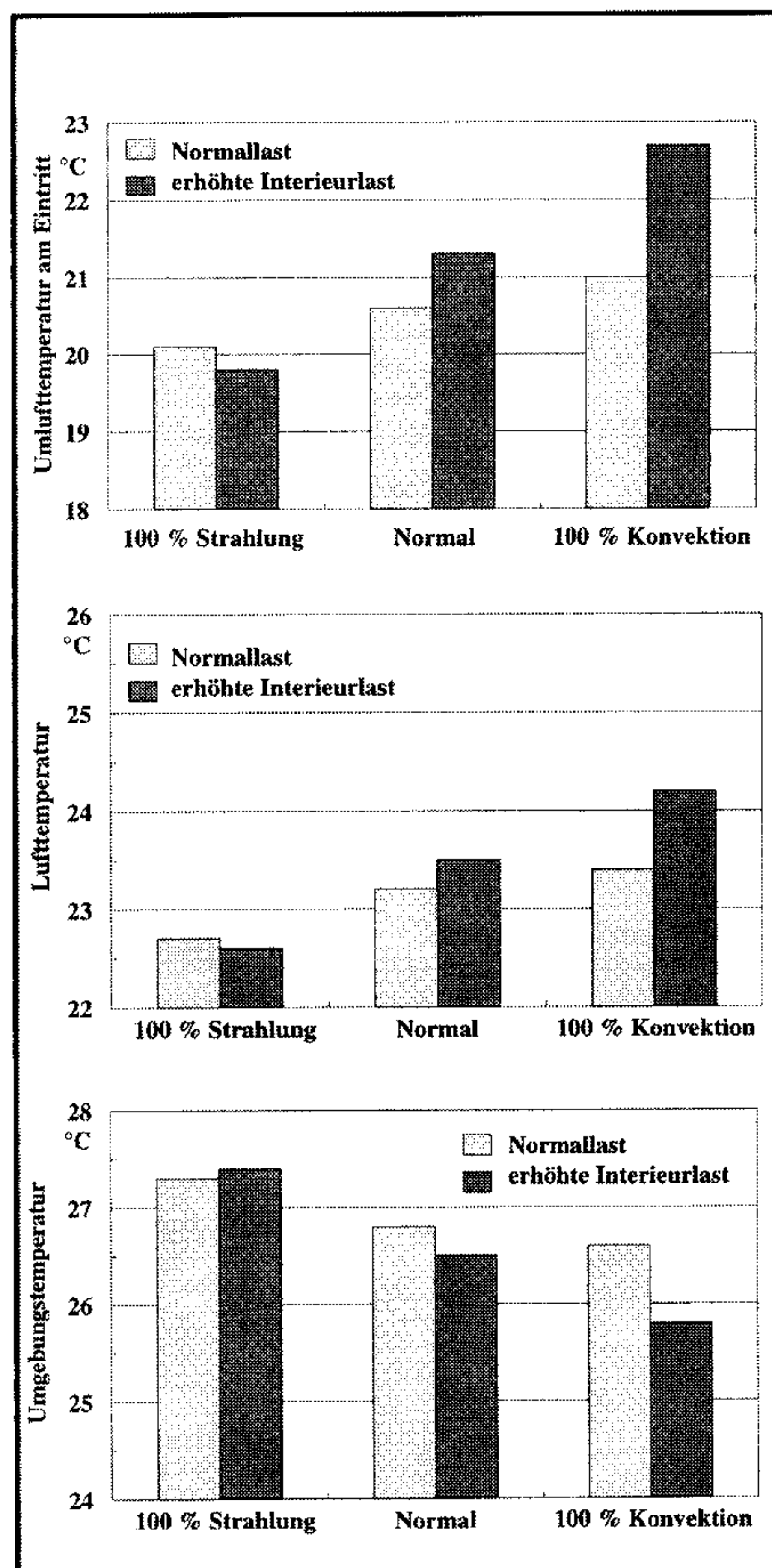


Bild 24

Lufttemperatur am Raumeintritt sowie Luft- und Umgebungstemperatur für die im Bild 23 dargestellte Anlagenvariante bei Normallast und bei erhöhter Interieurlast in Abhängigkeit des Strahlungs-/Konvektionsanteiles der Interieurwärmequellen

bei Einhaltung der wärmephysiologischen Grenzparameter und der technischen Anlagenkriterien bei folgenden Anlagenvarianten realisiert werden:

- voll belegte Kühldecke mit hygienisch bedingter Lüftung – beispielsweise als Quelllüftung – mit einem Raumluf-twechsel von 3 h^{-1} Prädikat: ideal

- Kombination eines halben Raum-Kühlsegels mit einem Umluftkühler oder einer erhöhten Quelllüftung mit jeweils einem Raumluf-twechsel von 8 h^{-1} Prädikat: ideal

- Kombination einer halb belegten Kühldecke mit einem Umluftkühler oder einer erhöhten Quelllüftung mit jeweils einem Raumluf-twechsel von 8 h^{-1} Prädikat: gut

□ Abzuführende Kühllasten $< 50 \text{ W/m}^2$ in Eckräumen oder in Normalräumen können bei Einhaltung der wärmephysiologischen Grenzparameter und der technischen Anlagenkriterien zusätzlich bei

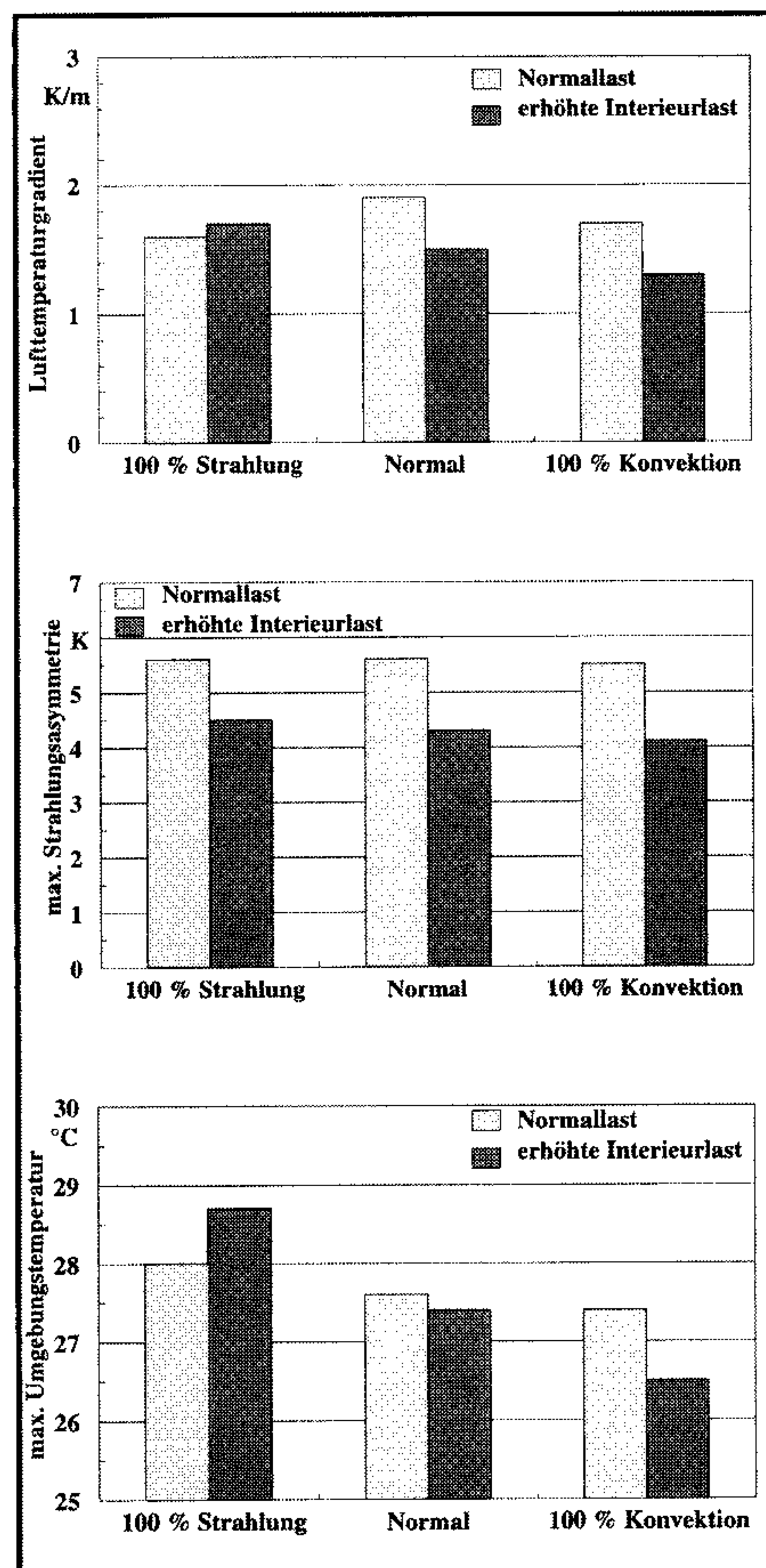


Bild 25

Partielle Behaglichkeitsgrößen für die im Bild 23 dargestellte Anlagenvariante bei Normallast und bei erhöhter Interieurlast in Abhängigkeit des Strahlungs-/Konvektionsanteiles der Interieurwärmequellen

stoff-Kapillarrohrmatten – sind individuelle Gestaltungen bis zur Fertigung von Unikaten meist ohne Mehrkosten möglich, sodass praktisch allen Wünschen des Architekten entsprochen werden kann.

Kühlsegel sind auch als Multifunktionselemente mit sehr guter architektonischer Wirkung ausführbar. Es können Leuchten, Luftdurchlasselemente, Rauchmelder, Akustikelemente, Lichtlenkelemente usw. integriert werden. Der Einsatz von vorgefertigten Kühlsegeln mit einigen der genannten Zusatzeinrichtungen reduziert die Montagezeiten auf der Baustelle und ist meistens kostengünstig. Die spezifische Kühlleistung der Kühlsegel liegt gegenüber den geschlossenen Kühldecken mit gleichem, wärmetechnischen Konstruktionsaufbau um 25 % bis 35 % höher. Bei ausreichender Kühlleistung der Kühlsegel sollte wie auch bei den geschlossenen Kühldecken mit einer hygienisch bedingten Lüftung gearbeitet werden.

Reicht die Kühlleistung der Kühlsegel, deren gute architektonische Wirkung sehr oft an eine Flächenbegrenzung gebunden ist, nicht aus, können zusätzlich Umluftkühler beige-stellt werden. Bei der heute üblichen flexiblen Büronutzung dürfte es sehr oft sinnvoll sein, wenn die Grundausstattung mit einem Kühlsegel der halben Raumgrundfläche und eine Luftzufuhr mit einem Außenluftwechsel von 3 h^{-1} erfolgte. Damit sind spezifische Kühllasten $< 50 \text{ W/m}^2$ bei idealen Bedingungen beherrschbar. Treten höhere Lasten auf wird ein Umluftkühler, dessen Schacht fast über die gesamte Raumhöhe reicht, beige-stellt. Ein zusätzlicher Raumluf-twechsel von 5 h^{-1} ist für die ergänzende Kühlleistung in der Regel ausreichend. Diese Kombination Kühlsegel und Umluftkühler kann in verschiedenartiger Schaltung sinnvoll sein.

Lüftungssysteme mit verbesserter Lüftungseffektivität sollten selbstverständlich ein weiteres Entwicklungsziel sein. Die Quelllüftung mit kleinen Raumluf-twechseln, wie diese bei Kombinationen mit Kühldecken üblich ist, führt in der Atmungszone meistens zur gleichen Luftqualität wie eine Mischlüftung. Die Entwicklung einer Tischlüftung (Pultlüftung) kann sich der Autor

folgenden Anlagenvarianten realisiert werden:

- halbes Raum-Kühlsegel mit hygienisch bedingter Lüftung – beispielsweise als Quelllüftung – mit einem Raumluf-twechsel von 3 h^{-1} Prädikat: ideal

- halb belegte Kühldecke mit hygienisch bedingter Lüftung – beispielsweise als Quelllüftung – mit einem Raumluf-twechsel von 3 h^{-1} Prädikat: gut

- Umluftkühler oder erhöhte Quelllüftung mit jeweils einem Raumluf-twechsel von 10 h^{-1} Prädikat: gut

Entwicklungsempfehlungen

Die Anlagenvariante Kühldecke unterschiedlichen Belegungsgrades mit hygienisch bedingter Lüftung – beispielsweise mit Quelllüftung – ist technisch ausgereift. Sie liefert stets sehr gute wärmephysiologische Bedingungen und ist fast immer technisch realisierbar. Für die weitere Entwicklung sind Kühldecken mit Wassertemperaturen sehr nahe an der Raumtemperatur (großes κ_{Panel}) anzustreben, da damit der verstärkte direkte bzw. exergetisch günstige Einsatz von Umweltenergie möglich ist.

Zur Kostensenkung sollten Kühlsegel in größerem Umfang entwickelt werden. Bei Einsatz flexibler Kühlsysteme – beispielsweise bei Verwendung von Kunst-

technisch und auch gestalterisch in Verbindung mit einem Kühlsegel sehr gut vorstellen.

Fazit

□ Die ermittelten Ergebnisse demonstrieren deutlich, dass ideale bzw. gute behagliche Verhältnisse in Büroräumen unter sommerlichen Bedingungen nur erreichbar sind, wenn eine Flächenkühlung vorgesehen wird.

□ Die Nur-Luft-Systeme weisen bei Einhaltung der Empfindungstemperatur (operative Raumtemperatur) zu niedrige Lufttemperaturen in Fußbodennähe und meistens auch zu hohe Strahlungstemperaturen der Umgebung auf. Der zulässige Lufttemperaturgradient wird häufig überschritten.

Die bisherige Diskussion über die Behaglichkeit der Lüftungssysteme beachtete die jeweils zugehörigen Strahlungstemperaturen zu wenig. Der Autor sieht deshalb auch Widersprüche in den Festlegungen der DIN 1946 Teil 2. Es entsteht der Eindruck, dass anstelle der früher verzeichneten Lufttemperatur zwar die operative Raumtemperatur eingeführt wurde, dennoch aber die tatsächliche Auswirkung der Strahlungstemperaturen weitestgehend unbeachtet blieb.

□ Aus wärmephysiologischer Sicht sind die reinen Umluftkühler – wie beispielsweise Kühlbalken – gleichermaßen ungünstig wie die konventionellen Nur-Luft-Systeme. Aus hygienischer Sicht schneiden sie meistens noch schlechter ab.

□ Ein Zusammenwirken von Strahlungskühlflächen mit Konvektionskühlern ist bei richtiger Abstimmung durchaus sinnvoll. Auch hierbei sind ideale wärmephysiologische Bedingungen erreichbar. Bezüglich der Nachrüstbarkeit und der heutigen flexiblen Büronutzung sind diese Lösungen besonders gut anpassbar.

□ Architektonisch und wirtschaftlich sehr interessante Lösungen ergeben sich beim Einsatz von Kühlsegeln, da diese sich durch hohe Kühlleistungen und individuelle Gestaltung auszeichnen. Kühlsegel können außerdem zu Multifunktionselementen weiterentwickelt werden.

Die Bearbeitung erfolgte im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Projektträger BEO) geförderten Themas 0327241 „Umweltschonende Raumheizung und -kühlung mit Kunststoff-Kapillarrohrmatten“, Federführung Fa. Clina, Berlin; Projektpartner Westsächsische Hochschule Zwickau (FH).