

Aus dem Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie, Dortmund  
(Direktor: Prof. Dr. med. G. LEHMANN),  
Physiologische Abteilung (Leiter: Prof. Dr. med. E. A. MÜLLER)

## Untersuchungen der Behaglichkeit des Raumklimas bei Deckenheizung

Von

H.-G. WENZEL und E. A. MÜLLER

Mit 10 Textabbildungen

*(Eingegangen am 4. Oktober 1956)*

### Einleitung

Das zunehmende Interesse für die Strahlungsheizung, insbesondere für die Deckenheizung, legte es nahe, das Klima eines Raumes bei verschiedener Art der Beheizung und die Klimawirkungen auf den Menschen zu studieren. Es liegen schon mehrere Arbeiten zu dieser Fragestellung vor, die aber zu verschiedenen, oft nicht miteinander vergleichbaren Resultaten gekommen sind. Eine monographische Darstellung über die Strahlungsheizung gab KOLLMAR 1953. Im gleichen Jahr veröffentlichte CHRENKO die Ergebnisse von sehr umfassenden Versuchen über die physiologischen Wirkungen verschieden temperierter Raumwände. Vor wenigen Monaten ist eine weitere Studie zu dieser Frage von BAND erschienen. Die physiologische Bedeutung ungleicher Wand- und Lufttemperaturen untersuchten NIELSEN u. PEDERSEN sowie WINSLOW u. HERRINGTON. Zusammenfassende Darstellungen der physiologischen Wirkungen des Klimas auf den Menschen finden sich auch in den Monographien von BEDFORD, von BURTON u. EDHOLM, von NEWBURGH, von PRECHT, CHRISTOPHERSER u. HENSEL und von WINSLOW u. HERRINGTON. In jüngster Vergangenheit besprachen KOLLMAR u. LIESE eine Reihe hygienischer und technischer Fragen zur Infrarotheizung. Wir führten im Winter 1952/53 und im Winter 1953/54 eine Reihe Untersuchungen zur Frage der Deckenheizung durch, über die im folgenden berichtet wird. Die Versuche waren darauf gerichtet, festzustellen, von welcher Deckentemperatur ab die Deckenstrahlung bei verschiedener Lufttemperatur unangenehm empfunden wird. Die Resultate sollten zugleich eine Antwort auf die Frage geben, wie weit die Deckenheizung die menschliche Wärmestrahlungsbilanz beeinflusst. Die Versuche stützten sich auf eine genaue Analyse des Raumklimas bei Deckenheizung. Sie

ergaben Hinweise für die technische Einrichtung einer physiologisch einwandfreien Deckenheizung.

### Die Versuchsanlage

Die Versuche fanden in einem 3,38 m hohen Raum des Institutes statt, dessen Grundriß in Abb. 1 wiedergegeben ist. Der Raum besaß an der Südseite 3 Doppelglasfenster von je  $1,70 \times 2,20$  m Größe. Er grenzte mit den 5 übrigen Flächen mit gewöhnlichen halbsteinigen Wänden bzw. Zwischendecken an Nachbarräume, die täglich von etwa  $\frac{1}{2}6$ —16 Uhr auf etwa  $20^{\circ}\text{C}$  Lufttemperatur geheizt wurden. Der Boden des Raumes war mit Bonadur belegt. Die Einrichtung bestand aus gewöhnlichen Schränken, Tischen, Stühlen u. a. Unterhalb der 3 Fenster befanden sich 3 Radiatoren vom Typ 12/555 D. 2. Unter die vorhandene Raumdecke war eine Warmwasser-Heizdecke eingezogen worden, deren Aufbau aus Abb. 2 ersichtlich ist. 33 Heizrohre lagen parallel zwischen Zu- und Abfluß des Heizwassers und konnten in beliebiger Zahl und Reihenfolge mit Wasser durchströmt werden. Die Zirkulation des Heizwassers durch die Heizrohre bewirkte eine Wilo-Pumpe vom Typ 32, mit bekannter Förderleistung. Ein Thermostat hielt die Temperatur des einfließenden Heizwassers im Bereich von  $20$ — $80^{\circ}\text{C}$  auf  $\pm 1^{\circ}$  konstant.

### Das Raumklima bei Deckenheizung

**A. Meßmethoden.** Bei den Versuchen wurden folgende Klimafaktoren gemessen:

Die Temperatur der Luft, die Bewegung der Luft, die Feuchtigkeit der Luft, die infrarote Raumstrahlung, die Temperatur der Heizdecke und der anderen den Raum begrenzenden Flächen.

Die Lufttemperatur wurde fortlaufend an den Meßorten A—D (s. Abb. 1) in den Höhen 0,30, 1,00 und 1,70 m über dem Boden mit strahlungsgeschützten Quecksilber- und Widerstandsthermometern registriert.

Die Stärke und Richtung von Luftbewegungen wurde durch den ganzen Raum mit einem Fuess-Flügelradanemometer und einem Hastings-Air-Meter verfolgt.

Die relative Luftfeuchtigkeit wurde mit einem Haarhygrometer von LAMBRECHT registriert. Sie schwankte im stationären Heizzustand mit dem Außenwetter von Versuch zu Versuch zwischen 55 und 72%.

Die Infrarotstrahlung wurde mit einem modifizierten Kippschen Strahlungsmesser bestimmt. Wir bauten dessen Thermosäule so in ein Dewar-Gefäß ein, daß die „Vergleichsstellen“ („Kaltlötstellen“) durch die Wasserfüllung des Dewar-Gefäßes auf konstanter Temperatur gehalten wurden, während die „Meßstellen“ („Warmlötstellen“) der zu messenden Wärmestrahlung ausgesetzt waren. Die Meßstellen waren in eine besondere Kammer des Strahlungsmessers eingeschlossen, die durch ein KRS 5-Fenster abgeschlossen war, so daß die Temperatur der Luft dieser Kammer praktisch konstant auf der Temperatur des Wassers im Dewar-Gefäß gehalten wurde und zugleich Luftbewegungen sich nicht von außen in die Kammer fortsetzen konnten. Das Fenster ließ nahezu gleiche Anteile aller Wellenlängen von  $1 \mu$  bis etwa  $38 \mu$  durch (BRÜGEL). Diese Vorteile der Versenkung und Abdeckung der Meßstellen werden jedoch notwendig mit dem Nachteil erkauft, daß die Meßstellen nur von der aus einem Winkel von etwa  $155^{\circ}$  kommenden Strahlung getroffen werden. Bei der Eichung wurde jedoch die fehlende, aus dem Winkel von  $155$ — $180^{\circ}$  kommende Strahlung rechnerisch ergänzt, unter der Annahme, daß sie von einem Halbkugelhorizont gleichmäßiger Strahlungsdichte herrührt. Ist die mittlere Strahlungsdichte im Raumwinkel von  $155^{\circ}$  anders als die im Raumwinkel zwischen  $155$

und  $180^\circ$ , so weicht daher die auf Grund der Eichung gemessene Strahlung von der wahren Strahlung um einen Betrag ab, der jedoch in unserem Versuchsraum 1% nicht überstieg.

Aus der abgelesenen thermo-elektrischen Spannung wurden nach Eichkurven je nach der Fragestellung und Meßanordnung die folgenden Größen abgeleitet:

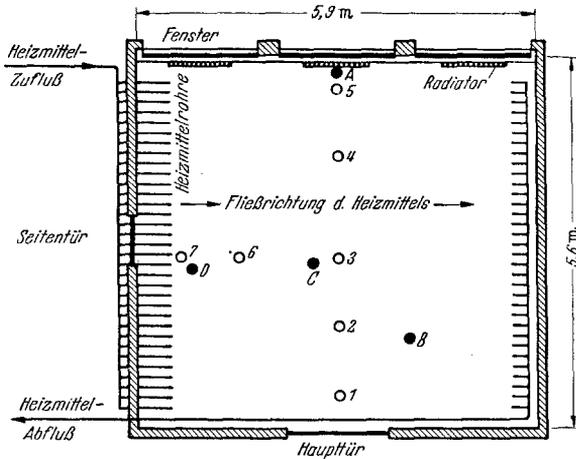


Abb. 1. Maßskizze des Versuchsraumes mit Meßstellen für die Lufttemperatur (A—D) und Strahlung (1—7)

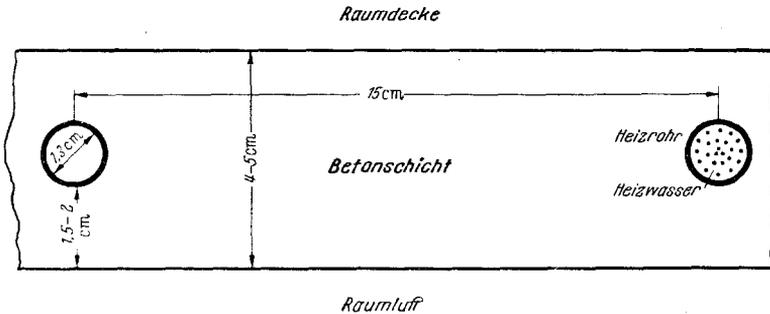


Abb. 2. Querschnitt durch die Heizdecke

1. Die Strahlungsstärke der Raumflächen, d. h. die von der Flächeneinheit in Abhängigkeit von der Strahlungszahl und der Temperatur abgegebene Strahlungsleistung in kcal/h.

2. Die Strahlungstemperatur der strahlenden Flächen in  $^\circ\text{C}$ , die sich auf Grund derer Strahlungszahlen und Strahlungsstärken ergibt.

3. Die Bestrahlungsstärke, d. h. die gesamte Strahlung, die auf eine beliebige, im Raum befindliche Fläche auftrifft, in kcal/h pro Flächeneinheit.

4. Die Bestrahlungstemperatur einer im Raum befindlichen Fläche in  $^\circ\text{C}$ , die sich aus ihrer Bestrahlungsstärke ergibt. Unter der Bestrahlungstemperatur wird die mittlere Strahlungstemperatur aller aus dem Raumwinkel von  $180^\circ$  auf die Meßfläche strahlenden Flächen verstanden.

Die Meßgenauigkeit der Strahlungstemperaturen lag im Bereich von  $20^\circ\text{C}$  bei etwa  $\pm 1^\circ$ , im Bereich von etwa  $50^\circ\text{C}$  bei  $\pm 0,75^\circ$ .

Zur Bestimmung des Wärmeüberganges durch Strahlung von der Decke und den Wänden des Raumes auf den Menschen (Haut, Kleidung) wurde mit dem Wert von  $4,6 \cdot 10^{-8}$  kcal/h  $\cdot$  m<sup>2</sup>  $\cdot$  Grad<sup>4</sup> als Strahlungszahl gerechnet.

**B. Meßergebnisse.** Das Verhalten des Raumes bei Beheizung wurde über viele Stunden mit Messungen der Klimafaktoren an verschiedenen Raumpunkten verfolgt. Dabei wurden insbesondere stationäre Heizzustände des Raumes, daneben auch der Vorgang des Anheizens und Abkühlens des Raumes erfaßt. Die Mehrzahl der Versuche wurde mit der

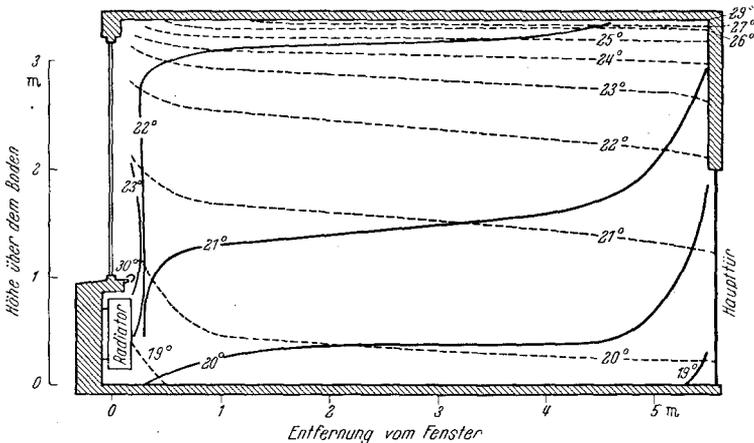


Abb. 3. Isothermenverlauf bei Deckenheizung -----, Radiatorenheizung ———

Deckenheizung durchgeführt. Zum Vergleich wurden Radiatorheizversuche unternommen.

Abb. 3 stellt den Verlauf der Isothermen der Luft bei Deckenheizung und vergleichsweise bei Radiatorenbeheizung in der vertikalen Ebene zwischen Haupttür und Fenster bei „angenehmem“ Raumklima dar. Der vorwiegend horizontale Verlauf der Isothermen bedeutet, daß überall im Raum ein im wesentlichen vertikales Temperaturgefälle bestand. Wie die dichtere Aufeinanderfolge der Isothermen bei Deckenbeheizung zeigt, war dieses Gefälle in dem bis etwa 1 m unter der Decke liegenden Bereich bei Deckenbeheizung sehr viel stärker als bei Radiatorenbeheizung. Bei Deckenbeheizung nahm in horizontaler Richtung die Lufttemperatur in gleichen Höhen über dem Boden vom Fenster zum Rauminneren hin etwas zu, bei Radiatorenheizung in dieser Richtung dagegen ab. Es ist weiter zu erkennen, daß bei Deckenbeheizung die Lufttemperatur in unmittelbarer Wandnähe ansteigt, während sie bei Radiatorenbeheizung an den Wänden stärker abfällt. Das ist dadurch bedingt, daß die Wandtemperatur bei genügend starker Anstrahlung von der Decke her höher ist als die Temperatur der angrenzenden Luftschichten.

Die absoluten Meßwerte der Abb. 3 gelten natürlich nur für den speziellen Fall unseres Versuchsraumes sowie für den am Meßtag durch das Außenklima und das Klima der Nachbarräume bedingten Wärmeübergang des Raumes an die Umgebung. Bei Messungen in einigen anderen deckenbeheizten Räumen mit geringerer Deckenhöhe und anderen Raummaßen fanden wir jedoch keine grundsätzliche Abweichung von dem hier dargestellten Verlauf der Isothermen.

Bei Radiatorenbeheizung des Raumes war die Strahlungstemperatur der Wandflächen im stationären Heizzustand stets niedriger als die Luft-

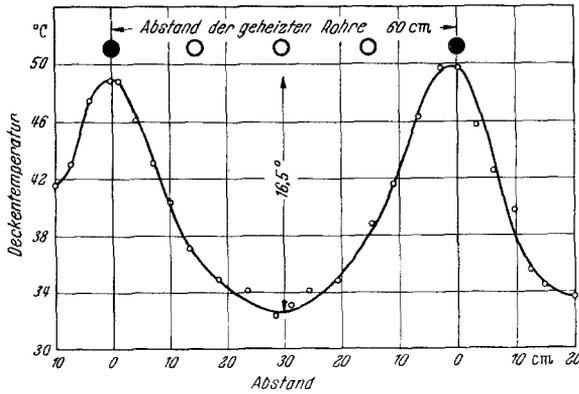


Abb. 4. Verlauf der Deckentemperatur senkrecht zu den Heizrohren (○ Heizrohre, ● beheizte Rohre); (Heizwassertemperatur 66°C)

temperatur im Raumzentrum in derselben Meßhöhe. Die Strahlungstemperatur der Decke lag — der Zunahme der Lufttemperatur mit der Höhe über dem Boden entsprechend — etwa 3°C über der Lufttemperatur in Bodenhöhe, die Bodenstrahlungstemperatur um 1 bis 5°C niedriger als die in mittlerer Höhe gemessene Lufttemperatur. Bei Deckenbeheizung lag die Strahlungstemperatur der Wände — sofern die Deckentemperatur bis etwa 25°C betrug — ungefähr genau so hoch, bei höheren Deckentemperaturen infolge der Absorption der von der Decke abgestrahlten Energie bis etwa 2°C höher als die Lufttemperatur im Raumzentrum in derselben Höhe. Die Strahlungstemperaturen der Raumwände unterschieden sich nicht voneinander. Die Strahlungstemperatur des Bodens lag bis 2°C über dem Mittelwert der Lufttemperatur. Parallel zu den Heizmittelrohren nahm die Deckentemperatur um weniger als 0,1°C/m in Richtung des Heizwasserflusses ab.

Senkrecht zu den Heizmittelrohren hatte die Deckentemperatur unterhalb der Heizrohre Maxima und unterhalb der Zwischenräume der Heizrohre Minima. Die Verteilung der Temperatur auf der Deckenunterfläche senkrecht zu den Heizrohren wurde für den Fall der Beschickung jedes

4. Heizrohres mit Heizwasser von 66°C in Abb. 4 dargestellt. Die Abszisse gibt den Abstand der Meßpunkte von dem Lot der beheizten Rohre an. Die Temperaturkurve hat erwartungsgemäß Maxima (etwa 49°) unterhalb der beiden beheizten Rohre sowie ein Minimum (etwa 32°) unterhalb des Deckenbereiches mitten zwischen den beheizten Rohren.

Wir haben in dieser Weise systematisch die Verteilung der Temperatur auf der Deckenunterfläche für Heizwassertemperaturen zwischen 31 und 79,5° und für Abstände der beheizten Rohre von 15—90 cm untersucht und zugleich die zugehörige Bestrahlungsstärke an verschiedenen Raumpunkten in verschiedenen Raumhöhen ermittelt. Die physiologische Bedeutung der dabei vorkommenden ungleichmäßigen Bestrahlungsstärken im Raum wird später zusammen mit den physiologischen Meßergebnissen besprochen.

Weder bei Deckenbeheizung noch bei Radiatorenheizung betrug die Luftbewegung in der Raummitte mehr als 2 cm/sec.

### Physiologische Beurteilung der Deckenheizung

**A. Versuchsdurchführung.** Zur Untersuchung der Frage, in welcher Weise die Deckenheizung bei verschiedener Lufttemperatur das Befinden von Personen im Versuchsraum beeinflusst, wurden unabhängig voneinander die Deckentemperatur und die Lufttemperatur variiert und dadurch verschiedene Klimazustände hergestellt. Die mittlere Deckentemperatur lag dabei zwischen 13 und 48°, die Lufttemperatur in 1 m Raumhöhe zwischen 11 und 25°. Durch Beschickung aller 33 Heizmittelrohre mit Heizwasser wurde die Differenz der Temperaturmaxima und -minima der Deckenunterfläche so gering gehalten, daß die Bestrahlungsstärke im Raum in jedem Fall von einem Abstand von 20 cm unterhalb der Decke ab ausgeglichen war. Die verschiedenen Klimazustände ließen wir von 58 männlichen und weiblichen Versuchspersonen (Vp.) im Alter von 17—54 Jahren beurteilen. Diese Personen, die in normalbeheizten Laboratorien des Institutes leichte Arbeit zu verrichten hatten, kamen in der gewohnten Arbeitskleidung einzeln in den Versuchsraum und hielten sich in einer ersten Versuchreihe zwischen 5 und 10 min, nur in wenigen Fällen länger, stehend, ruhig im Raum auf. In einer zweiten Versuchreihe betrug die Aufenthaltsdauer bis zu mehreren Stunden.

Die Vp. wurden gefragt: „Ist die Temperatur so, daß man sich ohne unangenehme Empfindungen dauernd bei leichter körperlicher Haus- oder Laborarbeit in diesem Raum aufhalten kann?“ Wurde diese Frage verneint, so waren die Gründe der Verneinung und die Art der unangenehmen Empfindungen anzugeben. Es zeigte sich, daß praktisch jede Antwort 2 Teilaussagen enthielt, von denen sich eine auf die Lufttemperatur, die andere auf die Stärke der Deckenstrahlung bezog. Diese beiden Teilaussagen machten sowohl die Vp., die von dem Vorhandensein der

Deckenheizung etwas wußten, als auch diejenigen, die ohne orientiert zu sein, befragt wurden.

Alle Beurteilungen der Lufttemperatur konnten sinngemäß in einer der folgenden 5 Gruppen untergebracht werden:

Unangenehm kalt — etwas zu kühl — angenehm — etwas zu warm — unangenehm warm.

Alle die Deckenstrahlung betreffenden Beurteilungen ließen sich in die folgenden 3 Gruppen einordnen:

Nicht spürbar — spürbar, nicht störend — spürbar, störend.

Wurde bei sehr hohen Deckentemperaturen die Deckenstrahlung unangenehm empfunden, so gaben die Vp. zum Teil nur ein allgemeines Wärmegefühl am Kopf an, das in anderen Fällen genauer lokalisiert wurde, und zwar besonders auf die oberen Augenlider, auf die Jochbeine und auf die Nase. Auffällig war, daß überaus häufig die unangenehme Empfindung als Druck bezeichnet wurde. Vereinzelt beschrieben die Vp. eine störende Deckenstrahlung als „unausgeglichene Wärme“, als „unnatürlich“ oder „komisch“, bei höchsten Deckentemperaturen schließlich auch als „brennend“.

**B. Ergebnisse bei kurzfristigem Aufenthalt.**

Zur Auswertung der insgesamt 511 Beurteilungen wurden in ein Koordinatensystem, dessen Abszisse die Lufttemperatur und dessen Ordinate die mittlere Strahlungstemperatur der Decke bedeutete, für jede Vp. die Beurteilung des Klimas im Schnittpunkt der Ordinaten der untersuchten Kombinationen beider Klimafaktoren eingetragen. Dabei ergaben sich Häufungen bestimmter Beurteilungen sowohl für die Lufttemperatur als auch für die Deckenstrahlung in bestimmten Klimabereichen. Durch Linien wurden die Bereiche, in die eine möglichst große Zahl gleichartiger Beurteilungen entweder der Lufttemperatur oder der Deckenstrahlung fielen, abgegrenzt. In Abb. 5 sind diese Grenzlinien — unter Weglassen der einzelnen Beurteilungspunkte — eingezeichnet.

Die im wesentlichen senkrecht verlaufenden Geraden 1—5 trennen 6 Bereiche überwiegend gleichartiger Beurteilungen der Lufttemperatur. Dabei folgen von links nach rechts aufeinander die Bereiche der Beurteilungen: „Unangenehm kalt“ (bis 1), „etwas zu kühl“ (1—2), „angenehm“ (3—4), „etwas zu warm“ (4—5) und „unangenehm warm“ (über 5). Zwischen den Linien 2 und 3 liegt eine schmale Zone, in der die Urteile

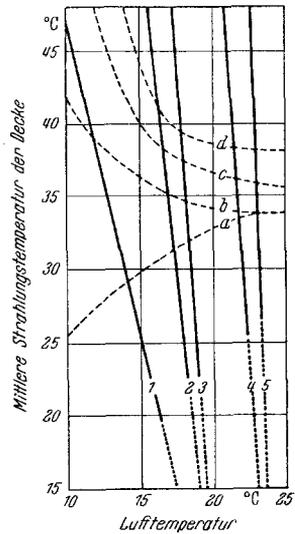


Abb. 5. Beurteilung der Behaglichkeit bei verschiedener Decken- und Lufttemperatur

„etwas zu kühl“ und „angenehm“ in gleicher Häufigkeit vorlagen. Die dem rechten unteren Bereich des Diagramms entsprechenden Klimazustände mit Lufttemperaturen, die höher als die Deckentemperaturen

Tabelle 1

Zone	Anzahl der Beurteilungen der Luft insgesamt 511	Beurteilung der Luft				
		unangenehm kalt	etwas zu kühl	angenehm	etwas zu warm	unangenehm warm
Bis 1	98 (= 100%)	92%	8%	—	—	—
1—2	146 (= 100%)	18%	76%	6%	—	—
2—3	36 (= 100%)	—	50%	50%	—	—
3—4	143 (= 100%)	—	5%	88%	7%	—
4—5	67 (= 100%)	—	—	34%	63%	3%
Über 5	21 (= 100%)	—	—	10%	23%	67%

Tabelle 2

Zone	Anzahl der Beurteilungen der Deckenstrahlung insgesamt 511	Beurteilung der Deckenstrahlung		
		nicht spürbar	spürbar, nicht störend	spürbar, störend
Bis a	129 (= 100%)	100%	—	—
a—b	92 (= 100%)	11%	89%	—
b—c	115 (= 100%)	—	71%	29%
c—d	70 (= 100%)	—	33%	67%
Über d	105 (= 100%)	—	10%	90%

lagen, ließen sich in dem Versuchsraum nicht herstellen. Die hier extrapolierten Grenzlinien sind punktiert eingezeichnet. Die gestrichelten Kurven a und c der Abb. 5 trennen die 3 Bereiche überwiegend gleichartiger Beurteilungen der Deckenstrahlung. Es folgen von unten nach oben die Bereiche der Beurteilungen „nicht spürbar“ (bis a), „spürbar, nicht störend“ (bis c) und „spürbar, störend“ (über c). Die beiden letztgenannten Bereiche wurden jeweils durch eine Zwischenlinie (b bzw. d) in Bereiche verschiedener Häufigkeit der Beurteilungen unterteilt.

Die beiden Tabellen 1 und 2 geben an, wie sich prozentual die Urteile auf die durch die Grenzlinien abgesteckten Klimabereiche verteilen. Man

sieht, daß trotz Überschneidungen sich Klimabereiche abgrenzen lassen, in denen sowohl die Lufttemperatur wie die Deckenstrahlung bei wenigstens  $\frac{2}{3}$  der Befragungen einheitlich beurteilt wird. Die subjektive Befragung führt daher zu einem praktisch verwertbaren Ergebnis.

Die in den Tabellen 1 und 2 ermittelte Streuung der Beurteilung des gleichen Klimazustandes rührt zum Teil davon her, daß eine Person in ihrem Urteil unsicher ist, zum Teil aber auch davon, daß verschiedene

Tabelle 3

Vp.	Zahl der Beurteilungen	Beurteilung der Luft (in Prozent der Beurteilungen)				Beurteilung der Deckenstrahlung (in Prozent der Beurteilungen)			
		1 Stufe kälter —	keine Abweichung	1 Stufe wärmer +	Differenz der abweichenden Urteile	1 Stufe angenehmer —	keine Abweichung	1 Stufe unangenehmer +	Differenz der abweichenden Urteile
HA	19	32	68	0	— 32	37	63	0	— 37
MI	10	10	90	0	— 10	20	80	0	— 20
HEII	29	17	66	17	± 0	10	83	7	— 3
HI	16	13	75	12	± 0	6	88	6	± 0
LE	32	9	75	16	+ 7	9	85	6	— 3
KO	11	9	73	18	+ 9	18	73	9	— 9
GR	16	13	62	25	+ 12	13	81	6	— 7
SCH	11	9	64	27	+ 18	9	82	9	± 0
HEI	26	4	69	27	+ 23	0	81	19	+ 19
WE	69	10	54	36	+ 26	4	84	12	+ 8
VE	30	3	37	60	+ 57	7	83	10	+ 3

Personen verschieden auf ein und dasselbe Klima reagieren. Es wurde versucht, die Antworten daraufhin zu analysieren, wie weit der eine oder der andere Faktor von Bedeutung ist. Dazu wurden 11 Personen herausgesucht, von denen jede mehr als 10mal befragt worden war. Die Ergebnisse der Befragungen dieser Personen sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Die 11 Vp. gaben zusammen 269 kombinierte Urteile über die Lufttemperatur und Deckenstrahlung im ganzen untersuchten Klimabereich ab. Jedes einzelne Urteil wurde verglichen mit dem im gleichen Klimabereich von allen 58 Vp. am häufigsten abgegebenen, und für jede der 11 Vp. errechnet, in wieviel Prozent die Beurteilung vom häufigsten Urteil nicht abwich, oder 1 Stufe kälter oder wärmer für die Luft, angenehmer oder unangenehmer für die Deckenstrahlung ausfiel. Die Differenz der abweichenden Urteile wurde in 2 weiteren Stäben der Tabelle 3 gebildet. Als positiv wurde ein Überwiegen von abweichenden Urteilen im Sinne eines „zu warm“ bzw. „unangenehm“ gewertet und umgekehrt.

Es gibt in der Tabelle 3 typische individuelle Unterschiede. Diese wurden in Abb. 6 graphisch dargestellt. Vp. HA und MI beurteilen die Lufttemperatur kälter als die Mehrzahl der Versuchspersonen. Es ist

interessant, daß sie entsprechend eine stärkere Strahlung als angenehm empfinden als die Mehrzahl. Die Vp. HEII, HI, LE, KO und GR zeigen keine deutlichen Abweichungen vom Urteil der Mehrzahl. Vp. SCH, HEI, WE und VE beurteilen die Lufttemperatur wärmer als die Mehrzahl, ziehen also kälter temperierte Räume vor. Am auffallendsten war das bei Vp. VE, die auch ihre Arbeitsräume im Winter besonders kühl hielt. Die Beurteilung der Strahlung durch diese 4 Vp., die kältere Lufttemperaturen bevorzugten, war bis auf Vp. HEI normal. Sie waren nicht empfindlicher gegen Deckenstrahlung als die Mehrzahl.

Aus diesen Ergebnissen, deren geringe Zahl eine weiter differenzierte Analyse nicht erlaubt, läßt sich doch ablesen, daß Abweichungen von den häufigsten subjektiven Beurteilungen nicht zufällige Streuwerte sind, sondern wahrscheinlich physiologisch begründet werden könnten, sei es durch Abweichung des individuellen Grundumsatzes je Quadratmeter Körperoberfläche durch Alter und Ernährungsweise, sei es durch Kleidung oder Akklimatisation.

Die Zone der Abb. 5, in der das Klima bei Deckenheizung nicht Empfindungen wie „unangenehm kalt“ oder „unangenehm warm“ bzw. hinsichtlich der Deckenstrahlung „spürbar, störend“ verursacht, die zwischen den Linien 3 und 4 unterhalb der Kurve b liegt, ist in Abb. 7 mit der Bezeichnung „behaglich“ eingetragen. Andererseits wurden die Zonen, in denen das Klima überwiegend als unangenehm beurteilt wurde, mit „unbehaglich“ bezeichnet. Das ist in Abb. 5 das Bereich links von der Linie 1, rechts von der Linie 5 sowie oberhalb der Kurve c. Die Zwischenbereiche, in denen ein Teil der befragten Versuchspersonen das Klima „behaglich“ empfand, ein Teil jedoch nicht, kann z.T. bei entsprechender Bekleidung für alle Personen behaglich sein, und zwar im Diagramm links und rechts des Behaglichkeitsbereiches, also bei Klimazuständen, bei denen die Deckentemperatur unter 35—37° liegt. Das im Diagramm links oben liegende, zipfelförmige Bereich kann jedoch praktisch nicht dem Behaglichkeitsbereich zugerechnet werden. Die Klimazustände dieses Bereiches sind dadurch charakterisiert, daß die Lufttemperatur relativ niedrig ist (z. B. 13—15° beträgt), die Deckentemperatur dagegen relativ hoch liegt (z. B. über 40°C). Wie die während des Anheizens des Raumes durchgeführten Klimamessungen zeigten, kommen diese Klimazustände jedoch nur kurze Zeit nach Beginn des Anstellens der Deckenheizung vor, da die Lufttemperaturerhöhung gegenüber der Deckentemperaturerhöhung stets verzögert ist. Stationäre Heizzustände mit z. B. 40° Deckentemperatur und 15° Lufttemperatur ließen sich in dem Versuchsraum nicht herstellen. Auch bei Außentemperaturen unter 0°C erhöhte sich bei Deckentemperaturen über 37° die Lufttemperatur nach einiger Zeit auf über 18°C. Wenn unter diesen Umständen während des Anheizens das Klima eine Zeitlang behaglich ist, so werden mit der

Dauer des Anheizens in dem Diagramm der Abb. 5 die Grenzkurven c und d nach rechts überschritten, und der Klimazustand gehört dann zu dem Bereich des Diagrammes, in dem die Deckenstrahlung überwiegend unbehaglich empfunden wird.

**C. Ergebnisse bei langfristigem Aufenthalt.** Für die Versuche, bei denen wir prüften, wie Vp. bei längerem Aufenthalt auf verschiedene Klimazustände reagierten, standen uns insgesamt 8, davon 3 männliche und 5 weibliche Personen im Alter von 20—41 Jahren zur Verfügung. Es

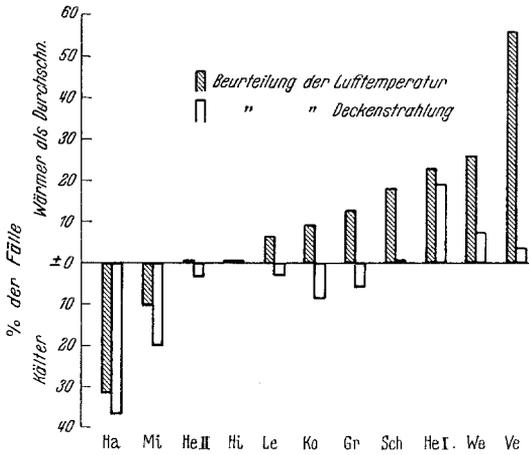


Abb. 6

Abb. 6. Individuelle Klimabeurteilung: Prozent der Fälle, in denen die Beurteilung der Lufttemperatur und der Deckenstrahlung durch 11 Versuchspersonen von der Durchschnittsbeurteilung abwich

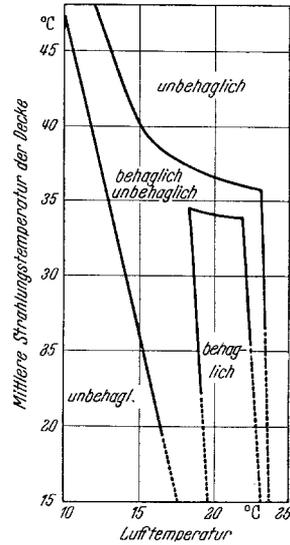


Abb. 7

Abb. 7. Lage der Behaglichkeitszone bei verschiedener Decken- und Lufttemperatur

handelt sich dabei um Personen, die bereits bei den kurzfristigen Versuchen mitgewirkt hatten und dabei keine von der ermittelten allgemeinen Norm wesentlich abweichenden Urteile über die verschiedenen Klimazustände abgegeben hatten. Diese Vp. hielten sich zwischen 20 min und  $4\frac{3}{4}$  Std in dem deckenbeheizten Raum auf. Der Versuchsraum war dabei so klimatisiert, daß die Luft mitten im Raum in 1 m Höhe über dem Boden meist zwischen 18 und 22°C — in einzelnen Versuchen bis 24°C — warm war, eine mittlere relative Feuchtigkeit herrschte und keine besonderen Luftbewegungen vorkamen. Die mittlere Deckentemperatur wurde zwischen 28 und 43° variiert.

Die Vp. kamen — wie in den früheren Versuchen — in ihrer gewohnten Arbeitskleidung aus angenehm warmen Räumen und hatten vor dem Aufenthalt im Versuchsraum ihre übliche körperlich leichte Laborarbeit verrichtet. Alle Vp. waren als Institutsangehörige über den Zweck der Versuche orientiert. Sie hielten sich im Gegensatz zu den früheren Ver-

suchen nicht ruhig stehend im Versuchsraum auf, sondern gingen in der Versuchszeit ihrer gewohnten Arbeit, meist im Sitzen, nach. Sie hatten in der früher beschriebenen Weise am Ende der Versuchszeit subjektiv das Klima zu beurteilen.

Die bei diesen Versuchen gewonnenen Urteile enthielten wieder 2 Teilaussagen, eine über die Lufttemperatur und eine zweite über die Deckenstrahlung. Die Lufttemperatur wurde in Übereinstimmung mit den früheren Ergebnissen bei den Temperaturen zwischen 18 und 22°C meist als behaglich, bei Temperaturen zwischen 22 und 24° als etwas zu warm bezeichnet. Die Urteile über die Deckenstrahlung sind in Tabelle 4 zu-

Tabelle 4

Decken- temperatur	Aufenthalts- dauer in Stunden	Anzahl der Beurtei- lungen (ins- gesamt 58)	Beurteilung der Deckenstrahlung		
			nicht störend	leicht störend	stark störend
Bis 34°	1/2—3 1/2	28	28	—	—
35—37°	1/3—4 3/4	23	19	4	—
Über 37°	1/3— 3/4	7	—	1	6

sammengefaßt. Dabei wurden 3 Gruppen der Deckentemperaturen gebildet, eine bis 34°, eine zweite von 35—37° und eine dritte über 37°. Es wurde darauf geachtet, daß jeweils die gleichen Vp. verschiedene Deckentemperaturen und Aufenthaltsdauern zu beurteilen hatten.

Die Tabelle zeigt, daß in keinem der 28 Versuche mit Deckentemperaturen bis 34°C Unbehaglichkeitserscheinungen aufgetreten waren. Bei mittleren Deckentemperaturen zwischen 35 und 37°C wurden 19 von insgesamt 23 Fällen die bei diesen Temperaturen auftretenden Deckenstrahlung nicht störend empfunden. Nur in 4 Fällen wurde sie als leicht störend bezeichnet. In 7 Versuchen lag die mittlere Strahlungstemperatur der Decke zwischen 37 und 43°C. In allen Fällen wurde die Deckenstrahlung als störend bezeichnet.

Die Aufenthaltsdauer hatte keinen spezifischen Einfluß. Es ließen weder anfängliche Beschwerden im Laufe des Aufenthaltes nach, noch traten Beschwerden gegen Ende des Aufenthaltes auf, die anfänglich nicht geäußert wurden. Es ergibt sich daher bei einem Vergleich dieser Ergebnisse mit den Ergebnissen der Kurzversuche eine weitgehende Übereinstimmung der Klimabeurteilungen. Genau so wie bei kurzfristigem Aufenthalt war auch jetzt die Deckenstrahlung bei mittleren Deckentemperaturen unter 34°C in keinem Fall unangenehm empfunden worden. Bei Deckentemperaturen zwischen 35 und 37° war bei kurzfristigem Aufenthalt in 71% der Fälle keine Behaglichkeitsstörung aufgetreten. Bei längerem Aufenthalt galt dies für nahezu den gleichen Prozentsatz

(19 von 23 Fällen = 83%). Bei Deckentemperaturen über 37° war auch bei kurzfristigem Aufenthalt schon die Deckenstrahlung für die Mehrzahl der Versuchspersonen unbehaglich. Das Diagramm der Abb. 5 gilt also auch für langfristigen Aufenthalt.

Es war nun die Frage von Interesse, welche objektiven Veränderungen den subjektiven Unbehaglichkeitserscheinungen bei starker Deckenstrahlung zugrunde liegen. Wir prüften daher das Verhalten der Hauttemperatur und Pulsfrequenz bei verschiedenen starker infraroter Bestrahlung. Es ergab sich, daß bei Bestrahlungstemperaturen bis zu 50°, also bis zu Werten, die bereits als unangenehm empfunden wurden, keine Erhöhung der Hauttemperatur am Unterarm bei Bestrahlung auftrat. Das galt in gleicher Weise für die Bestrahlung des Armes von der Decke her, wie für die Bestrahlung durch in der Nähe des Armes angebrachte Elstein-Strahler.

Das Verhalten der Pulsfrequenz unter unangenehmen Bestrahlungsbedingungen wurde an 2 Vp. untersucht. Die Vp. hielten sich dabei je ½ Std in dem deckenbeheizten Versuchsraum und vergleichsweise in einem radiatorenbeheizten Nachbarraum mit gleicher Lufttemperatur auf. Im deckenbeheizten Raum lag die Deckentemperatur zwischen 42 und 44°, also in einem Bereich, das unangenehm empfunden wurde. Sie verrichteten in der Versuchszeit gewöhnlich Schreibtischarbeit. Es ergab sich, daß die Pulsfrequenz in dem deckenbeheizten Raum bei unangenehmer Deckenstrahlung praktisch genau so hoch lag, wie in dem Vergleichsraum. Offenbar sind die unangenehmen Empfindungen bei zu starker Deckenstrahlung nicht durch lokale Überwärmung der Hautoberfläche oder Pulsfrequenzsteigerung zu erklären.

### Besprechung

Die Erklärung für die oben beschriebene verschiedene Beurteilung gleicher Lufttemperaturen bei verschiedener Deckenstrahlung liegt darin, daß es im untersuchten Klimabereich bei Abgabe gleich großer Wärmemengen nicht möglich ist, gefühlsmäßig zu unterscheiden, wie weit die Wärme an eine kältere Umgebungsluft abgegeben oder an eine kältere umgebende Wandfläche abgestrahlt wird. Der schräge Verlauf der Grenzlinien 1—5, die ein Maß für die subjektive Beurteilung der Lufttemperatur geben, zeigt, daß das Gefühl für die Temperatur der umgebenden Luft von der gleichzeitig auftreffenden Strahlung beeinflusst worden ist und daß mit zunehmender Strahlungsstärke der Decke eine Luft gleicher Temperatur wärmer empfunden wird.

So wurde z. B. die Luft von 17,5°C bei Deckentemperaturen unter 30°C im allgemeinen als kühl, bei Deckentemperaturen von über 45°C dagegen als angenehm warm empfunden, oder es erschien die Luft von 23°C bei den hohen Deckentemperaturen zu warm, bei den niedrigen Deckentemperaturen angenehm.

Ganz entsprechend verhielt es sich mit der subjektiven Beurteilung der Strahlung, wie der Verlauf der Kurven a—d erkennen läßt: Die Strahlung der 30°C warmen Decke wurde bei Lufttemperaturen unter 15°C deutlich, über 15°C dagegen niemals empfunden, oder die Strahlung der 40°C warmen Decke bezeichneten bei Lufttemperaturen von 10—11°C

alle befragten Vp. als angenehm warm, bei mehr als  $18^{\circ}\text{C}$  Lufttemperatur dagegen fast ausnahmslos als unangenehm und drückend.

Die richtige Abstimmung der Luft- und Strahlungstemperatur für Lufttemperaturen zwischen  $10$  und  $25^{\circ}$  und Strahlungstemperaturen zwischen  $13$  und  $40^{\circ}$  ist in Abb. 8 wiedergegeben. Die gestrichelten bzw.

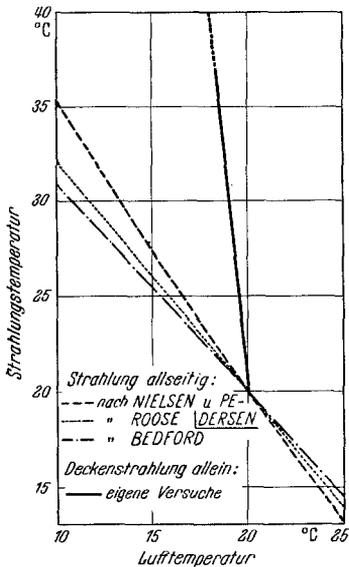


Abb. 8. Linien gleicher Behaglichkeit bei verschiedener Luft- und Strahlungstemperatur

punktierten Linien betreffen allseitige Strahlung und geben die Befunde der Untersuchungen von BEDFORD, von NIELSEN u. PEDERSEN und von ROOSE wieder. Sie zeigen, daß man je Grad Lufttemperaturabfall die Strahlungstemperatur um etwa  $1-1,5^{\circ}$  erhöhen muß, um das Behaglichkeitsempfinden, das z. B. bei  $20^{\circ}$  Lufttemperatur und  $20^{\circ}$  Strahlungstemperatur vorhanden ist, zu behalten. Für Deckenstrahlung allein wurde die ausgezogene Kurve nach Abb. 5 gezeichnet, die eine Erhöhung der Deckenstrahlungstemperatur um etwa  $10^{\circ}$  je Grad Senkung der Lufttemperatur verlangt, um ein Kälteempfinden zu vermeiden. Der „Wert“ der Deckentemperatur für die Behaglichkeit des Klimas ist also nur etwa  $\frac{1}{10}$  des „Wertes“ der Lufttemperatur. Wie Abb. 8 zeigt, sind bei der maximal erträglichen Deckentemperatur von

$37^{\circ}\text{C}$  nur  $2^{\circ}$  Lufttemperatur einzusparen, d. h. behagliche Bedingungen verlangen eine Lufttemperatur von wenigstens  $18^{\circ}\text{C}$ .

Daß die Deckenstrahlung nur einen praktisch unwesentlichen Teil des Konvektionswärmeverlustes des Menschen zu kompensieren vermag, erklärt sich aus dem relativ kleinen Teil der Körperoberfläche, der bei aufrechter Körperhaltung der Decke unmittelbar gegenübersteht. Das Verhältnis der gesamten effektiven Strahlungsfläche des Menschen, die im Durchschnitt mit ca.  $1,3\text{ m}^2$  angesetzt werden kann, zu der Horizontalprojektion der Körperfläche nach oben von ca.  $0,15\text{ m}^2$  ist in der Tat umgekehrt proportional dem Verhältnis der Steigungen der Kurven in Abb. 8. Wird ein größerer Teil der Körperoberfläche von der Decke her bestrahlt, ist die physiologische Ausnutzung der Deckenstrahlung entsprechend besser. Das zeigt sehr deutlich die Beobachtung, daß man sich in einem deckenbeheizten Raum liegend durchweg wärmer fühlt als stehend. Die Deckenheizung, die im physikalischen Sinne fraglos eine Strahlungsheizung ist, kann also physiologisch kaum als solche verwandt

werden, mit anderen Worten: Ein Mensch kann nur in beschränktem Maße dadurch in ein Wärmegleichgewicht gebracht werden, daß ein Zuviel von Wärmeabgabe an die Luft durch ein Mehr an Deckenstrahlung kompensiert wird. In diesem Sinne äußerte sich auch bereits KOLLMAR.

Bei der technischen Einrichtung einer Deckenheizung ist also zu fragen, wie man durch Deckenheizung die Luft angenehm temperieren kann, ohne daß Störungen auftreten, die mit der Energieabgabe der Decke durch Abstrahlung verbunden sind.

Die Grenzwerte, bis zu denen keine Störungen auftreten, sind von verschiedener Seite untersucht worden. Bei den Angaben der Technik wird dabei mit dem Begriff der Einstrahlzahl gearbeitet, um verschiedene Raumhöhen und Heizflächen-Abmessungen auf einen Nenner zu bringen. Die Einstrahlzahl gibt ein Maß für den Raumwinkel an, aus dem der Kopf von der Heizfläche der Decke her bestrahlt wird. Es ist klar, daß diese Einstrahlzahl mit zunehmender Raumhöhe abnehmen, mit der Größe der Strahlungsfläche dagegen zunehmen muß. Nach Arbeitsblatt 25 (nach KOLLMAR) betrug in unserem Versuchsraum für den stehenden Menschen die Einstrahlzahl etwa 0,8, bei der nach den bisherigen Erfahrungen der Praxis eine mittlere Strahlungstemperatur der Decke von etwa 35,5°C zulässig ist. Nach den Untersuchungen von ANDORFER ergibt sich als physiologisch zulässige Deckenunterflächentemperatur für unsere Versuchsverhältnisse etwa 36,5°C. Von ADLAM wird für einen Raum von 5,50 · 4,90 m Größe und 3,70 m Höhe, der unserem Versuchsraum also weitgehend entspricht, ebenfalls als zulässiger Höchstwert der Deckentemperatur 37,2° angegeben. Hier bestätigen also unsere Versuche die bisher ermittelten Befunde. Die von CHRENKO gemachten Beobachtungen sind mit unseren Beobachtungen nicht ohne weiteres zu vergleichen, da sie unter etwas anderen Versuchsbedingungen gemacht worden sind. Nach CHRENKO sollte in einem Raum mit etwa 9 m<sup>2</sup> Heizfläche bei der gleichen Raumhöhe, wie sie unser Versuchsraum hat, die Maximaltemperatur etwa 35°C betragen, bei 16 m<sup>2</sup> Heizfläche etwa 30°C und bei einer Einstrahlzahl von 0,8 für den stehenden Menschen etwa 30°. Diese Grundwerte liegen also niedriger als die übrigen oben zitierten und die von uns ermittelten. Sie lassen sich vielleicht dadurch erklären, daß bekanntlich in England allgemein ein etwas kälteres Raumklima als bei uns bevorzugt wird.

Außer den Grenzwerten für die Deckentemperatur liegen in der Literatur Angaben über den maximal zulässigen Wärmeübergang durch Strahlung von der Decke an den Kopf vor. KOLLMAR gibt in seiner Besprechung der CHRENKOSCHEN Arbeiten den Wert von 0,0011 kcal/h · cm<sup>2</sup> an. Dieser Wert entspricht fast genau dem Warmschwellenwert, den EBAUGH u. THAUER bei Untersuchungen der Warm- und Kaltschwellen bei Wärmebestrahlung fanden. Ihre Untersuchungen ergaben, daß bei

Lufttemperaturen zwischen 16 und 24° die Schwelle der Warmempfindung des Gesichtes und der Brust bei Zustrahlung von 0,00115 kcal/h · cm<sup>2</sup> lag. Dieser Wert entspricht einer Temperaturdifferenz zwischen Strahler und bestrahlter Haut von fast genau 2° C. Unsere Versuche hatten im behaglichen Lufttemperaturbereich um 20° C ergeben, daß die Strahlungstemperatur der Decke, bei der die Wärmestrahlung gerade empfunden wurde, bei 33—34° lag (vgl.

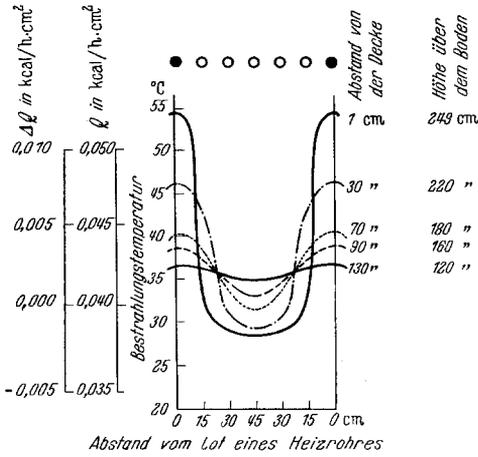


Abb. 9. Abhängigkeit der Bestrahlungstemperatur, der Bestrahlungsstärke und des Wärmeüberganges durch Strahlung vom Abstand von der Decke und vom horizontalen Abstand vom Lot eines Heizrohres (○ Heizrohre, ● beheizte Rohre)

Kurve a der Abb. 5) und weiterhin, daß diese Schwellentemperatur dabei nur sehr wenig unter der Grenztemperatur lag, bei der die ersten Störungen der Behaglichkeit auftraten. Rechnet man nun bei der Lufttemperatur von 20° C mit einer Stirntemperatur von 32°, wie es auch KOLLMAR tat und auf Grund anderer von uns durchgeführten Versuche zulässig ist, so liegt die von uns gefundene Schwellentemperatur 1—2°, die Grenztemperatur 2° über der Stirntemperatur. Sie entspricht damit den oben genannten Werten.

Wie auf Seite 6 bereits näher beschrieben wurde, wurden die physiologischen Messungen bei Beheizung der Decke durch alle 33 Heizrohre vorgenommen, wobei die Unterschiede zwischen den erwähnten Temperaturmaxima und -minima der Deckenunterfläche so gering waren, daß die Bestrahlungsstärke im Raum praktisch bereits von 20 cm unterhalb der Decke ab gleichmäßig war. Wurde die Decke ungleichmäßiger beheizt, etwa durch Beschickung nur jedes zweiten, dritten usw. Heizrohres mit Heizwasser, so fand der Ausgleich der Bestrahlungsstärke unterhalb der Deckentemperaturmaxima und -minima in größerer Entfernung von der Decke statt. Es kam vor, daß bei gewissen Beheizungsarten der Decke die Bestrahlungsstärke in einer Höhe von 1,80 m über dem Boden noch nicht ausgeglichen war, so daß im Raum stehende Vp. deutlich die an verschiedenen Raumpunkten verschieden starke Deckenstrahlung empfanden. Bei unveränderter mittlerer Strahlungstemperatur der Decke traten daher von den oben beschriebenen abweichende physiologische Reaktionen auf, wenn die Temperatur der Deckenunterfläche nicht ausreichend gleichmäßig war.

Abb. 9 zeigt ein Beispiel, in dem die Bestrahlungsstärke in der Mitte des Raumes unterhalb einer ungleichmäßig temperierten Decke (mittl. Strahlungstemperatur  $35,5^{\circ}\text{C}$ ) in einer vertikalen Ebene gemessen wurde, die senkrecht zum Verlauf der Rohre lag. In diesem Versuch war nur jedes sechste Heizrohr der Decke mit Heizwasser von  $79,5^{\circ}\text{C}$  beschickt worden. Die Lage der bestrahlten Meßflächen in der Meßebene ist einmal durch ihren vertikalen Abstand von der Decke, dem jeweils eine bestimmte Höhe über dem Boden entspricht, zum anderen durch ihren horizontalen Abstand von den Lotlinien der beheizten Rohre bestimmt. Der Abstand von den Lotlinien ist auf der Abszisse, der Abstand von der Decke als Parameter angegeben. Die Ordinate gibt in 3 Stäben die Bestrahlungstemperatur  $T^{\circ}$ , die Bestrahlungsstärke  $Q$  und den Wärmeübergang  $\Delta Q$  durch Strahlung auf  $1\text{ cm}^2$  menschliche Oberfläche von  $32^{\circ}$  an.

Die links oben beginnende ausgezogene Kurve gibt die Bestrahlungstemperatur direkt unterhalb der Decke (Abstand 1 cm) an, die mit der Temperatur der Deckenunterfläche identisch ist. Die Kurve hat ihre Maxima unterhalb der beheizten Rohre und ein Minimum mitten zwischen ihnen. Die Kurve für 30 cm Abstand von der Decke hat ihre Maxima und ihr Minimum bei den gleichen Abszissenwerten wie die Kurve für 1 cm Deckenabstand. Da sich aber mit zunehmendem Abstand von der Decke die von den wärmsten Stellen der Decke kommende starke Strahlung in zunehmendem Maße mit der von den kältesten Stellen der Decke kommenden schwachen Strahlung „mischt“, liegen die Maxima bei 30 cm Abstand niedriger und das Minimum höher als bei 1 cm Abstand. Entsprechendes gilt für die Kurven für 70 und 90 cm Abstand von der Decke. Erst in 130 cm Entfernung von der Decke war in diesem Fall die Bestrahlungsstärke unterhalb der Maxima der Deckentemperatur praktisch nicht verschieden von den Bestrahlungsstärken unterhalb der Minima der Deckentemperatur. Die mittlere Strahlungstemperatur der Decke lag bei  $35,5^{\circ}\text{C}$ .

Für die physiologische Beurteilung der Deckenstrahlung ist wesentlich, daß trotz einer mittleren Deckentemperatur von  $35,5^{\circ}\text{C}$ , bei der bei gleichmäßiger Beheizung der Decke in unserem Versuchsraum keine unangenehmen Empfindungen aufgetreten wären, in dem in Abb. 9 dargestellten Fall der ungleichmäßigen Beheizung der Decke unter jedem Deckentemperaturmaximum in 1,80 m Höhe über dem Boden maximale Bestrahlungstemperaturen von  $40^{\circ}\text{C}$  auftreten, die unangenehm empfunden werden.

Aus dieser Darstellung geht hervor, daß der physiologische Grenzwert der mittleren Strahlungstemperatur der Decke von  $37^{\circ}\text{C}$  nur für den Fall gilt, daß der Ausgleich der maximalen und minimalen Bestrahlung oberhalb der Scheitelhöhe stattfindet. Wenn dagegen dieser Ausgleich erst unterhalb der Scheitelhöhe stattfindet, darf die maximale, d. h. senkrecht

unterhalb der beheizten Rohre vorkommende Bestrahlungstemperatur in Scheitelhöhe  $37^{\circ}$  nicht überschreiten. Diese Gefahr besteht jedoch nur dann, wenn deckenbeheizte Räume relativ niedrig und die Heizrohre relativ weit voneinander entfernt sind.

Die Gefahr des Auftretens von Unbehaglichkeitserscheinungen wird in zu niedrigen Räumen noch dadurch verstärkt, daß — wie auf Seite 338 bereits besprochen wurde — bei Deckenheizung die Lufttemperatur im

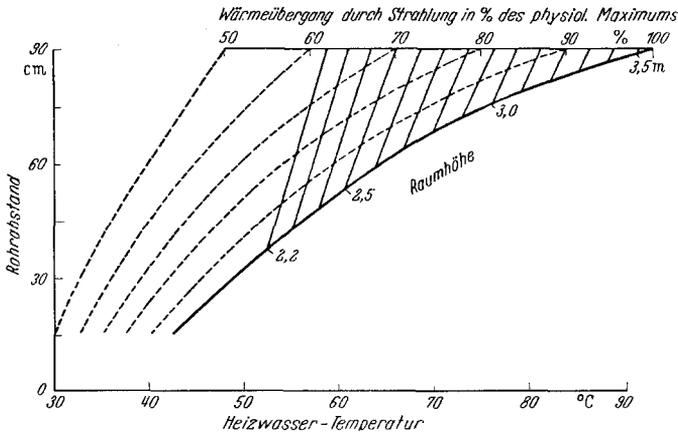


Abb. 10. Diagramm zur Ermittlung des physiologisch zulässigen Maximums an Strahlung in Abhängigkeit von Rohrabstand, Heizwassertemperatur und Raumhöhe

Bereich von etwa 1 m unterhalb der Decke ein großes Gefälle hat, so daß u. U. der Kopf von Personen, die sich stehend im Raum aufhalten, in die unter der Decke befindliche warme Luftschicht hineinragt und so empfindlicher für die Wärmezufuhr durch Strahlung von der Decke her sein kann. Das gilt nicht nur für ungleichmäßig, sondern auch für gleichmäßig beheizte Decken.

In Abb. 10 wurde auf Grund der Ergebnisse der Messungen, die auf Seite 340 erwähnt wurden, ein Diagramm entworfen, aus dem entnommen werden kann:

a) Ob eine bestimmte Kombination von Rohrabstand und Heizwassertemperatur bei einer bestimmten Raumhöhe noch zu einem erträglichen Strahlungsklima führt, d. h. an keiner Stelle des Raumes in Scheitelhöhe eine Bestrahlungstemperatur über  $37^{\circ}\text{C}$  erzeugt.

b) Welche Kombination von Rohrabstand und Heizwassertemperatur bei einer bestimmten Raumhöhe die physiologisch noch erträgliche ausgeglichene Bestrahlungstemperatur (d. h. das physiologisch erträgliche Maximum an Strahlung) liefert.

c) Wieviel Prozent der physiologisch maximal erträglichen Strahlung bei verschiedenen Kombinationen von Rohrabstand und Heizwasser-

temperatur von der Decke an den Raum abgegeben werden (für 20° mittlere Strahlungstemperatur der Raumwände und des Bodens).

Auf der Abszisse des Diagrammes ist die Heizwassertemperatur, auf der Ordinate der Rohrabstand aufgetragen. Die verschiedenen Heizzustände der Decke ergeben sich aus den Schnittpunkten von einer Rohrabstandsordinate und einer Heizwasserabszisse.

Durch das Diagramm läuft eine dick ausgezogene Linie, die im folgenden als „Grenzkurve“ bezeichnet wird. Sie beginnt links unten bei dem Rohrabstand 15 cm mit der Heizwassertemperatur 42,5°C und endet rechts oben bei dem Rohrabstand 90 cm mit der Heizwassertemperatur 93°. Weiter sieht man eine Reihe von Geraden, die von der Grenzkurve annähernd parallel schräg nach rechts oben verlaufen. Sie gelten von links nach rechts für die Raumhöhen von 2,20—3,60 m, die längs der Grenzkurve angegeben sind. Diese Geraden werden im folgenden als „Höhengrenzlinien“ bezeichnet.

Die Erträglichkeit eines Heizzustandes der Decke ist nun einfach dann gegeben, wenn der Schnittpunkt der Rohrabstandsordinate mit der Heizwassertemperaturabszisse links von der Grenzkurve und links von der interessierenden Höhengrenzlinie liegt.

Die Heizzustände rechts von der dick ausgezogenen Grenzkurve sind deshalb unbehaglich, weil die ausgeglichene Bestrahlungstemperatur über 37° liegt. Die Heizzustände links von der Grenzkurve, aber rechts von den Höhengrenzlinien sind deshalb unbehaglich, weil die Bestrahlungstemperatur unterhalb der Deckentemperaturmaxima in Scheitelhöhe über 37° liegt, obwohl die ausgeglichene Bestrahlungstemperatur dabei unter 37° liegt.

Die Heizzustände, die die physiologisch maximal erträgliche Bestrahlungsstärke, d. h. eine mittlere Deckenunterflächentemperatur von 37° ergeben, liegen auf der dick ausgezogenen Grenzkurve. Folgt man der Grenzkurve von ihrem linken unteren Ende aufwärts, so ändert sich der Heizzustand der Decke in dem Sinne, daß mit weniger Rohren und höherer Heizwassertemperatur die gleiche mittlere Deckenunterflächentemperatur von 37°C erhalten bleibt. Man kann jedoch bei einer gegebenen Raumhöhe in dieser Vergrößerung des Rohrabstandes, d. h. in der Verringerung der Rohrzahl nur bis zu dem Punkt gehen, an dem die zugehörige Höhengrenzlinie die Grenzkurve trifft. Dieser Punkt gibt also den größtmöglichen Rohrabstand mit zugehöriger Heizwassertemperatur an, bei dem das physiologisch erträgliche Maximum der Deckenstrahlung vorliegt.

Alle Heizzustände links der Grenzkurve und der Höhengrenzlinien sind erträglich, realisieren aber weniger als 100% des physiologisch maximal erträglichen Wärmeüberganges durch Strahlung von der Decke an den Raum. Die in das Diagramm eingezeichnete Schar von gestrichelten

Kurven, die links von der Grenzkurve mit immer größerem Abstand verlaufen, sind Isothermen der mittleren Deckentemperatur, die von 10 zu 10% abnehmende Wärmeübergänge durch Strahlung ergeben. Die Lage der Schnittpunkte der Rohrabstandsordinate und Heizwassertemperaturabszisse in diesem Kurvenfeld zeigt also unmittelbar an, wieviel Prozent Strahlungswärme von der Decke an den Raum — bezogen auf das erträgliche Maximum bei 37°C mittlerer Deckenunterflächentemperatur — übergeht.

### Zusammenfassung

Es wird über Versuche in einem Raum mit warmwasserbeheizter Betondecke berichtet, aus denen sich folgende klimatechnische und klimaphysiologische Besonderheiten der Deckenheizung gegenüber der Radiatorenheizung ableiten lassen:

Bei angenehmer Temperierung des Versuchsraumes bestand bei beiden Heizungsarten im wesentlichen ein vertikales Lufttemperaturgefälle, das bei Radiatorenheizung von der Decke bis zum Boden ziemlich gleich ist, während es bei Deckenbeheizung mit der Höhe über dem Boden steiler wird.

Bei Radiatorenbeheizung waren die Wände, der Boden und die ihnen anliegenden Luftschichten bis zu 5° kälter, bei Deckenbeheizung dagegen bis zu 2° wärmer als die Luft in Raummitte.

Unter näher beschriebenen Versuchsbedingungen wurde das Klima im Raum von der überwiegenden Zahl einer größeren Gruppe von Vp. dann als angenehm bezeichnet, wenn die Lufttemperatur bei nicht geheizter Decke etwa zwischen 19 und 23°C lag. Bei einer mittleren Strahlungstemperatur der Decke von 37° wurden schon Lufttemperaturen zwischen 18 und 22° als „angenehm warm“ empfunden. Höhere Deckentemperaturen führten bei einer zunehmenden Anzahl der Vp. in zunehmendem Maße zu unangenehmen Erscheinungen am Kopf. Die Empfindungen, die die Vp. nach 5—10 min langem Aufenthalt in dem deckenbeheizten Raum hatten, änderten sich im Laufe einiger Stunden nicht. Die Behaglichkeitsgrenzen in Abhängigkeit von der Luft- und Deckentemperatur wurden in ein Diagramm gebracht.

Die Deckenheizung ist im physiologischen Sinne keine Strahlungheizung, da es praktisch nicht möglich ist, ein Zuviel der Wärmeabgabe des Menschen an die kalte Luft durch ein Mehr an Deckenstrahlung zu kompensieren. Sie ist im wesentlichen eine „Luftheizung“ von der Decke her.

Die Beziehungen zwischen der Behaglichkeitsgrenze bei Deckenheizung und dem Abstand der beheizten Rohre, der Heizwassertemperatur und der Raumhöhe wurden in einem Diagramm dargestellt.

### Literatur

ADLAM, T. N.: Zit. n. A. KOLLMAR: Die Installation 1953, 95. — ANDORFER, H.: Stramax-Mitteilungen 1954, H. 2, 3. — BAND, G.: Angew. Met. 2, 245 (1956). — BRÜGEL, W.: Physik und Technik der Ultrarotstrahlung. Hannover: C. R. Vincentz 1951. — BEDFORD, T.: Basic principles of ventilation and heating. London: H. K. Lewis a. Co. Ltd. 1948. — BURTON, A. C., and O. G. EDHOLM: Man in a cold environment. London: Edw. Arnold Ltd. 1955. — CHRENKO, F. A.: Brit. J. Psychol. Gen. Sect. 44, 248 (1953). — J. of the institution of heating and ventilating engineers 20, 375 (1953); 21, 145 (1953). — EBAUGH, F. G., and R. THAUER: J. Appl. Physiol. 3, 173 (1950). — KOLLMAR, A.: Die Strahlungsheizung. Berlin: Haenchen und Jäh 1953. — Gesh.ing. 1954, 22. — KOLLMAR, A., u. W. LIESE: Gesh.ing. 1955, 1. — NEWBURGH, J. H.: Physiology of heat regulation. Philadelphia: Saunders 1949. — NIELSEN, A., and L. PEDERSEN: Acta physiol. scand. (Stockh.) 27, 272 (1952). — PRECHT, H., J. CHRISTOPHERSEN u. H. HENSEL: Temperatur und Leben. Berlin Springer 1955 — ROOSE, H.: Schweizerische Blätter für Heizung und Lüftung 1938. — WINSLOW, C. E. A., and L. P. HERRINGTON: Temperature and human life. New Jersey: Princeton university press 1949.

Professor Dr. E. A. MÜLLER, Dortmund, Rheinlanddamm 201,  
Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie

