

Sind Kühldecken als Heizdecken einsetzbar?

Heizdecken finden infolge sehr enger wärmephysiologischer Grenzwerte bezüglich der zulässigen Strahlungsasymmetrie kaum noch Akzeptanz. Einerseits sind diese Grenzwerte nicht durchweg schlüssig abgeleitet, zum anderen erfordern heutige Bauten nur noch relativ niedrige Heizlasten und schließlich zeichnen sich Räume mit Kühldecken durch hohe innere Lasten aus, so daß kombinierte Kühl- und Heizdecken wärmephysiologisch vertretbar werden. Ironie der technischen Entwicklung: 1951 forderte Bilden in der HLH auf, die bewährten Heizdecken auch zur Raumkühlung zu nutzen. Heute wird aufgerufen, die bewährten Kühldecken auch zur Raumheizung heranzuziehen.

Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Hamburg

Früherer Einsatz von Heizdecken

Nachdem 1930 die erste deutsche Deckenheizung [1] (5/4" Rohrregister, Schwerkraftbetrieb) installiert war, erlebte dieses Heizsystem – ähnlich wie im westeuropäischen Ausland vorher – eine von vielen Architekten geförderte Verbreitung. Nach der kriegsbedingten Unterbrechung der Bautätigkeit war von Ende der 50er- bis Ende der 60er Jahre die Deckenheizung ein häufig eingesetztes, attraktives Heizsystem. Es handelte sich dabei um in Massivdecken einbetonierte Stahlrohrregister, um eingeputzte Kupferrohrregister und um untergehängte, vorgefertigte Deckensysteme. Viele dieser Systeme sind heute noch in Betrieb, so beispielsweise eine von ROM geplante und ausgeführte Zent-Frenger-Kassettendecke mit 23 000 m² aktiver Fläche in der Universität Hamburg.

Entsprechend der damaligen Gebäudebauweise waren der spezifische Wärmebedarf und damit auch die spezifische Heizleistung der Decke sehr hoch. Die Auslegungsdiagramme in [1] zeigen Wär-

mestromdichten von 120 ... 250 W/m². Die angegebenen Heizflächenübertemperaturen liegen dabei zwischen 13 K und 27 K, woraus Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha > 9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ resultieren. Der konvektive Anteil von etwa $\alpha_k = 4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ist unrealistisch. Er dürfte in der Größenordnung von maximal $\alpha_k = 2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ liegen. Unter der Voraussetzung, daß die angegebenen Leistungen erbracht werden, gehören dann Übertemperaturen von etwa 17 K bis 34 K dazu.

Als wärmephysiologisch anerkanntes Auslegungskriterium bezüglich zulässiger Deckentemperatur fanden die sogenannten Chrenko-Kollmar-Kurven A und B (Bild 1) Anwendung. Relevanter Eingangsparameter war dabei die Einstrahlzahl eines symmetrisch und parallel zur Decke angeordneten Flächenelementes, welches die Schädeldecke des Menschen repräsentiert, auf die Heizfläche.

Bei den realisierten hohen Heizleistungen war es nicht immer möglich, die Chrenko-Kurven einzuhalten. Es sei auch nicht verschwiegen, daß über die Deckenheizungen wärmephysiologische Beschwerden geführt wurden. Sie sind jedoch – zumindest in einigen Fällen – zu relativieren, da die aufgeführten Beschwerden auch bei nachweislich abgestellter Anlage auftraten; ein Umstand, der Befragungen nach der Behaglichkeit immer wieder anhafte.

Behaglichkeitskriterien für thermisch aktive Umfassungen

Entscheidend bei der wärmephysiologischen Beurteilung von thermisch aktiven Flächen ist die Strahlungsasymmetrie, die auf den Menschen wirkt. Eine geschlossene Darstellung der Zusammenhänge für gekühlte und geheizte Wände bzw. Decken wird von Fanger/Ipsen/Langkilde/Olesen/Christensen/Tanabe [2] vorgelegt. Der im Bild 2 dargestellte Zusammenhang fand weltweite Verbreitung und Eingang in Normen (z. B. DIN 1946, Teil 2). Die Rückverfolgung über das Zustandekommen dieser Aussagen zeigt die schmale Basis. Die abgeleiteten Umrechnungen und Extrapolationen gestalten die Aussagen keineswegs sicherer. Dies dürfte den Anwendern der Ergebnisse nicht immer voll bewußt sein.

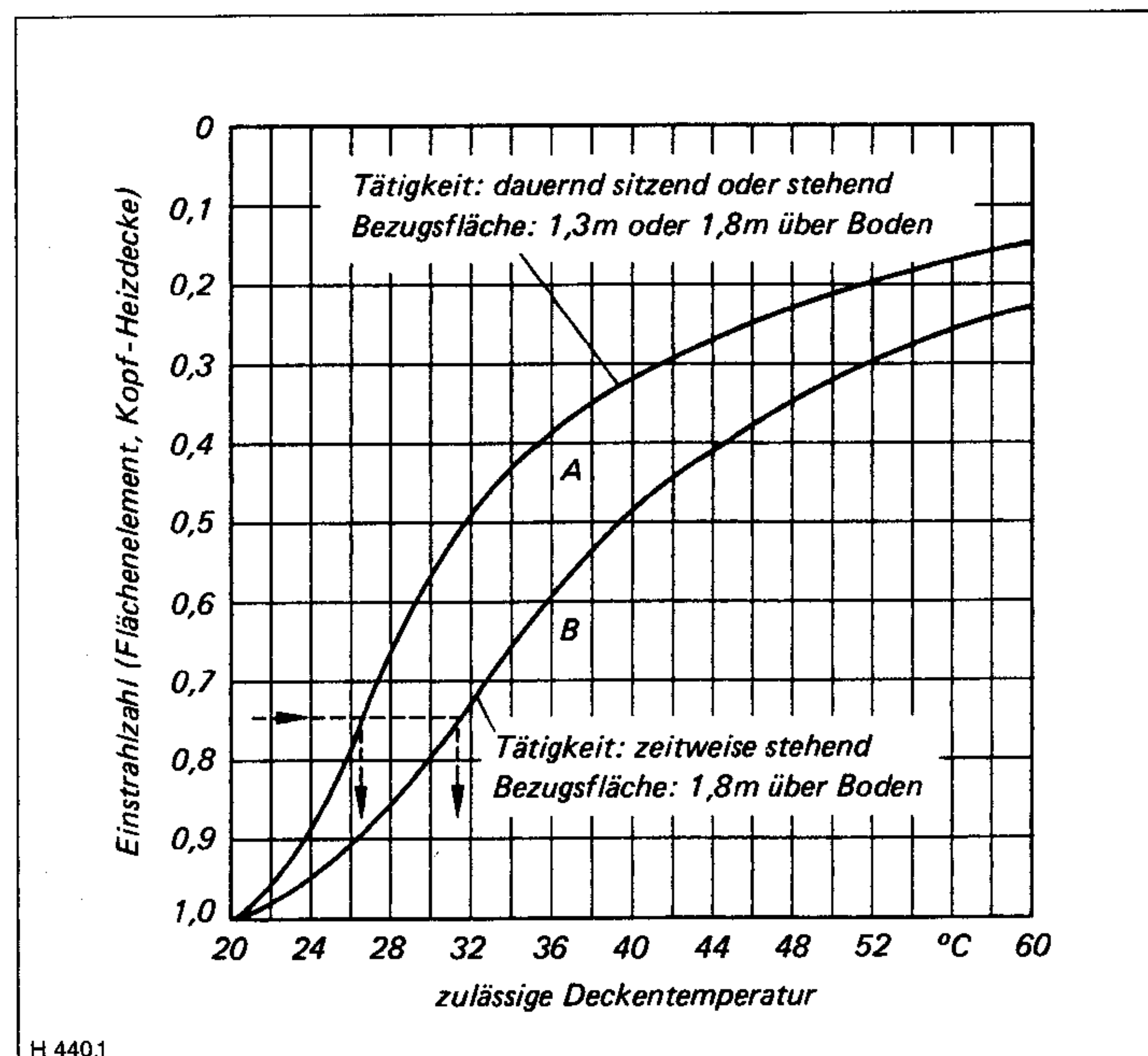
1. Die Anzahl der Versuchspersonen war relativ klein (32 Personen bei Kühlwänden, 16 Personen bei Kühldecken, Heizwänden sowie Heizdecken) und die Altersgruppe eng begrenzt (19 bis 25 Jahre).

2. Die Untersuchungen für Heizdecken wurden zu einer früheren Zeit vorgenommen [3], wobei die Geometrie der Heizdecke völlig anders gestaltet war, als die der später beurteilten Kühldecke (Bild 3).

Die Strahlungsasymmetrie, die der Kopf bei der Heizdeckenanordnung empfindet (Schädeldecke empfängt Zustrahlung, Gesicht strahlt zur kühleren Umgebung ab), ist auf jeden Fall ungünstiger als bei der teilweisen Umschließung des Kopfes bei der Kühldeckenanordnung (Schädeldecke und Gesicht strahlen zu den gekühlten Flächen ab).

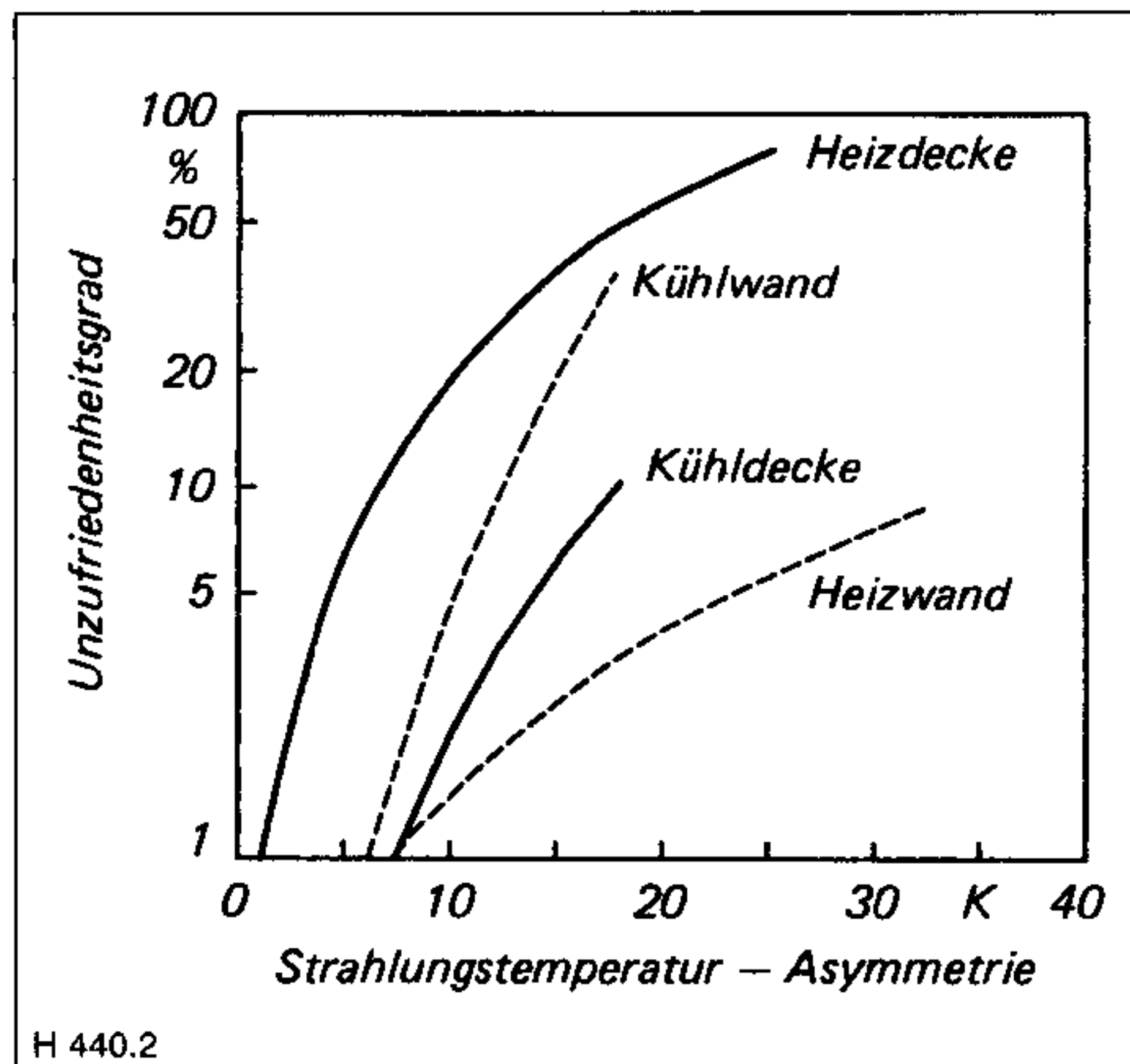
3. Die Definition der Strahlungstemperatur-Asymmetrie, bezogen auf ein Flächenelement in 0,6 m Höhe über Fußboden, hat z. B. mit dem Empfinden der Strahlungsasymmetrie des Kopfes nur eine sehr schwache Korrelation.

4. Die Aussagen der Probanden waren sehr unsicher. So empfanden gemäß der ermittelten Regressionskurve im Versuchsstand „Deckenheizung“ 5% und im Versuchsstand „Wandheizung“ 3% jeweils bei 0 K Strahlungsasymmetrie thermischen Diskomfort. Um diese offensichtliche „Falschempfindung“ zu korrigieren, verschob man die Kurven um 5% bzw. 3% Unzufriedener.



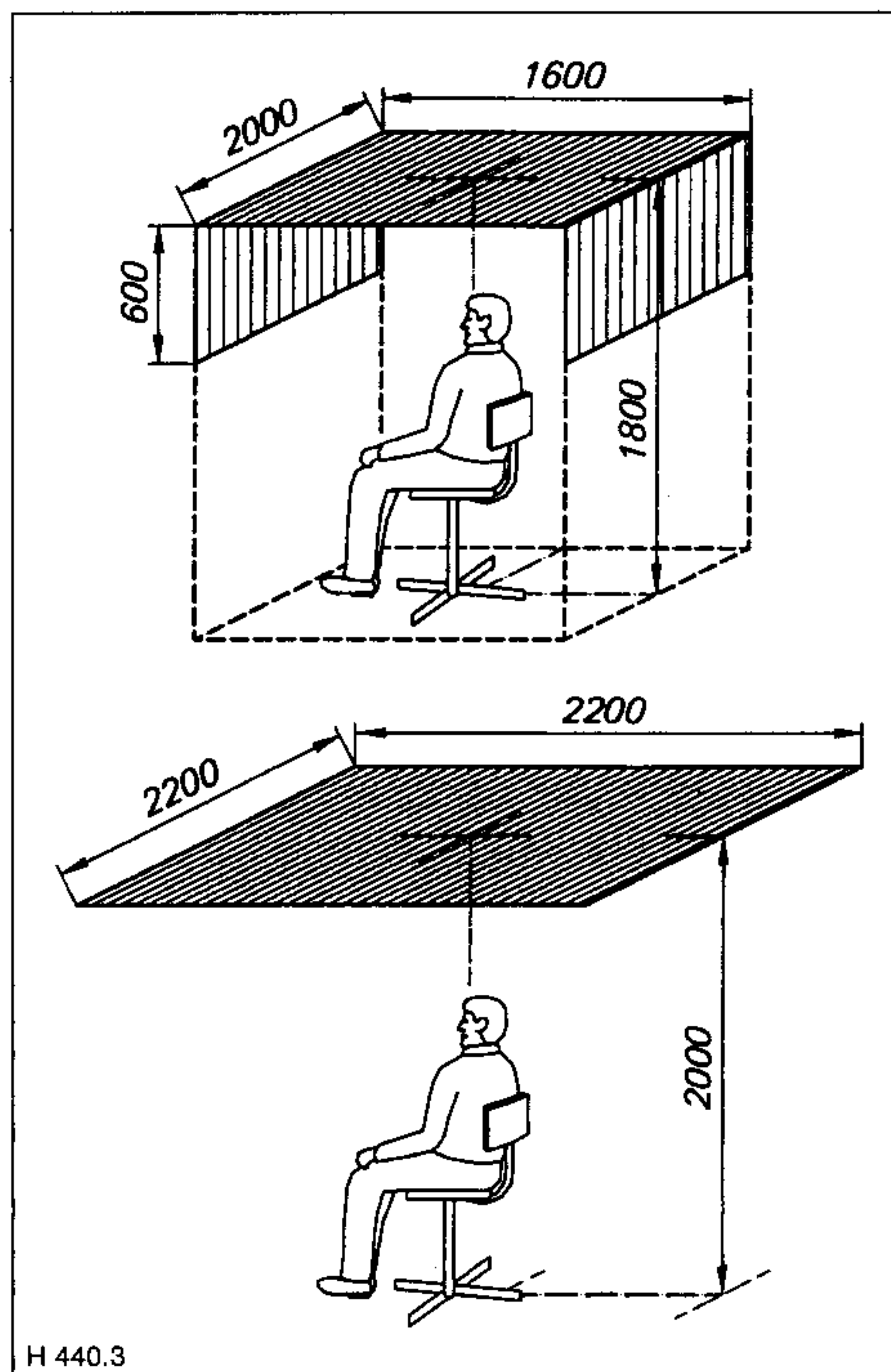
64 Bild 1: Zulässige Deckentemperatur bei 20 °C-Raumtemperatur nach Chrenko-Kollmar [1].

Bild 2: Zulässige Strahlungstemperatur-Asymmetrie bezogen auf ein Flächenteilchen in 0,6 m Höhe über dem Fußboden (Anordnung waagrecht bei Deckenheizung und -kühlung; Anordnung senkrecht bei Wandheizung und -kühlung) nach [2].



H 440.2

Bild 3: Versuchsanordnung zur Ermittlung der zulässigen Strahlungstemperatur-Asymmetrie bei Kühldecken (oben) und Heizdecken (unten) gemäß [2] bzw. [3].



H 440.3

Aus den geschilderten Versuchsanordnungen und Auswertungen entstand **Bild 2**. Daß sich die Kurve für die Heizdecken überhaupt nicht in die späteren Ergebnisse für Kühlwände, Kühldecken und Heizwände eingliedert, liegt vermutlich vor allem an Punkt 2 (unterschiedliche Geometrie der thermisch aktiven Flächen).

Ebenso wichtig wie die Aussage der unzufriedenen Rauminnsassen in Abhängigkeit der Strahlungstemperatur-Asymmetrie (**Bild 2**), ist die Definition der Strahlungstemperatur-Asymmetrie selbst. Nach *Fanger/Bánhidí/Olesen/Langkilde* [3] ist die Strahlungstemperatur-Asymmetrie der Unterschied der Strahlungstemperaturen der umgebenden Flächen bezogen auf die beiden Seiten eines Flächenelementes, das sich in 0,6 m Höhe über dem Fußboden (Mitte des menschlichen Körpers bei Sitzposition) befindet. Bei einer Heiz- oder Kühldecke ist das Element waagrecht, bei Heiz- oder Kühlwänden senkrecht anzuordnen.

In der Praxis sind die „kalten“ und „warmen“ Flächen meistens rechtwinklig zueinander orientiert (Fußboden- oder Deckenheizfläche zu kalter Außenwand; Kühldeckenfläche zu warmer Außenwand). Aus diesem Grund müßte die Strahlungstemperatur-Asymmetrie umfassender definiert sein, z. B. nach [4] bezogen auf würfelförmige Elemente.

Aus anderen, vor 1973 vorgenommenen Messungen und wärmetechnischen Vergleichsrechnungen leiteten *Olesen/Fanger/Jensen/Nielsen* [5] für die obere Grenze einer zulässigen, lokalen Strahlung für den bekleideten, sitzenden Menschen in thermisch

neutraler Umgebung bei ruhender Luft die folgende Ungleichung ab:

$$-2,5 - 1,2(1 - f_{KL}) - 1,8 R_{KL} \leq \Phi_{M,S} \Delta t_{S,zul} \leq 4 + 1,2(1 - f_{KL}) + 1,8 R_{KL} \quad (1)$$

„Strahlungskühlung“ „Strahlungsheizung“

f_{KL} Verhältnis der Oberflächen des bekleideten zum nackten Menschen

R_{KL} Bekleidungswert in clo

leichter Arbeitsanzug: $R_{KL} = 0,6$ clo $f_{KL} = 1,10$

Büroanzug: $R_{KL} = 1$ clo $f_{KL} = 1,15$

$\Phi_{M,S}$ Einstrahlzeit des Menschen M auf die thermisch aktive Fläche S (Kühl- oder Heizfläche)

Werte sind in *Fanger/Angelijs/Kjerulf-Jensen* [6] für den stehenden, sitzenden und sich um seine Vertikalachse drehenden Menschen angegeben. Nach *Windisch* [7] kann in guter Näherung die Einstrahlzahl eines Kugelelementes φ^0 in 1 m Höhe verwendet werden

$\Delta t_{S,zul}$ zulässige Temperaturdifferenz (Absolutwert) zwischen der Oberflächentemperatur t_s der Fläche S und der mittleren Umgebungstemperatur t_u , in der auch t_s enthalten ist, in K.

Die Ableitung in [5] zeigt, daß eine Untermuerung durch weitere Meßwerte notwendig wäre. Für die Formulierung der rechten Gleichungsseite in Gl. (1) standen lediglich zwei Meßwerte zur Verfügung!

Da die in Gl. (1) verwendete Einstrahlzahl des Menschen $\Phi_{M,S}$ wenig aussagekräftig ist, z. B. bezüglich der Behaglichkeit in Kopfhöhe, und wegen der mangelnden Vergleichbarkeit dieser Definition der Strahlungsasymmetrie mit den früheren, sehr praktikablen Aussagen *Chrenkos*, haben *Olesen/Fanger/Jensen/Nielsen* [5] schon sehr frühzeitig Umrechnungen der für „Körpermitte“ geltenden Werte auf die zur Strahlungsquelle ungünstiger positionierten Körperflächen, vorgenommen.

Aus Gl. (1) entstand für $R_{KL} = 1$ clo

$$-8,4 \leq \varphi_{M,S} \Delta t_{S,zul} \leq 11,3 \quad (2)$$

$\varphi_{M,S}$ Einstrahlzahl eines Flächenelementes des menschlichen Körpers M (z. B. der Schädeldecke) auf die thermisch aktive Fläche S (Kühl- oder Heizfläche).

Dieser Gleichung wurde ein Diskomfortgrad von 5% zugeordnet. Sie ist in **Bild 4** für die Strahlungsheizung ausgewertet. Weiterhin sind Ergebnisse von *Bánhidí* und *Chrenko* ergänzt [5]. Die *Chrenko*-Kurve weicht von **Bild 1** etwas ab, da die Umrechnung der Temperaturdifferenz $(t_{Decke} - t_{Raum})_{zul}$ auf $\Delta t_{S,zul}$ nicht ohne konkrete Raumgeometrie möglich ist. Dies ist auch die Ursache, warum sich Kurve (4) von Kurve (6) nach *Windisch* [7] – ebenfalls auf der Grundlage der Gl. (1) für $R_{KL} = 1$ clo zu

$$\varphi_{M,S} \Delta t_{S,zul} \leq 15,8 \quad (3)$$

ermittelt – unterscheidet.

Insgesamt sind die Angaben sehr unbefriedigend:

- Die Strahlungsasymmetrie nach **Bild 2** läßt keine Extrapolationen für das Empfinden des menschlichen Kopfes zu. Weiterhin sind die Ergebnisse für Deckenheizung und Deckenkühlung wegen der Verschiedenartigkeit der getroffenen Flächenanordnungen nicht vergleichbar.

- Die Aussagen der Gl. (1) werden in den letzten Jahren von *Fanger* nicht mehr erwähnt, es ist auch kein Bezug zu **Bild 2** möglich. Eine Umrechnung auf exponierte Körperpartien ist zwar durchführbar, gestattet aber einen sehr großen Interpretationsspielraum.

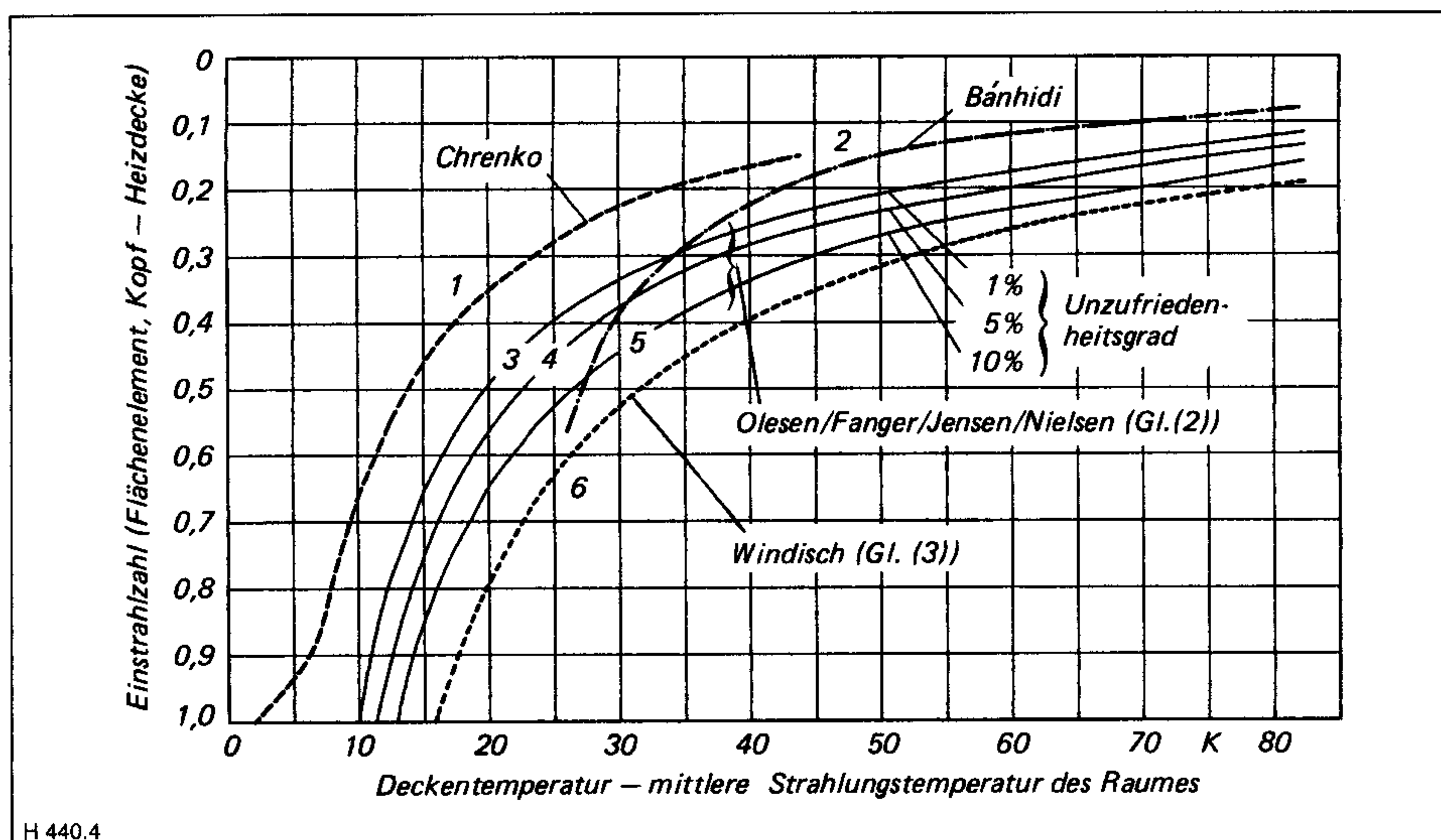


Bild 4: Zulässige Temperaturdifferenzen zwischen der Strahlungsheizfläche und der mittleren Strahlungstemperatur des Raumes in Abhängigkeit der Einstrahlzahl eines exponierten Flächenteilchens der menschlichen Oberfläche auf die Strahlungsheizfläche.

Einsatz von Heizdecken unter derzeitigen Bedingungen

Für moderne Bauten – gemäß Wärmeschutzverordnung errichtet – liegt der spezifische Wärmebedarf bei höchstens 40% der früheren Werte. Die nachfolgende Abschätzung soll die realen Verhältnisse für ein Bürogebäude verdeutlichen:

Geschoßhöhe: $H = 3 \text{ m}$

Raumtiefe: $T = 6 \text{ m}$

Mittlerer k -Wert der Gebäudehülle

(Fenster: $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; Wand: $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$):

$k_m = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Raumtemperatur: $t_i = 20^\circ\text{C}$; Außenlufttemperatur: $t_a = -15^\circ\text{C}$

Quellüftung: $V = 5 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$; Untertemperatur: $\Delta t_u = 3 \text{ K}$

Wärmebedarf für $B = 1 \text{ m}$ Fassadenbreite:

$$\dot{Q}_{B=1\text{m}} = HBk_m(t_i - t_a) + TB\dot{V}\rho c\Delta t_u = (3 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 35 + 6 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot 3/3600) \text{ W} = 177 \text{ W}.$$

Die spezifischen Leistungen der Deckenheizung betragen bei Vollbelegung:

$$\dot{q}_v = 177/6 \text{ W}/\text{m}^2 = 30 \text{ W}/\text{m}^2.$$

Teilbelegung (halbe Raumtiefe):

$$\dot{q}_T = 177/3 \text{ W}/\text{m}^2 = 59 \text{ W}/\text{m}^2.$$

Setzt man den Gesamtwärmeübergangskoeffizienten mit nur $\alpha = 6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ an, so folgen Deckenübertemperaturen bei Vollbelegung:

$$\Delta t_{D,v} = 30/6 \text{ K} = 5 \text{ K}$$

Teilbelegung:

$$\Delta t_{D,T} = 59/6 \text{ K} = 10 \text{ K}.$$

Für die ungünstigste Geometrie eines unendlich breiten Raumes (Großraumbüro) gelten im Falle der Teilbelegung die im Bild 5 eingetragenen Einstrahlzahlen. In Verbindung mit den Oberflächentemperaturen folgen die Strahlungstemperaturen bezogen auf das Flächenelement dA

Oberseite:

$$t_{S,dA,o} = \{[0,235 (273 + 12)^4 + 0,530 (273 + 30)^4 + 0,235 (273 + 20)^4]^{0,25} - 273\}^\circ\text{C} = 23,7^\circ\text{C}$$

Unterseite:

$$t_{S,dA,u} = \{[0,964 (273 + 20)^4 + 0,036 (273 + 17)^4]^{0,25} - 273\}^\circ\text{C} = 19,9^\circ\text{C}.$$

Die Strahlungstemperatur-Asymmetrie beträgt

$$66 \Delta t_{S,vorh} = t_{S,dA,o} - t_{S,dA,u} = (23,7 - 19,9) \text{ K} = 3,8 \text{ K}.$$

Gemäß Bild 2 wird damit der für 5% Unzufriedene gegebene Grenzwert von 4 K sogar noch unterschritten. Es ist leicht einzusehen, daß bei höheren Außentemperaturen, niedrigeren k -Werten, inneren Wärmequellen, real-breiten Räumen usw. sich die Strahlungsasymmetrie weiter verringert.

Wird das Flächenteilchen in einer Höhe von 1,3 m platziert (Schädeldecke des sitzenden Menschen), so ergibt sich auf die Heizdecke S eine Einstrahlzahl von $\varphi_{dA-S;1,3\text{m}} = 0,66$. Gemäß Bild 4 darf die Übertemperatur der Heizfläche nach Chrenko $\Delta t_{S,zul} = 10 \text{ K}$, nach Fanger (Aussage von 1973) $\Delta t_{S,zul} = 17 \text{ K}$ betragen. Vernachlässigt man in diesem Fall den geringen Unterschied zwischen Raumtemperatur und mittlerer Strahlungstemperatur des Raumes bezogen auf den Standort des Betrachters, so liegt die vorhandene Deckenübertemperatur $\Delta t_{D,T} = \Delta t_{S,vorh} = 10 \text{ K}$ im zulässigen Bereich.

Lediglich die Chrenko-Kollmar-Kurve A nach Bild 1 begrenzt die Übertemperatur auf 8 K; läßt aber als Auslegungs-Außentemperatur für die wärmephysiologische Überprüfung $t_a = -5^\circ\text{C}$ zu. In diesem Fall wäre nur eine Deckenübertemperatur $\Delta t_{D,T;-5^\circ\text{C}} = 7,5 \text{ K}$ erforderlich. D. h., die Deckenteilbeheizung würde allen bekannten wärmephysiologischen Grenzwerten gerecht.

Bei der Volldeckenheizung liegen erwartungsgemäß die Werte bezüglich der Strahlungsasymmetrie günstiger. Für drei Standorte sind die vorhandenen und zulässigen Werte im Bild 6 gegenübergestellt.

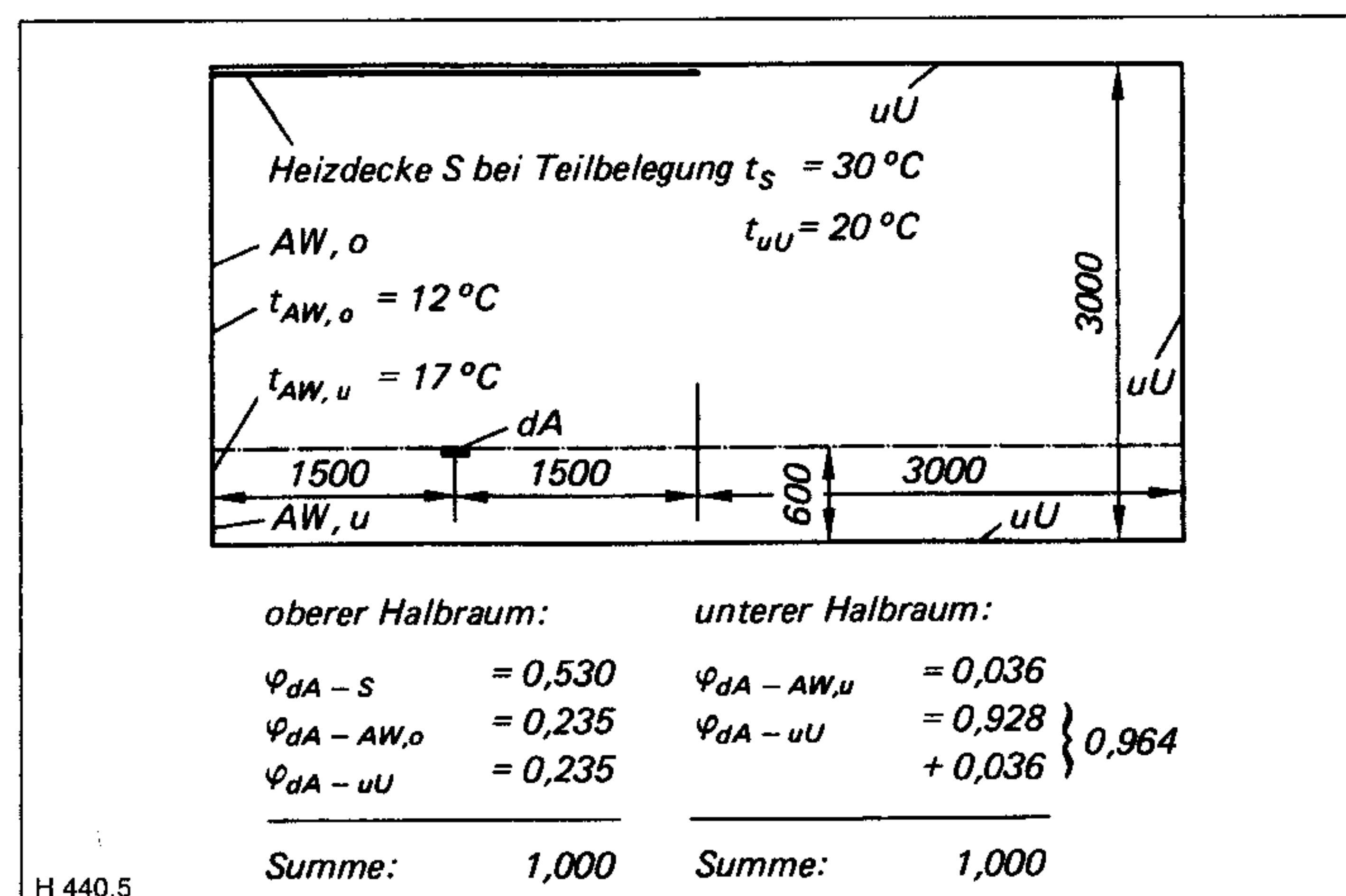


Bild 5: Schnitt durch ein Großraumbüro unendlicher Breite mit Heizdecken-Teilbelegung und Kennzeichnung der Umfassungen sowie deren Oberflächentemperaturen (S – Strahlungsfläche; AW, o – Außenwand, oben; AW, u – Außenwand, unten; uU – unbeheizte Umgebung). Im unteren Bildteil sind die Einstrahlzahlen der Flächenelemente dA auf die einzelnen Umfassungsflächen aufgelistet.

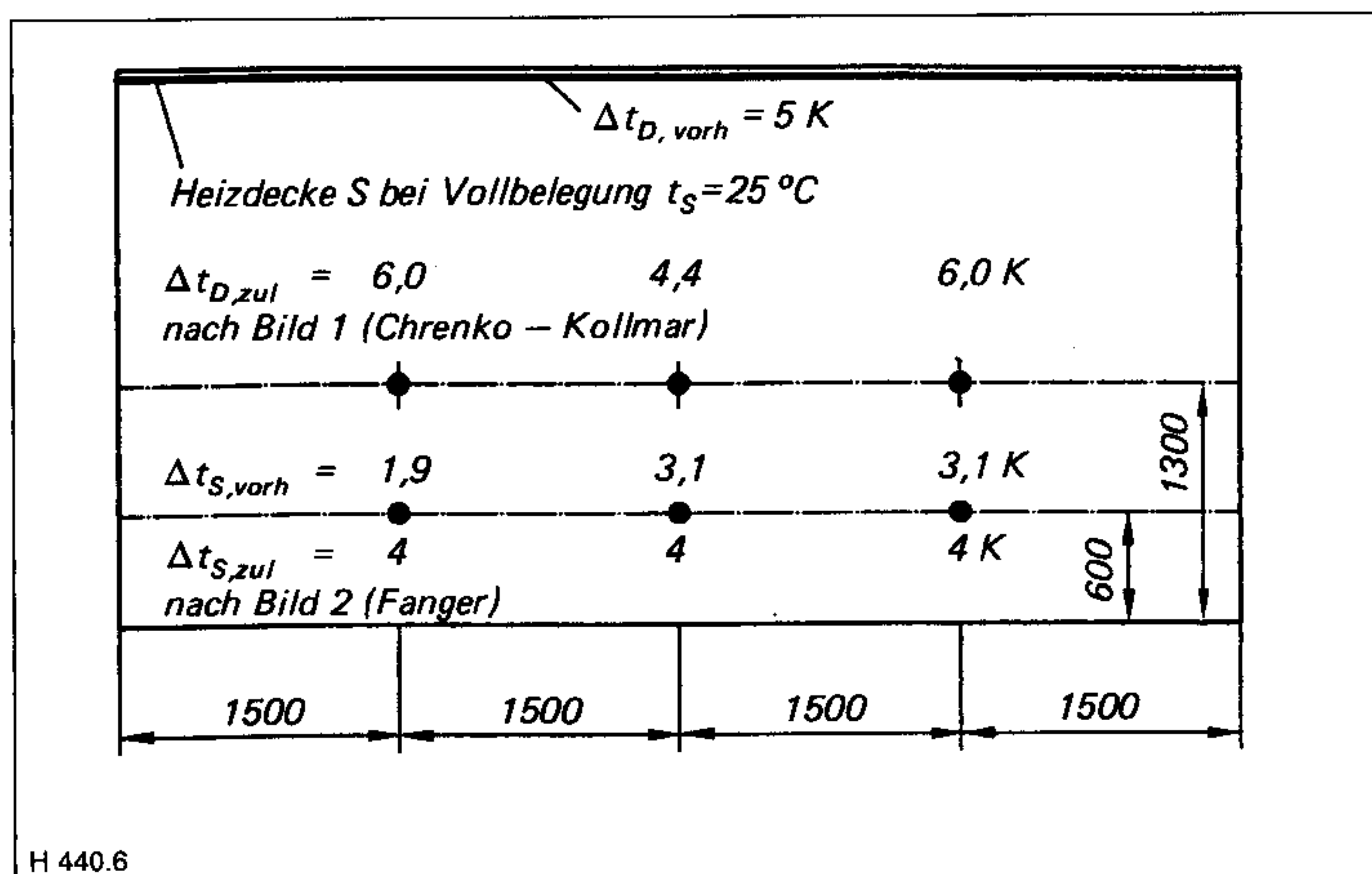


Bild 6: Schnitt durch ein Großraumbüro unendlicher Breite mit Heizdecken-Vollbelegung und Angabe der vorhandenen und zulässigen Strahlungstemperatur-Asymmetrien nach Bild 2 sowie der vorhandenen und zulässigen Deckentemperatur nach Bild 1.

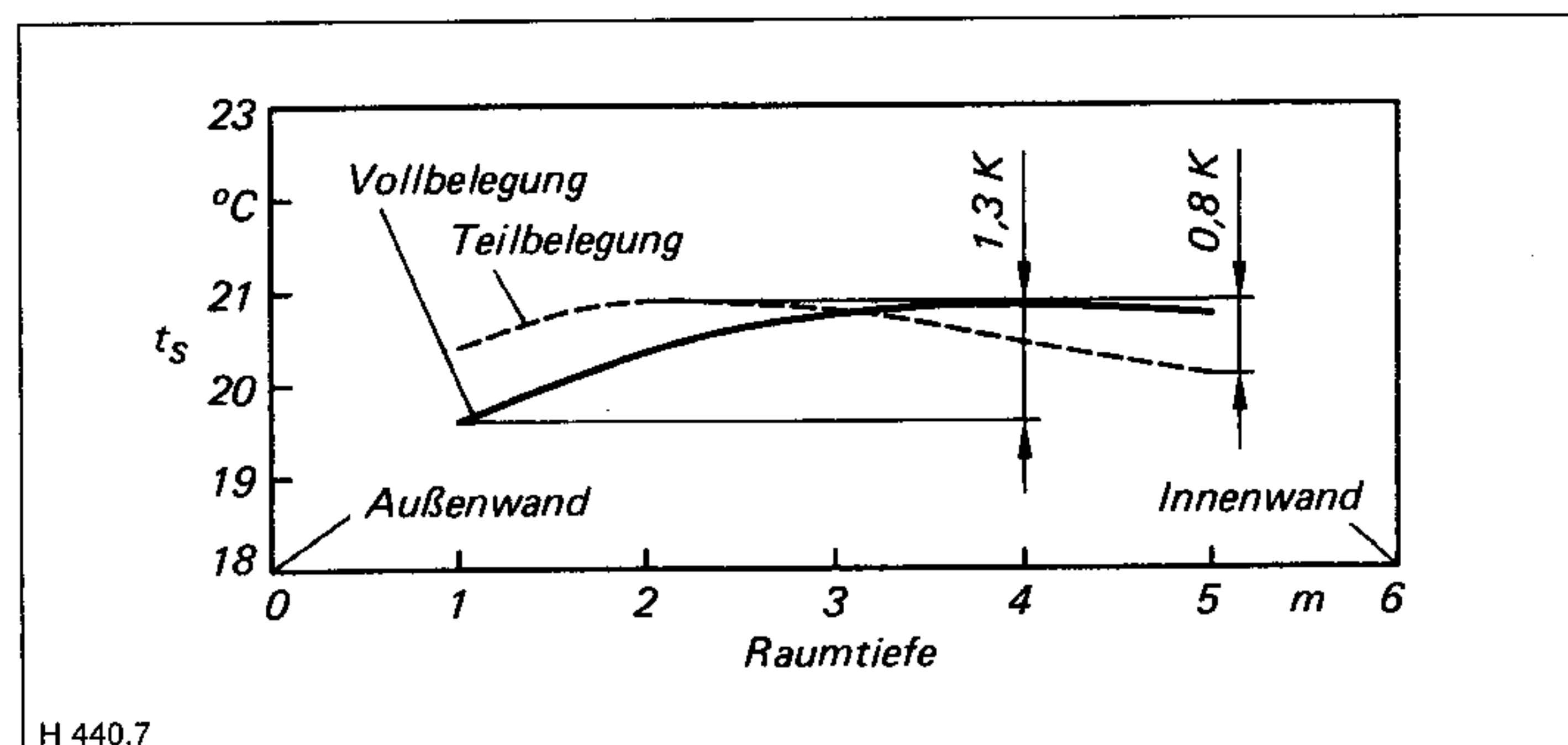


Bild 7: Standortabhängige Strahlungstemperatur - bezogen auf ein kugelförmiges Element in 1 m Höhe über Fußboden - bei Heizdecken-Teilbelegung bzw. Vollbelegung gemäß der Bilder 5 und 6.

Anordnung der beheizten Deckenfläche

Aus der Sicht der Strahlungsasymmetrie ist die Teil- oder Vollbelegung der Decke mit aktiven Elementen möglich, wobei die Vollbelegung etwas günstigere Ergebnisse erwarten läßt. In erster Linie ist aber die Gleichheit der Empfindungstemperatur an jeder Stelle des Raumes für das thermische Wohlbefinden maßgebend. Da sich die Empfindungstemperatur bei modernen RLT-Anlagen infolge der geringen Luftgeschwindigkeiten in guter Näherung paritätisch aus der Luft- und Strahlungstemperatur [8] ergibt, und die Lufttemperatur nur in der Fallströmung unmittelbar an der Außenwand vom Raummittelwert abweicht, genügt es, die Verteilung der Strahlungstemperatur längs der Raumtiefe zu untersuchen. Sie wird auf ein Kugelelement in 1 m Höhe bezogen. Das Ergebnis - wiederum für den ungünstigsten Fall eines unendlich breiten Raumes - ist aus Bild 7 ersichtlich. Die Brüstungshöhe wurde im Gegensatz zu Bild 5 der Einfachheit halber in 1 m Höhe gelegt. Verglichen wird die Teildeckenbelegung bis zur Raummitte mit der Volldeckenbelegung. Die Unterschiede zwischen maximaler und minimaler Strahlungstemperatur betragen bei der Teilbelegung 0,8 K und bei der Vollbelegung 1,3 K. Die Empfindungstemperatur würde dann unter Annahme einer nahezu ortsunabhängigen Lufttemperatur nur um 0,4 K bzw. 0,7 K schwanken. Beide Unterschiede sind ohne weiteres vertretbar. Der Verlauf der Strahlungstemperatur ist bei Teilbelegung günstiger.

Genauere Untersuchungsmöglichkeiten für endlich breite Räume sind in [4; 9; 10] angegeben.

Fazit

Schlußfolgernd ist festzustellen, daß geschlossene Kühldecken mit aufliegender Wärmedämmung ohne weiteres als Deckenstrahlungsheizungen betrieben werden können. Offene Kühldeckensysteme eignen sich weniger gut, Kühlkonvektoren sind für Heizzwecke nicht einsetzbar. Die Kühldeckenfläche ist zu segmentieren und umschaltbar an Kalt- und Warmwassersysteme anzuschließen. In der Regel sollte längs der Außenwand ein Heizstreifen vorgesehen werden, dessen Tiefe etwa der Geschoßhöhe entspricht. Damit ist der Wärmeverlust durch die Außenwand auf kürzester räumlicher Distanz kompensierbar. Die Segmentierung der Heiz- bzw. Kühlfläche mit getrennten Regelkreisen ist auch aus energetischen Gründen vorteilhaft, da es bei Großraumbüros durchaus Lastfälle gibt, die gleichzeitig im Außenwandbereich Heizbetrieb und im Rauminnen Kühlbetrieb erfordern. Eine intelligent programmierte DDC sichert einen optimalen Betrieb.

Generell werden Kühldecken nur in Räumen mit relativ hohen inneren Wärmelasten installiert. Diese Lasten reduzieren natürlich auch die winterliche Heizlast oder kompensieren sie vollkommen. Die volle Heizleistung wäre somit nur während der arbeitsfreien Zeit bei minimalen Außentemperaturen (durchgehender Heizbetrieb) bzw. während der Anheizphase zu realisieren. Je nach Lüftungskonzept könnte bei diesen Betriebszuständen auch die Zuluft mit Übertemperatur eingeblasen werden. Die bei üblichen Deckenheizungen zu beachtenden wärmephysiologischen Kriterien sind somit in Räumen, die man tatsächlich für Kühldeckenbetrieb ausgelegt hat, nur noch von untergeordneter Bedeutung.

Zusammenfassend ein „JA“ zur kombinierten Kühl- und Heizdecke. Die Technik des Umschaltbetriebes muß natürlich beherrscht werden. Die Systemlösung wird bedeutend anspruchsvoller, und die Kosten steigen gegenüber einer Nur-Kühldecke an. Der Wegfall des separaten Heizsystems mit örtlichen Raumheizflächen bietet andererseits einen höheren Nutzerkomfort sowie Material- und Kostenreduzierungen. Insgesamt sind intelligentere und effizientere Gesamtanlagen zu erwarten. [H 440]

Literaturangaben

- [1] Kollmar, A. u. W. Liese: Strahlungsheizung 4. Aufl. München: Oldenbourg 1957.
- [2] Fanger, P. O., B. M. Ipsen, G. Langkilde, B. W. Olesen, N. K. Christensen u. S. Tanabe: Comfort Limits for Asymmetric Thermal Radiation. Energy and Buildings 8 (1985) S. 225/236.
- [3] Fanger, P. O., L. Bánhidí, B. W. Olesen u. G. Langkilde: Comfort Limits for Heated Ceilings. ASHRAE Trans. 86 (2) (1980) S. 141/156.
- [4] Glück, B.: Bewertungsmaßstab zur optimalen Anordnung von Heiz- und Kühlflächen im Raum. Gesundheits-Ingenieur (1991) Heft 2, S. 65/71.
- [5] Olesen, S., P. O. Fanger, P. B. Jensen u. O. J. Nielsen: Comfort limits for Man exposed to Asymmetric Thermal Radiation. Symposium: Thermal Comfort and Moderate Heat Stress, Buildings Research Station, London, September, 1972. Published by HMSO 1973 S. 133/148.
- [6] Fanger, P. O., O. Angelius u. P. Kjerulf-Jensen: Radiation Data for the Human Body. ASHRAE Trans. 76 (2) (1970) S. 338/373.
- [7] Glück, B.: Strahlungsheizung - Theorie und Praxis. Berlin: Verlag für Bauwesen und Karlsruhe: Verlag C. F. Müller 1982.
- [8] Glück, B.: Empfindungstemperatur und ihre Meßbarkeit. Gesundheits-Ingenieur (1993) Heft 3, S. 134/142.
- [9] Glück, B.: Heizen und Kühlen über Wand- und Deckenflächen. HLH 42 (1991) Heft 9, S. 502/508.
- [10] Glück, B.: Kriterien zum Einsatz thermisch aktiver Flächen. Stadt- und Gebäudetechnik (1992) Heft 5, S. 188/195.