

flächen zu unbehaglich wirkenden Kaltluftbewegungen im Raum führen. Dies tritt bei Windanfall noch stärker in Erscheinung, wenn die Fenster undicht sind und dann infolge der zu beiden Seiten der Fenster bestehenden Druckdifferenz ein mehr oder weniger großer Luftaustausch mit dem Freien erfolgt. Vorschriften über die Dichtigkeit und die Größe der Fenster bestehen z.Z. nicht. Es ist daher möglich, durch Wahl so großer Fenster, daß die Wände nahezu verschwinden, die Vorschriften über die Wärmedämmung der Wände praktisch illusorisch zu machen.

Aus dem Hygiene-Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
Direktor: Prof. Dr. H. Habs

Hygienische Anforderungen an das Wohnraumklima

Von E. Effenberger¹

Zusammenfassung

Das Wohnraumklima wird durch die Faktoren Temperatur, Wasserdampfgehalt und Bewegung der Luft sowie Temperatur der raumumschließenden Flächen erfaßt. Nach kurzer Darstellung des Wärmehaushaltes des Menschen wird der Begriff der Behaglichkeit kritisch behandelt. Unter bestimmten Voraussetzungen kann das Raumklima durch die Temperatur allein schon hinreichend genau angegeben werden. Heute werden für Wohnräume Temperaturen von 20–22°C, für Baderäume 22–23°C und für Schlafzimmer, Flure und Nebenräume 12°C verlangt. Für die Wertepaare Temperatur und relative Feuchtigkeit der Luft sind Behaglichkeitsfelder angegeben. Auf Sonderfälle, wie zu hohe und zu niedrige relative Feuchtigkeit der Luft, besondere Strahlungssituationen, die Fußbodenheizung und Bewegung der Raumluft, wird kurz eingegangen.

Résumé

Le climat à l'intérieur d'une pièce est déterminé par la température, l'humidité et les mouvements de l'air ainsi que par les températures des surfaces environnantes.

Après un bref exposé sur la thermorégulation de l'homme, l'auteur discute de la notion des sensations de confort. Dans certaines conditions, le climat d'une pièce peut être jugé au moyen des valeurs de la température de l'air seule. On exige aujourd'hui en général pour des pièces d'habitation des températures variant entre 20 et 22°C, pour des salles de bain des valeurs de 22 à 23°C et pour des chambres à coucher, les corridors et les pièces accessoires des valeurs de 12°C. Quant aux relations entre température et humidité relative de l'air, l'auteur donne des valeurs paires que l'on peut considérer confortables.

Pour terminer, l'on trouvera quelques indications sur des situations particulières (p. ex. humidité relative de l'air très haute ou très basse, rayonnement de chaleur intense, chauffage par le sol, courants d'air dépassant la normale).

¹ Adresse: Professor Dr. Dr. Ernst Effenberger, Hygiene-Institut, Universität, Bonn.

Die Wohnung soll dem Menschen Schutz vor den Umwelteinwirkungen gewähren und ihm eine persönliche Sphäre schaffen, in der er sich nach seiner beruflichen Tätigkeit zur Entspannung und Erholung zurückziehen, bzw. in der er seinen geistigen und sonstigen Interessen nachgehen kann. Von der Güte der Wohnung hängt der Erholungseffekt und somit die Leistungsfähigkeit des Menschen wesentlich ab. Durch die Schaffung eines Kleinklimas in Form der Wohnung (Wohnraumklima) und eines Mikroklimas durch die Kleidung, schützt sich der Mensch vor den Witterungsunbilden. Nur durch diese Maßnahmen war es ihm möglich, die gemäßigten und kalten Klimazonen der Erde zu besiedeln.

Die hygienischen Grundforderungen, die an eine Wohnung gestellt werden, sind optimale raumklimatische Verhältnisse, Lärmfreiheit, optimale Beleuchtungsverhältnisse und eine dem Bildungsstand des Menschen angemessene Einrichtung. In der vorliegenden Arbeit soll zum Problem der raumklimatischen Verhältnisse Stellung genommen werden, wobei auch nur einige Fragestellungen herausgegriffen werden konnten.

I. Begriff des Wohnraumklimas

Entsprechend dem Klima versteht man unter Wohnraumklima den Zustand der Raumluft und der raumumschließenden Flächen, der durch den zeitlichen Verlauf der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Luft und des Temperatur-Verlaufes der raumbegrenzenden Flächen gegeben ist. Gelegentlich werden in unkorrekter Weise bei der Kennzeichnung eines Wohnraumklimas auch der Lärmpegel oder noch andere Umweltfaktoren mit berücksichtigt. Man spricht z.B. sogar von einem «Arbeitsklima» und versteht darunter mehr oder weniger nur die gesellige Komponente im dienstlichen Zusammenleben der Betriebsangehörigen.

Das eigentliche Raumklima wird somit durch die Faktoren Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit (meistens als relative Luftfeuchtigkeit der Luft angegeben), Luftbewegung, Strahlungsverhältnisse im Raume (raumumschließende Flächen und Heizungsanlagen) und Luftzusammensetzung bzw. Luftbeimengungen gekennzeichnet.

Ein grundlegender Begriff zur Beurteilung eines Wohnraumklimas ist die *Behaglichkeit*. Hier soll unter diesem Begriff der Zustand des thermischen Wohlbefindens des Menschen verstanden werden. Häufig werden bei der Beurteilung der Behaglichkeit auch die Auswirkungen weiterer, meistens subjektiver Faktoren, auf den Menschen berücksichtigt. So haben z.B. wesentlichen Einfluß die Größe des Raumes, insbesondere das Verhältnis Grundfläche zur Höhe des Raumes, die Beleuchtung unter Berücksichtigung der Intensität und der Qualität des Lichtes, die Farbe der Wände und das Muster der Tapete, die Art und die Anordnung der Einrichtungsgegenstände

u.a.m. Bei der Vielzahl dieser Faktoren wird es oft schwierig sein, die rein thermisch bedingte Komponente des behaglichen Zustandes von den übrigen Faktoren zu trennen.

Zum besseren Verständnis der raumklimatischen Forderungen ist die Kenntnis einiger physiologischer Grundlagen über den Wärmehaushalt des menschlichen Körpers erforderlich. Im folgenden Abschnitt sind daher die wichtigsten Zusammenhänge kurz dargestellt.

II. Der Wärmehaushalt des Menschen

Nach der Temperatur unterscheidet man am menschlichen Körper einen homiothermen Kern (Rumpf und Kopf) und eine wechselwarme Körperschale (Extremitäten und obere Hautschichten), deren Temperatur sich weitgehend mit der Temperatur der Umgebung ändert. Die physiologische Schwankungsbreite der Kerntemperatur (z.B. der Rectaltemperatur) beträgt nur 36,4 bis 37,4° C, wenn man vom Greis mit Temperaturen bis 36,0 °C absieht. Größere Abweichungen der Kerntemperatur nach oben und unten sind unphysiologisch und können schwerwiegende Schädigungen des Körpers zur Folge haben. Die spezifische Wärmebildung ist im Kern etwa 20mal höher als in der Schale [1]. Dagegen lassen sich die Wärmeverluste besser durch die Extremitäten steuern (z.B. Wadenwickel bei Fieber). Der menschliche Körper ist bestrebt, auch bei stärksten Änderungen der thermischen Umweltbedingungen die Kerntemperatur in diesem physiologischen Schwankungsbereich zu halten. Hierzu bedient er sich zweier Regulationsmechanismen, der chemischen und der physikalischen Wärmeregulation.

1. Die chemische Wärmeregulation

Bei der Wärmeproduktion unter Grundumsatzbedingungen kann der Körper die Kerntemperatur nur für Umgebungstemperaturen zwischen 28 und 30° C aufrechterhalten. Ist die Umgebungstemperatur kleiner bzw. ist die umgebende Luft in Bewegung, so muß die Wärmeproduktion gesteigert werden. Diese erfolgt durch eine Erhöhung des Tonus der Skelettmuskulatur, wobei asynchron einlaufende Erregungen gleichzeitig zu den Agonisten und Antagonisten gehen. Die Grenze dieser chemischen Wärmeregulation liegt beim 4- bis 5fachen Grundumsatz, da dann bereits ein Muskelzittern eintritt. Eine derartige Steigerung der Wärmeproduktion bedeutet aber auch eine Kreislaufbelastung, die etwa einer mittelschweren Arbeit gleichzusetzen ist und unter Umständen eine nicht mehr tragbare zusätzliche Belastung eines Herzkranken bedeuten kann. Zu berücksichtigen ist, daß bei einer Muskelarbeit etwa zwei Drittel der aufgewandten Energie als Wärme frei werden und somit im Sinne der chemischen Wärmeregulation zur Wirkung kommen.

2. Die physikalische Wärmeregulation

Der Wärmetransport vom Kern zur Oberfläche des Körpers ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen dem Kern und der Oberfläche und vom Wärmewiderstand der Körperschale. Von der Körperoberfläche erfolgt die Wärmeabgabe durch Leitung und Konvektion, Strahlung und Verdunstung.

a) Wärmeabgabe durch Leitung und Konvektion

Sie ist unabhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Haut und Umgebung und von einer dem Körper anhaftenden Luftgrenzschicht. Innerhalb dieser Grenzschicht erfolgt die Wärmeabgabe nur durch Leitung. Die Dicke dieser Grenzschicht hängt von der Windgeschwindigkeit und vom Krümmungsradius der jeweiligen Hautstelle ab. Bei Windstille beträgt sie etwa 10 mm, bei Luftbewegung mit einer Windgeschwindigkeit um 2 cm/sec ist sie auf 1 mm reduziert. Das bedeutet, daß dann der Widerstand bei der Wärmeabgabe auf etwa ein Fünftel abgesunken ist. Mit Hilfe der Kleidung wird eine dickere Grenzschicht gebildet, wodurch die Wärmeabgabe durch Leitung und Konvektion erheblich vermindert wird.

Eine Änderung der Wärmeabgabe durch Leitung und Konvektion bewirkt der menschliche Körper durch eine Änderung der Durchblutung der oberen Hautschichten. Die Wärmeabgabe ist größer, wenn diese Hautschichten gut durchblutet und durchfeuchtet sind. Auch die Dicke des subkutanen Fettpolsters spielt hierbei eine Rolle. Es ist bei der Frau im allgemeinen besser ausgeprägt, was zur Folge hat, daß unter sonst gleichen Bedingungen weniger Wärme an die Körperoberfläche abgegeben wird als beim Manne.

b) Wärmeabgabe durch Strahlung

Nach dem *Stephan-Boltzmannschen* Strahlungsgesetz ist die Wärmeabgabe durch Strahlung proportional der 4. Potenz der absoluten Oberflächentemperatur. Daraus geht hervor, daß bereits eine relativ geringe Temperaturänderung der Körperoberfläche, bedingt durch eine Verminderung oder Erhöhung der Durchblutung, eine größere Änderung der Wärmeabgabe durch Strahlung zur Folge haben wird. Die größten Änderungen der Durchblutung beobachtet man an den Extremitäten. So kann sich z.B. bei der Hand die Durchblutung im Verhältnis 1 : 30 ändern. Selbstverständlich ist bei der Wärmeabgabe durch Strahlung der bekleideten Körperstellen die Oberflächentemperatur der Kleidung maßgebend.

c) Wärmeabgabe durch Verdunstung

Zur Verdunstung von 1 Liter Wasser sind 580 Kalorien erforderlich. Die Verdunstung von Wasser wird somit dem menschlichen Körper einen sehr

wirksamen Wärmeentzug ermöglichen. Eine ständige Wasserdampfabgabe des menschlichen Körpers erfolgt durch die Atemluft und durch die Flüssigkeitsdiffusion durch die Haut.

Mit Hilfe der *Perspiratio insensibilis* kann der unbedeckte menschliche Körper die erforderliche Wärmeabgabe bis zu Umgebungstemperaturen von 29° C steigern. Diese Umgebungstemperatur stellt einen kritischen Punkt dar, da bei dieser Temperatur die Wärmeabgabe durch Strahlung, Leitung und Konvektion und *Perspiratio insensibilis* nicht mehr ausreicht, einen Wärmestau des Körpers, verbunden mit einem Anstieg der Kerntemperatur, zu verhindern. Der Körper hat dann die Möglichkeit, mit Hilfe der *Perspiratio sensibilis* die Wasserdampfabgabe noch weiter zu steigern. Die *Perspiratio sensibilis* ist die Schweißbildung, ein aktiver Vorgang der Schweißdrüsen. Die Fähigkeit zum Schwitzen ist bei den einzelnen Personen verschieden stark ausgeprägt. Somit ist auch die Verträglichkeit höherer Umgebungstemperaturen bzw. die Fähigkeit zur Leistung körperlicher Arbeit bei ungünstigen klimatischen Bedingungen bei den einzelnen Menschen verschieden.

Bei einer Umgebungstemperatur von 20° C werden bei der Wärmeabgabe des Menschen etwa 79% als trockene und 21% als Verdunstungswärme abgegeben. Die trockene Wärmeabgabe erfolgt zu 46% durch Strahlung und zu 33% durch Leitung und Konvektion. Bei der Wärmeabgabe durch Verdunstungswärme entfallen 19% auf die eigentliche Verdunstung durch die Haut und 2% auf die Atmung. Die Gesamtwärmeabgabe des menschlichen Körpers erfolgt bei einer Umgebungstemperatur von 20° C zu 88% über die Haut und zu 12% über die Lungen.

III. Die thermische Behaglichkeit

Eine thermische Behaglichkeit ist gegeben, wenn der Körper seinen Wärmehaushalt ohne nennenswerten Einsatz der chemischen und physikalischen Wärmeregulation im Gleichgewicht halten kann. Innerhalb einer neutralen Zone, die beim bedeckten Menschen Umgebungstemperaturen etwa zwischen 21 und 29° C umfaßt, reguliert der menschliche Körper den Wärmehaushalt zum größten Teil durch den Blutkreislauf aus – vasomotorische Regulation [15]. Die Behaglichkeit ist in erster Linie abhängig vom Raumklima. Wesentlichen Einfluß haben aber noch die Art der Kleidung, das Alter, das Geschlecht, die Konstitution, der Gesundheitszustand, die Ernährung, der Grad der Abhärtung, die Art der Beschäftigung und die psychische Reaktionslage des Menschen.

Das subjektive Beurteilungsvermögen für ein Raumklima ist bei den einzelnen Menschen sehr unterschiedlich ausgeprägt. Dies geht u.a. auch aus Ergebnissen von Befragungen hervor, die in Londoner Büroräumen an 5400 Frauen und 5200 Männern von *Black* [4] angestellt wurden. Wenn auch die

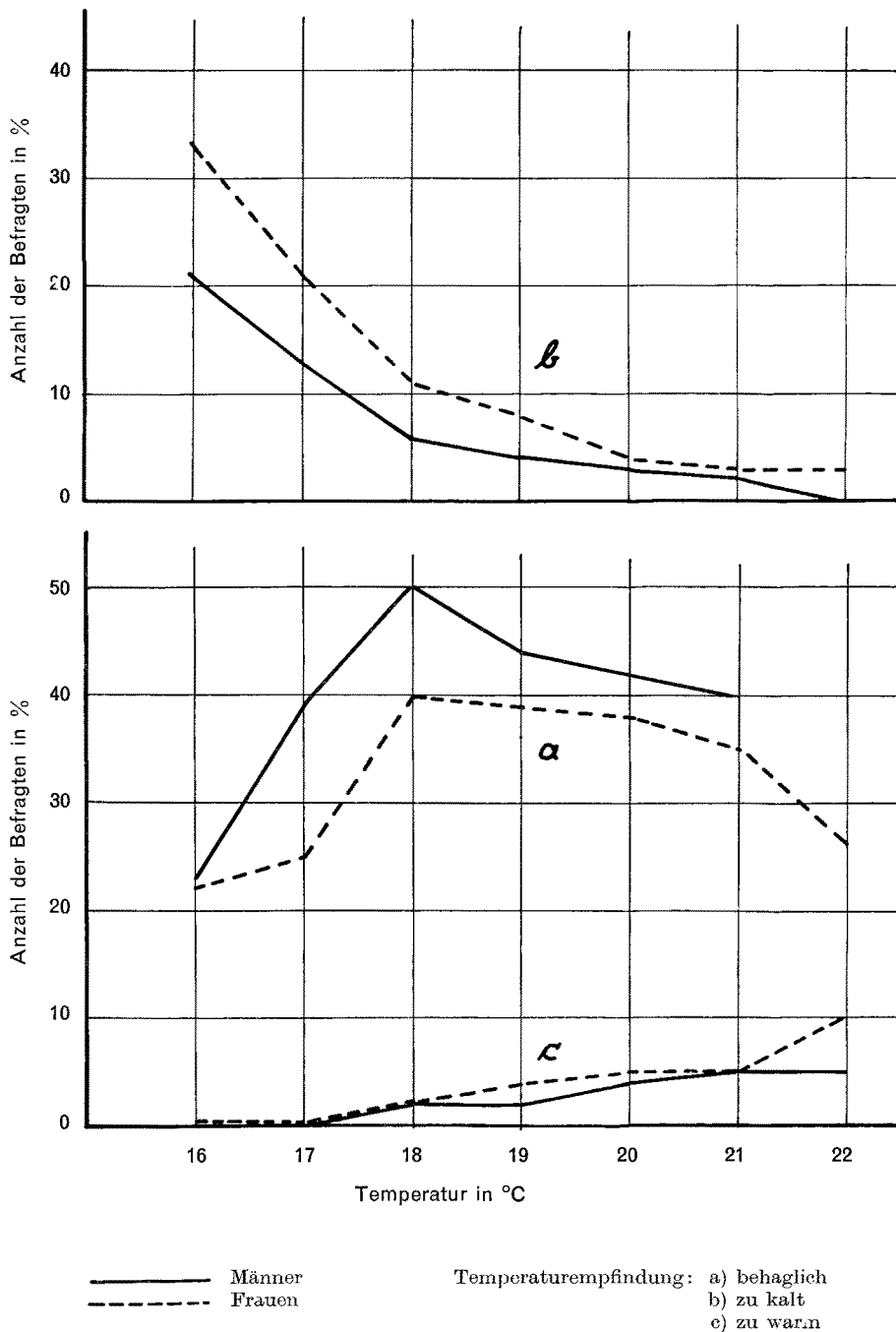


Abb. 1 Ergebnisse von Befragungen über die Temperaturrempfindung Londoner Büroangestellter (nach Black).

Ergebnisse schon wegen anderer Lebensgewohnheiten, Kleidung und klimatischer Verhältnisse auf die in gleichartigen Berufen beschäftigten Personen unseres Landes nicht übertragen werden können, so gestatten sie doch einen Einblick in die große Variabilität der subjektiven Beurteilung des Raumklimas durch den Einzelnen. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Befragung sind in der Abb. 1 dargestellt. Eine Unterteilung des Kollektivs ist nur nach dem Geschlecht getroffen. Die weiteren sehr wichtigen Unterscheidungsmerkmale wie Alter, Kleidung, Tätigkeit usw. wurden nicht berücksichtigt. 50% der Männer und 40% der Frauen empfanden ein Raumklima mit einer Lufttemperatur von 18° C und einer mittleren relativen Feuchtigkeit der Luft bei Luftruhe als «behaglich». Der Temperaturbereich von 18 bis 20° C wurde von 42 bis 50% der Männer und von 38 bis 40% der Frauen als «behaglich» angegeben. Während nur 13% der Männer eine Temperatur von 17° als «zu kalt» fanden, waren es bei den Frauen 21%. Der Prozentsatz der Probanden, die Temperaturen von 16 bis 19° C als «zu kalt» angaben, war bei den Frauen deutlich höher als bei den Männern. Eine Temperatur von 22° C fanden 10% der Frauen, jedoch nur 5% der Männer als «zu warm». Der Temperaturbereich, der bei dem größten Teil der Probanden noch keine extremen Temperaturempfindungen hervorruft, ist somit bei den Frauen deutlich kleiner als bei den Männern.

Die unterschiedliche Beurteilung eines Raumklimas durch Männer und Frauen hat mehrere Ursachen. Im Vordergrund steht ohne Zweifel der Konstitutionsunterschied, aber auch die stark verschiedene Kleidung wird einen entsprechenden Einfluß haben. Die Ansicht von *Schweisheimer* [41], die unterschiedliche Beurteilung des Raumklimas sei allein durch die Kleidungsunterschiede bedingt, kann hier jedoch nicht geteilt werden.

Die höchste, eben noch erträgliche Belastung des Wärmehaushaltes des Menschen wird durch die folgenden Raumklima-Situationen, gekennzeichnet durch die Wertepaare Temperatur und relative Feuchtigkeit der Luft, angegeben.

Temperatur in °C	relative Feuchtigkeit in %	Dampfdruck in mm Hg
53	(trockene Luft)	—
37,5	50	24,0
35	70	29,3
31	100	33,7

Während bei zu niedrigen Temperaturen außer einer Unbehaglichkeit und dem eventuellen Auftreten von Muskelzittern keine weiteren augenblicklichen Auswirkungen beobachtet werden, treten bei zu hohen Temperaturen, verbunden mit einer hohen relativen Feuchtigkeit, neben den durch die ver-

stärkte physikalische Wärmeregulation hervorgerufenen Erscheinungen bei manchen Menschen noch Auswirkungen auf das Zentralnervensystem auf [21].

IV. Das behagliche Wohnraumklima

Mehrere Autoren haben wiederholt versucht, die Bedingungen für eine thermische Behaglichkeit eines Wohnraumklimas durch Komplexgrößen zu kennzeichnen [5, 8, 12, 25, 27, 28, 29, 31, 32, 42]. Hierbei wurden Kombinationen zweier oder mehrerer der in Frage kommenden Faktoren Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Oberflächentemperatur der raumbegrenzenden Flächen und Luftbewegung gewählt. Die Einstufung des Raumklimas erfolgte durch Untersuchungen an Versuchspersonen, wobei die subjektiven Angaben der Personen über die Behaglichkeit, bzw. in einzelnen Fällen die Ergebnisse der Messungen der Hauttemperatur, der Beurteilung zugrunde gelegt wurden. Trotz der zahlreichen Arbeiten, die auf diesem Arbeitsgebiet in den letzten Jahrzehnten durchgeführt wurden, ist die derzeitige Kenntnis dieser Zusammenhänge unter Berücksichtigung der rein wissenschaftlichen Fragestellungen noch recht unbefriedigend. So wissen wir u. a. noch sehr wenig über die geschlechtsbedingte unterschiedliche Beurteilung des Raumklimas, den Einfluß der Kleidung, die Auswirkung kleinerer Arbeitsleistungen, den Einfluß der Konstitution und des Abhärtungsgrades und schließlich der Luftbeimengungen, insbesondere von Geruchsstoffen, auf die Behaglichkeit im weiteren Sinne.

1. Kennzeichnung des Raumklimas durch die Temperatur allein

Indessen kann man den praktischen Anforderungen, die an eine Einstufung des Raumklimas gestellt werden, oft schon durch eine starke Vereinfachung der Zusammenhänge gerecht werden. Im folgenden sei das Raumklima unter diesem Gesichtspunkt kurz behandelt.

Im stationären Zustand eines Raumklimas wird bei einer üblichen Lufttemperatur um 20° C nur eine unwesentliche Differenz zwischen der Lufttemperatur, der Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen und der Temperatur der Kleideroberfläche (evtl. auch der Hauttemperatur der unbedeckten Körperstellen) vorhanden sein. Im Anheizstadium oder beim Vorliegen extremer Verhältnisse wird dies allerdings nicht erfüllt sein. Die Strahlungskomponente braucht im ersten Falle bei der Kennzeichnung des Raumklimas nicht berücksichtigt zu werden. Setzt man weiter voraus, daß die relative Feuchtigkeit der Raumluft innerhalb der Grenzen von 35 und 65 bis 70% liegt, so kann das Raumklima in grober Näherung schon durch die bloße Angabe der Lufttemperatur gekennzeichnet werden. Auf diesen Annahmen basieren auch die früheren hygienischen Forderungen, wonach in Wohn- und

Schulräumen Temperaturen der Raumluft zwischen 18 und 20° C eingehalten werden sollten. Der größere Teil der Bevölkerung wünscht heute höhere Raumlufttemperaturen. Dies ist als ein typisches Kennzeichen einer Domestikation, also einer Verweichlichung des Menschen, aufzufassen. Demnach sollten Wohnräume Lufttemperaturen von 20 bis 22, bei geistiger Tätigkeit sogar 24° C und Baderäume von 22 bis 23° C haben. Wünschenswert ist jedoch eine sinnvolle Abstufung der Lufttemperaturen der einzelnen Räume. So sollten Schlafzimmer, größere Flure und Treppenhäuser nur auf Lufttemperaturen um 12° C eingestellt werden.

Auch neuere Untersuchungen von *Koch* [16] zeigen, daß der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Behaglichkeit relativ gering ist. Die mit normaler Sommerkleidung bekleideten Versuchspersonen hielten sich jeweils 3 Stunden ohne Vollbringung einer Arbeitsleistung im Untersuchungsraum auf. Die Lufttemperatur und die relative Feuchtigkeit der Luft wurden variiert. Die Temperatur der Wandoberfläche zeigte nur geringfügige Abweichungen von der Temperatur der Raumluft. Die Einstufung des Raumklimas nach der Behaglichkeit erfolgte auf Grund der subjektiven Angaben der Versuchspersonen. Im mittleren Temperaturbereich war der Feuchtigkeitseinfluß vernachlässigbar klein. So wurden z.B. von den Versuchspersonen die Raumverhältnisse 20° C und 34% relativer Feuchtigkeit und 20° C und 90% relativer Feuchtigkeit als gleich behaglich bewertet. Erst bei höheren Temperaturen von 25 bis 35° C war ein mäßiger Einfluß der relativen Feuchtigkeit auf die Behaglichkeit festzustellen.

2. Kennzeichnung des Raumklimas durch die Temperatur und relative Feuchtigkeit der Luft

Behaglichkeitszonen sollen für trockene Luft die Lufttemperaturen von 22,9 bis 29,8° C und für feuchte Luft von 16,5 bis 20,3° C sein [44]. Ein erträgliches Arbeitsklima sei bei relativer Feuchtigkeit von 60 bis 70% und Temperaturen von 20 bis 30° C der Luft. Ein behagliches Raumklima für geistige Arbeiten sind eine Lufttemperatur von 24° C und eine relative Feuchtigkeit von 55% [44]. Eine weitere Angabe über ein optimales Raumklima sind die Wertepaare von Temperatur und relativer Feuchtigkeit 20,5° C und 60%, 21,0° C und 50% und 21,5° C und 40% [14].

Roberts [36] hat auf Grund von Versuchen ein Behaglichkeitsfeld für die Wertepaare Temperatur und relative Feuchtigkeit der Luft angegeben, das in der Abb. 2 dargestellt ist (schraffierte Fläche). Die Versuchspersonen (60 Studenten) waren normal gekleidet und hielten sich sitzend in dem Untersuchungsraum auf. Das Raumklima des angegebenen Behaglichkeitsfeldes wurde von mindestens 70% der Probanden als behaglich empfunden. Zum Vergleich ist in dieser Abbildung noch ein Behaglichkeitsfeld von *Pels-Leusden*

und *Freymark* [30] dargestellt (gestrichelte umrissene Fläche), bei deren Erstellung die Verfasser die Meßergebnisse mehrerer Autoren berücksichtigt haben. Wie man sieht, weichen diese Behaglichkeitsfelder doch beachtlich voneinander ab.

V. Die Bedeutung einzelner Faktoren des Raumklimas

1. Die relative Feuchtigkeit der Luft

Während man sonst bemüht ist, den Feuchtigkeitsgehalt der Luft möglichst in einem absoluten Maß anzugeben (z.B. g Wasserdampf/m³, Dampfdruck in mm Hg), hat die Kennzeichnung mit Hilfe der relativen Feuchtigkeit den Vorteil, daß dadurch die Beziehung zwischen Luftfeuchtigkeit und verschiedenen physiologischen Reaktionen des Körpers direkt beobachtet werden kann.

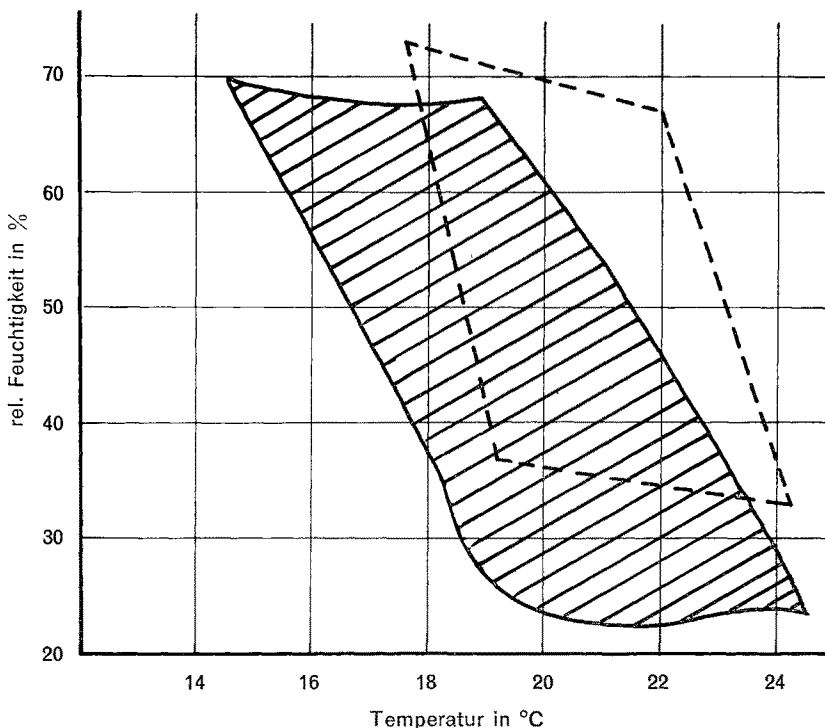


Abb. 2 Behaglichkeitsfelder für die Wertepaare Temperatur und relative Feuchtigkeit der Luft. Schraffiertes Gebiet: nach Untersuchungen von *Roberts*. Gestrichelt umrissene Fläche: nach *Pels-Leusden* und *Freymark*.

a) Zu niedrige relative Feuchtigkeit der Luft

Bei Werten der relativen Feuchtigkeit unter 30 % treten Austrocknungserscheinungen an den Schleimhäuten des Respirationstraktes auf, die unangenehme Empfindungen von Trockenheit im Nasen-Rachen-Raum, die sich bis zu starken Schmerzempfindungen steigern können, zur Folge haben. Die Belästigung ist besonders dann ausgeprägt, wenn die Raumluft reichlich trockene Staubpartikelchen enthält (z.B. verschwelter Staub von Radiatoren mit zu hoher Oberflächentemperatur). Die stark durchbluteten Schleimhäute des Respirationstraktes haben die Aufgabe, die eingeatmete Luft zu reinigen. Wesentlich ist hierbei die einwandfreie Tätigkeit des Flimmerepithels und die ständige Befeuchtung der Schleimhäute durch Absonderung eines dünnflüssigen Schleimes. Durch den Wasserentzug infolge der trockenen Luft kommt es zur Eindickung des Schleimes bis zu einer klebrigen Konsistenz und zu einer Beeinträchtigung der Tätigkeit des Flimmerepithels. Die Aufgabe der Reinigung der Luft kann dann nicht mehr voll erfüllt werden, und es kommt zur Ansiedlung von Bakterien, die entzündliche Prozesse auslösen [14]. Personen, die sich häufiger in Räumen mit zu trockener Luft aufhalten, werden somit anfälliger gegen Erkältungskrankheiten sein.

Darüber hinaus kommt es bei zu geringem Feuchtigkeitsgehalt der Luft auch noch zu Austrocknungserscheinungen an Einrichtungsgegenständen, wodurch oft wertvolle Möbel beschädigt werden. Eine weitere Folge einer zu geringen relativen Feuchtigkeit der Luft ist die verstärkt auftretende elektrostatische Aufladung des Menschen. Durch das Tragen von Kleidungsstücken aus synthetischen Textilfasern und die zunehmende Verwendung von hochisolierenden Kunststoffen im täglichen Leben, ist die Möglichkeit der elektrostatischen Aufladung des Menschen heute angestiegen [10]. Ein guter Indikator für die ausreichende Feuchtigkeit der Raumluft ist das Gedeihen bestimmter Zimmerpflanzen, z.B. der Zimmerlinde. Eine Erhöhung der relativen Feuchtigkeit der Luft kann durch eine wirksame Luftbefeuchtung erreicht werden. Gelegentlich findet man noch den Hinweis, man könnte bei zu trockener Raumluft durch Öffnen der Fenster die Situation bessern. In der Heizperiode wird dadurch aber gerade das Gegenteil erreicht, da die absolute Feuchtigkeit der kalten Außenluft in der Regel wesentlich niedriger als die der Zimmerluft ist. Die relative Feuchtigkeit der warmen Mischluft muß dann kleiner sein als die der ursprünglichen Zimmerluft.

b) Zu hohe relative Feuchtigkeit der Luft

Zur Aufrechterhaltung des Wärmehaushaltes bei höheren Temperaturen der Raumluft ist der Vorgang des Schwitzens (Perspiratio sensibilis) von größter Bedeutung. Der Wirkungsgrad dieser Maßnahme des Körpers kann jedoch erheblich herabgesetzt sein, wenn die Raumluft einen hohen Wasser-

dampfgehalt hat. Nach *Pfleiderer* und *Büttner* [32] ist die Wasserabgabe bei der Verdunstung durch die Bezeichnung

$$W = \beta (e_0 - e_L)$$

gegeben. Es bedeuten:

- W Wasserabgabe in g/min. cm²
- β Verdunstungszahl
- e_0 Dampfdruck in mm Hg an der Hautoberfläche
- e_L Dampfdruck in mm Hg in der Raumluft

Die Verdunstungszahl β ist abhängig vom Krümmungsradius der Hautoberfläche und von der Luftbewegung. Je höher e_L ist, um so kleiner ist die Differenz ($e_0 - e_L$) und somit W . Von bestimmten Wertepaaren der Raumluft an wird bei der verstärkt arbeitenden physikalischen Wärmeregulation ein Gefühl des Unbehagens auftreten, das als *Schwüle* bezeichnet wird. Wenn es sich hierbei auch vorwiegend um ein subjektives Symptom handelt, so treten dabei doch objektiv feststellbare Veränderungen am Körper auf. Ebenso wie die Behaglichkeit wird auch der Zustand der Schwüle schon beim gesunden Menschen sehr stark durch individuelle Faktoren beeinflusst. Bei Herz- und Gefäßerkrankungen, die heute eine sehr häufige Erscheinung geworden sind, wird dieser Zustand schon bei relativ kleinen Abweichungen des Raumklimas von einem behaglichen Raumklima auftreten und u.U. bedrohliche Zustände auslösen. Dem Problem der Schwüle sollte man daher heute etwas mehr Beachtung schenken, da die Tendenz besteht, die Temperatur der Raumluft möglichst hoch zu wählen. Außerdem wird bei den relativ kleinen Küchen und den übrigen Räumen der heutigen Wohnungen eine stärkere Wasserdampfanreicherung der Luft beim Kochen und Wäschetrocknen (Perlonwäsche!) eintreten.

Die Angaben verschiedener Autoren über das Raumklima, das den Zustand der Schwüle hervorruft, weichen z.T. stark voneinander ab. *Rubner* (zit. nach *Büttner* [6]) hat für Temperatur und relative Feuchtigkeit der Luft die Wertepaare 25° C und 60% sowie 30° C und 40% angegeben. In der Abb. 3 sind einige Schwülekurven verschiedener Autoren dargestellt. Das Raumklima, das durch die Wertepaare Temperatur und relative Feuchtigkeit oberhalb der jeweiligen Kurve gekennzeichnet ist, wirkt schwül. Die Kurve nach *Lancaster* und *Castens* [40] wurde durch Versuche ermittelt. Ausgehend vom Endpunkt dieser Kurve mit der Temperatur 16,5° C und der relativen Feuchtigkeit 100%, was einem Dampfdruck von 14,07 mm Hg entspricht, wurden unter Benutzung der Sättigungsdrucke [2] die den einzelnen Temperaturen zugehörigen Werte der relativen Feuchtigkeit bei gleichbleibendem Dampfdruck errechnet (gestrichelte Kurve). Wie man sieht, weicht diese Kurve nur unwesentlich von

der Lancaster-Castens-Kurve ab. *Linke* [25] gibt als Grenze zum Schwülebereich die Äquivalenttemperatur 56° an. Die in der Abbildung dargestellte Kurve der Äquivalenttemperatur 56° wurde unter Zuhilfenahme der Näherungsformel

$$\bar{A} = t + 2e$$

errechnet. Es bedeuten:

- \bar{A} Äquivalenttemperatur
- t Lufttemperatur in $^\circ\text{C}$
- e Dampfdruck in mm Hg

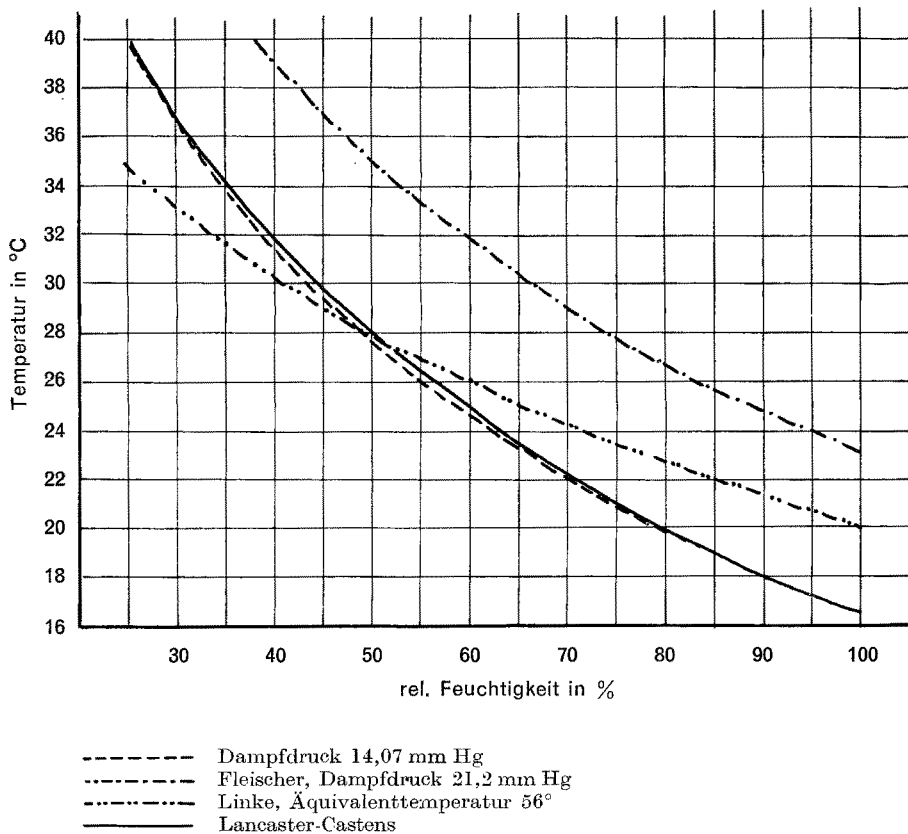


Abb. 3 Schwülekurven nach verschiedenen Autoren.

Diese Kurve zeigt bereits eine beachtliche Abweichung von der Lancaster-Castens-Kurve. *Fleischer* (zitiert nach *Büttner* [6]) führt einen Dampfdruck von 21,2 mm Hg als Schwülegrenze an. Wie man aus der Abbildung erkennt,

liegt diese Dampfdruckkurve schon weit im Schwülebereich der Angaben anderer Autoren.

Heute wird die Lancaster-Castens-Kurve allgemein anerkannt. Die geringfügigen Verbesserungen dieser Kurve sind kaum erwähnenswert, da sie alle im Bereich der biologischen Streubreite der Schwüleempfindung liegen. Diese Kurve hat Gültigkeit für den normal bekleideten und ruhenden Menschen. Bei Verrichtung von kleineren Arbeitsleistungen wird selbstverständlich die Schwüleempfindung schon früher eintreten, als durch die Wertepaare für Temperatur und relativer Feuchtigkeit angegeben wird. Wenn man den Bereich der üblichen Temperaturen der Raumluft berücksichtigt, so wird die Schwüleempfindung bereits bei einer relativen Feuchtigkeit um 70 bis 80% zu erwarten sein. Diese raumklimatischen Verhältnisse liegen heute unter den bereits oben erwähnten Verhältnissen im Bereiche der Möglichkeit.

2. Die Strahlungskomponente

Die Strahlungskomponente wird bei zu kalten raumumschließenden Flächen und bei der Strahlungsheizung mit berücksichtigt werden müssen. Kalte raumumschließende Flächen treten häufig im Anheizstadium (besonders bei der Luftheizung) und beim Vorliegen extremer Bedingungen auf. Das folgende Beispiel kennzeichnet die Strahlungssituation in der Anheizperiode eines im stationären Zustand sonst behaglichen Raumklimas. Hierbei wurden die folgenden Temperaturen gemessen: Luft 20, Fußboden 17, Außenwandseite 14, Fenster 6, Decke 19, Zwischenwände 16 und Heizkörperoberfläche 52° C. Während dieser Messungen wurde an einer Versuchsperson an den nicht bekleideten Körperstellen eine Hauttemperatur von nur 25° C gemessen. Kalte raumbegrenzende Flächen verursachen einen einseitigen, unter Umständen an lokal begrenzten Körperpartien eintretenden Wärmeentzug des menschlichen Körpers mit starker Erniedrigung der Hauttemperaturen. Die Auswirkungen sind ähnlich wie bei einer Zuglufteinwirkung.

Bei der Strahlungsheizung muß die Wirkung der infraroten Strahlung auf den menschlichen Organismus berücksichtigt werden. Man findet immer wieder Fälle auch bei relativ neuen Heizungsanlagen, wo diese hygienische Forderung nicht erfüllt ist. Die Infrarotstrahlung dringt im Vergleich zum sichtbaren und ultravioletten Licht wesentlich tiefer in die menschliche Haut ein und verursacht dort u. a. auch einen Temperaturanstieg. Beim unbedeckten und besonders beim unbehaarten Schädel kann das infrarote Licht bis zu den Hirnhäuten eindringen, wobei gewisse Reizerscheinungen ausgelöst werden. Wiederholte und länger andauernde Einwirkungen auf den Schädel können chronische Schädigungen zur Folge haben. Bei Deckenheizungen mit zu hohen Temperaturen wird der Mensch in der Regel beachtlich belästigt. Die Deckentemperatur soll so gewählt werden, daß der Kopf noch eine Wärmemenge von

0,007 bis 0,009 kcal/cm² · h abgeben kann [18]. Auch bei der Deckenheizung soll das Kriterium für eine gute Raumheizung erfüllt sein, nämlich, daß der Temperaturabfall von Kopfhöhe zum Fußboden unter 2,0 bis 2,2° C sein soll [19]. Nach *Chrenko* soll die Deckentemperatur so gewählt sein, daß im Vergleich zur unbeheizten Decke die Strahlungsintensität in Kopfnähe höchstens 0,001 kcal/cm² · h erhöht wird [7, 17, 37]. Die vertretbare Deckentemperatur ist außerdem abhängig von der Raumhöhe und von der Größe der strahlenden Fläche. Bei den üblichen Wohnräumen kann bei einer Deckenhöhe von etwa 2,5 m und einer Heizfläche von 4 m² die Strahlungstemperatur bis 38° C betragen [17].

3. Die Fußbodentemperatur

Auch bei der Fußbodenheizung muß die Einhaltung einer zweckmäßigen Fußbodentemperatur berücksichtigt werden. Die Ansichten über den Einfluß der Fußbodentemperatur auf die Behaglichkeit gehen allerdings noch auseinander. *Reiß* [35] gibt als obere Grenze der Fußbodentemperatur für oft begangene Flächen 25° C an. Auf der anderen Seite soll die Fußbodentemperatur 16° C nicht unterschreiten, da sonst ein beachtlicher Wärmeentzug durch Leitung über die Fußbekleidung eintritt. Hierbei spielt die Wärmeleitung des verwendeten Fußbodenbelages eine gewisse Rolle. Nach *Chrenko* [9] sollten Temperaturen von 24 bis 25° C nicht überschritten werden. Bei diesen Temperaturen konnte er bei Männern beim Sitzen und Gehen Hauttemperaturen an der Fußsohle um 30,5° C und bei Frauen um 31,5° C messen, die von den Probanden schon als unbehaglich empfunden wurden. Den Unterschied in der Hauttemperatur der Fußsohle führt er auf die verschiedene Fußbekleidung zurück. Demgegenüber kommen *Nevins* und *Flinner* [30] auf Grund von Versuchen mit 129 Studenten (108 Männer und 21 Frauen) zu dem Ergebnis, daß erst Fußbodentemperaturen über 35° C einen wesentlichen Einfluß auf die Behaglichkeit haben sollen. Bei einer Lufttemperatur von 24° C war es z.B. gleichgültig, welchen Wert zwischen 24 und 36° C die Fußbodentemperatur hatte. Bei diesen Versuchen trugen die Probanden leichte, normale Kleidung und hielten sich sitzend im Versuchsraum auf, wobei die Füße auf den Boden gestellt waren. Die Lufttemperatur wurde zwischen 18,3 und 29,4 und die Fußbodentemperatur zwischen 18,3 und 37,8 °C variiert. Die relative Feuchtigkeit der Luft lag bei diesen Versuchen zwischen 30 und 60%. Das thermische Empfinden wurde von den Versuchspersonen in 7 Stufen angegeben.

4. Die Lufttemperatur

Wie bereits erwähnt, wird durch die Luftbewegung die dem Körper anhaftende Luftschicht reduziert, wodurch die Wärmeabgabe durch Leitung und

Konvektion und somit die gesamte Wärmeabgabe gesteigert wird. Kleinere Windgeschwindigkeiten verursachen jedoch nur je nach der Lufttemperatur mehr oder weniger starke lokale Abkühlungseffekte an der Haut. Diese Reize bewirken somit nur lokale, jedoch länger anhaltende Gefäßkontraktionen, die bei häufigerem Auftreten schädliche Auswirkungen zeigen (Durchblutungsstörungen).

Geringe Luftbewegungen in der Größenordnung von wenigen cm/sec sind in den Wohnräumen stets vorhanden. Sie sind durch die natürliche Lüftung durch Ritzen (Türen und Fenster) und durch die Heizung (Luftwalze) bedingt. Erst wenn diese Luftbewegungen Geschwindigkeiten von 10 und mehr cm/sec erreichen, wie dies bei nicht einwandfreien Luftheizungen bzw. Vollklimaanlagen eintreten kann, werden sie als Zugluft wahrgenommen.

Literatur

- [1] *Aschoff J. und R. Wever*: Kern und Schale im Wärmehaushalt des Menschen. Die Naturwissenschaften 45, 477 (1958).
- [2] Aspirations-Psychrometer-Tafeln. Herausgegeben vom Deutschen Wetterdienst. Verlag Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1952.
- [3] *Baker M.*: Heat, Pip. & Air Cond. ASHAE Journ. 2, 54 (1960). Improved Comfort through Radiant Heating and Cooling.
- [4] *Black F. W.*: Desirable Temperatures in Offices. Journ. of the Inst. of Heat. and Vent. Eng. 22, 319 (1954).
- [5] *Bradtke F. und W. Liese*: Hilfsbuch für raum- und außenklimatische Messungen. 2. Auflage, Verlag Springer, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1952.
- [6] *Büttner K.*: Bioklimatologie. Probleme der Kosm. Physik XVIII. Akadem. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1937.
- [7] *Chrenko F. A.*: Heated Ceilings and Comfort. Journ. of the Inst. of Heat. and Vent. Eng. 20, 375 (1953) und 21, 145 (1953).
- [8] *Chrenko F. A.*: The Assessment of Subjective Reactions in Heating and Ventilation Research. Journ. of the Inst. of Heat. and Vent. Eng. 23, 281 (1955).
- [9] *Chrenko F. A.*: Heated Floors and Comfort. Journ. of the Inst. of Heat. and Vent. Eng. 23, 385 (1956).
- [10] *Effenberger, E.*: Die elektrostatische Aufladung unter besonderer Berücksichtigung der Aufladung des Menschen durch Textilien und deren Auswirkung. Münch. Med. Wschr. 105, 1412 (1963).
- [11] *Frank W.*: Kalorische Oberflächenbelastung, Gesamtentwärmung und thermisches Behaglichkeitsempfinden. Gesundheits-Ingenieur 83, 29 (1962).
- [12] *Ghai M. A.*: Principles of Radiant Heating for Comfort in Passenger Cars. Railway Age 128, 48 (1950).
- [13] *Gini A.*: Die physikalische Bedeutung der effektiven Temperaturlinien. Gesundheits-Ingenieur 63, 449 (1940).
- [14] *Grandjean E.*: Die Luftfeuchtigkeit. Präventivmedizin 7, 405 (1962).
- [15] *Jennings B. H.*: Research on Human Comfort and Environment. Heat, Pip. & Air Cond. ASHAE Journ. 30, 111 (1958).
- [16] *Koch W., B. H. Jennings und C. M. Humphreys*: Is Humidity Important in the Temperature Comfort Range? Heat, Pip. & Air Cond. ASHAE Journ. 2, 63 (1960).
- [17] *Kollmar A.*: Welche Deckentemperatur ist bei der Strahlungsheizung zulässig? Gesundheits-Ingenieur 75, 22 (1954).
- [18] *Kollmar A. und W. Liese*: Die Strahlungsheizung, 4. Auflage. Verlag R. Oldenbourg, München 1957.

- [19] *Kollmar A.*: Wärmephysiologische Berechnungen bei Heizdecken, Strahlplatten und Infrarotstrahlern. *Gesundheits-Ingenieur* 81, 65 (1960).
- [20] *Krause B.*: Die konvektive Wärmeabgabe von Heizdecken. *Gesundheits-Ingenieur* 80, 324 (1959).
- [21] *Krause M.*: Der Einfluß feuchter Hitze auf die sogenannte Höchste Nerventätigkeit. *Zentr. Bl. f. Arbeitsmed. u. Arbeitssch.* 8, 73 (1958).
- [22] *Liése W.*: Kritik und Praxis der Behaglichkeitsmessung. *Gesundheits-Ingenieur* 71, 286 (1950).
- [23] *Liése W.*: Hygienische Fortschritte durch moderne Lüftungs- und Klimatechnik. *Gesundheits-Ingenieur* 77, 1 (1956).
- [24] *Liése W.*: Neuere wärmephysiologische und hygienische Ergebnisse von klimatechnischer Bedeutung. *Gesundheits-Ingenieur* 81, 363 (1960).
- [25] *Linke F.*: Die physikalischen Faktoren des Klimas. *Handb. norm. u. path. Physiologie* 17, 381 (1926).
- [26] *Min T.G., L.F. Schutrum, G.V. Parmelee and J.D. Vouris*: Natural Convection and Radiation in a Panel-Heated Room. *Heat. Pip. & Air Cond. ASHAE Journ.* 23, 153 (1956).
- [27] *Missenard A.*: Étude physiologique et technique de la ventilation. L.Eyrolles, Paris 1933.
- [28] *Missenard A.*: Unmittelbare Vergleichsprüfung zwischen der Wärmeempfindung verschiedener Personen und den Katathermometeranzeigen, der effektiven und resultierenden Temperatur. *Gesundheits-Ingenieur* 57, 409 (1936).
- [29] *Nielsen M. and L.Pedersen*: Studies on the Heat Loss by Radiation and Convection from the Clothed Human Body. *Acta Physiologica Scandinavica Stockholm* 27, 272 (1953).
- [30] *Nevins R.G. and A.O.Flinner*: Effect of Heated-Floor Temperatures on Comfort. *Heat. Pip. & Air Cond. ASHAE Journ.* 29, 149 (1957).
- [31] *Pels-Leusden F. and H.Freymark*: Darstellungen der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch. *Gesundheits-Ingenieur* 72, 271 (1951).
- [32] *Pfleiderer H. und K.Büttner*: Bioklimatologie im Lehrbuch der Bäder- und Klimaheilkunde II Herausgegeben von H.Vogt, Verlag Julius Springer, Berlin 1937.
- [33] *Raiß W. und E.Tópritz*: Raumklimatische Messungen in Wohnräumen. *Gesundheits-Ingenieur* 82, 357 (1961).
- [34] *Regenscheid B.*: Die Luftbewegung in klimatisierten Räumen. *Kältetechn.* 11, 3 (1959).
- [35] Rietschels Lehrbuch der Heiz- und Lüftungstechnik Herausgegeben von W.Raiß, 14. verb. Auflage. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1962.
- [36] *Roberts Br.*: Environmental Testing. *Journ. of the Inst. of Heat. and Vent. Eng.* 27, 238 (1959).
- [37] *Roedler F.*: Rietschels Lehrbuch der Heiz- und Lüftungstechnik 14. verb. Auflage. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1962.
- [38] *Ronge H.E. and B.E.Lofstedt*: Radiant Draftes from Cold Ceilings. *Heat. Pip. & Air Cond. ASHAE Journ.* 29, 167 (1957).
- [39] *Rudd D.*: Panel Heating. *Journ. of the Inst. of Heat. and Vent. Eng.* 33, 382 (1960).
- [40] *Scharlau K.*: Schwüle und Behaglichkeit als Klimagrößen. *Z. Hyg.* 123, 511 (1942).
- [41] *Schweisheimer W.*: Clothing and Comfort. *Journ. of the Inst. of Heat. and Vent. Eng.* 34, 131 (1960).
- [42] *Vincent I.*: Les sensations thermiques sur la température de l'homme. *Ciel et Terre* 23, 25 (1907).
- [43] *Wenzel H.-G. und E.A.Müller*: Untersuchungen der Behaglichkeit des Raumklimas bei Deckenheizung. *Internat. Z. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol.* 16, 335 (1957).
- [44] Wohnungsmedizin (herausgegeben vom DMI Bad Godesberg) Was ist unter «Behaglichkeitsklima» zu verstehen? 1, 3 (1963).
- [45] *van Zuilen D.*: Behaglichkeitsforderungen für verschiedene Länder. *Gesundheits-Ingenieur* 63, 73 (1940).