

WÄRMELEHRE UND WÄRMEWIRTSCHAFT
IN EINZELDARSTELLUNGEN

Herausgegeben von

Dr.-Ing. N. ELSNER

o. Professor an der Technischen Universität Dresden

BAND 18

LEHRBUCH DER
HEIZUNGS-, LÜFTUNGS- UND KLIMATECHNIK

BAND 1
HEIZUNGSTECHNIK



VERLAG THEODOR STEINKOPFF
DRESDEN

1973

LEHRBUCH DER
HEIZUNGS-, LÜFTUNGS-
UND KLIMATECHNIK

BAND 1

HEIZUNGSTECHNIK

von

Dr.-Ing. Norbert ELSNER

o. Prof. für Energieumwandlung
(Technische Thermodynamik und industrielle Wärmeanwendung)
an der Technischen Universität Dresden

und

Dr.-Ing. habil. Günther KRAFT

o. Prof. für Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik
an der Technischen Universität Dresden

2., durchgesehene Auflage
Mit 288 Abbildungen und 63 Tafeln



VERLAG THEODOR STEINKOPFF
DRESDEN

1973

Ob jedoch ein Behaglichkeitsgefühl entsteht, hängt nicht nur von der Lufttemperatur und der mittleren Temperatur der Oberflächen der Umfassungskonstruktionen des Raumes ab, sondern auch von der Beanspruchung des Thermoregulationsmechanismus und der Art, Größe und Angriffsfläche eventueller Wärme- oder Kältereize.

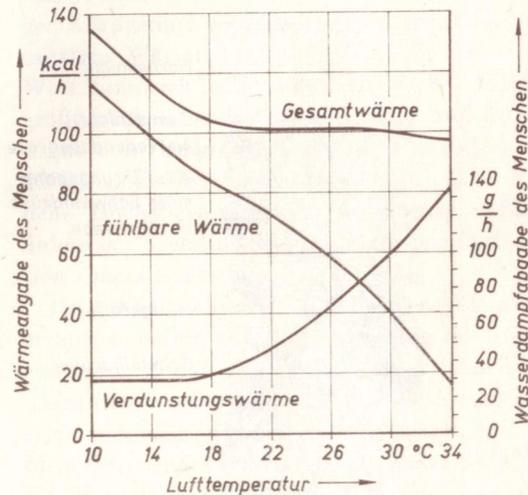


Bild 3/19. Wärmeabgabe sitzender Menschen bei unbewegter Luft

des Diagramms begrenzt. Aus dem Anteil der Verdunstungswärme ist jedoch zu schließen, daß die mittlere Oberflächentemperatur der Umfassungskonstruktion nicht oder nur wenig von der Raumlufttemperatur abwich. Nähere Angaben zum Stoff- und Wärmehaushalt des Menschen finden sich in Band II.

3.2.4. Der Einfluß des Raumklimas auf den Menschen

Bei der Besprechung der meteorologischen Grundlagen wurde bereits festgestellt, daß das Klima eine aus den Klimafaktoren gebildete komplexe Größe ist. Nicht anders verhält es sich mit dem Raumklima. Der Mensch nimmt das Raumklima durch Reize seiner Umwelt wahr, die auf seinen Wärmehaushalt entsprechend einwirken.

3.2.4.1. Das Raumklima als Summengröße

Die vom Menschen im Raum wahrgenommene Temperatur ist eine scheinbare und komplexe Temperatur, die im allgemeinen von der Raumlufttempe-

ratur abweicht. Der Mensch registriert alle seinen Wärmehaushalt beeinflussenden Größen komplex.

Hierzu gehören vor allem die Lufttemperatur, die Temperatur und Geometrie der Umfassungswände sowie der Heizflächen, die hierdurch beeinflusst werden, die Größe der Luftgeschwindigkeit und ihre Richtung in der Aufenthaltszone, die relative Feuchte der Raumluft.

Die genannten Einflüsse üben bei gleicher Größe nicht immer den gleichen Reiz aus. Hier spielen, wie schon erwähnt, auch organische Wechselwirkungen und Konditionalitäten eine große Rolle. In diesem Zusammenhang sei nur an den Einfluß der Außentemperatur auf die behagliche Temperatur im Raum erinnert.

Wenn wir von einer behaglichen Raumtemperatur sprechen und damit etwa die in der TGL 112-0319 angegebenen Raumlufttemperaturen ins Auge fassen, so setzen wir unausgesprochen voraus, daß die Umfassungswände eine dem Beharrungszustand entsprechende und wärmephysiologisch ausreichende Temperatur aufweisen.

Unter diesen Umständen empfindet man in unseren Breiten die in der Tafel 3/6 zusammengefaßten Temperaturen als angenehm. Im allgemeinen verträgt der Mensch unseres Klimagebietes eine Überschreitung der in Tafel 3/6 angegebenen Temperaturen besser als eine Unterschreitung. Vom Arbeitspsychologen wird eine pulsierende Temperatur, d. h. ein zeitweiliges Über- bzw. Unterschreiten dieser Werte zur Steigerung der Arbeitsproduktivität gefordert. Eine dauernde Überschreitung dürfte der Gesundheit des Menschen insbesondere im Winter kaum zuträglich sein. Allerdings spielen hier Alter, Geschlecht, Konstitution und Kleidung eine bedeutende Rolle.

ratur abweicht. Der Mensch registriert alle seinen Wärmehaushalt beeinflussenden Größen komplex.

Hierzu gehören vor allem

die Lufttemperatur, die Temperatur und Geometrie der Umfassungswände sowie der Heizflächen, die hierdurch beeinflusst werden, die Größe der Luftgeschwindigkeit und ihre Richtung in der Aufenthaltszone, die relative Feuchte der Raumluft.

Die genannten Einflüsse üben bei gleicher Größe nicht immer den gleichen Reiz aus. Hier spielen, wie schon erwähnt, auch organische Wechselwirkungen und Konditionalitäten eine große Rolle. In diesem Zusammenhang sei nur an den Einfluß der Außentemperatur auf die behagliche Temperatur im Raum erinnert.

Wenn wir von einer behaglichen Raumtemperatur sprechen und damit etwa die in der TGL 112-0319 angegebenen Raumlufttemperaturen ins Auge fassen, so setzen wir unausgesprochen voraus, daß die Umfassungswände eine dem Beharrungszustand entsprechende und wärmephysiologisch ausreichende Temperatur aufweisen.

Unter diesen Umständen empfindet man in unseren Breiten die in der Tafel 3/6 zusammengefaßten Temperaturen als angenehm. Im allgemeinen verträgt der Mensch unseres Klimagebietes eine Überschreitung der in Tafel 3/6 angegebenen Temperaturen besser als eine Unterschreitung. Vom Arbeitspsychologen wird eine pulsierende Temperatur, d. h. ein zeitweiliges Über- bzw. Unterschreiten dieser Werte zur Steigerung der Arbeitsproduktivität gefordert. Eine dauernde Überschreitung dürfte der Gesundheit des Menschen insbesondere im Winter kaum zuträglich sein. Allerdings spielen hier Alter, Geschlecht, Konstitution und Kleidung eine bedeutende Rolle.

Tafel 3/6. Raumtemperaturen im Winter nach TGL 112-0319/10. 61

Wohnhäuser	°C
Wohnräume, Schlafräume, Küchen	+ 20
Vorräume, Flure, Aborte	+ 15
Treppenhäuser	+ 10
Bad	+ 22
Geschäfts- und Verwaltungsgebäude	
Geschäfts- und Büroräume, Gaststätten, Hotelzimmer, Läden	+ 20
Treppenhäuser, Flure, Aborte	+ 15

(Fortsetzung auf Seite 42)

(noch Tafel 3/6.)

Schulen

Die Temperatur der Unterrichtsräume darf bei Fensterlüftung kurzfristig unter 18 °C absinken.

Unterrichts- und Zirkelräume, pädagogische Zentren, Lehrzimmer, Verwaltungsräume, Horräume	+ 20
Lehrküchen und Werkräume	+ 15
Lehrmittelzimmer und Garderoben	+ 15
Bade- und Umkleieräume	+ 22
Arzt- und Untersuchungszimmer	+ 24
Geschlossene Flure, Treppenhäuser	+ 5 bis + 10
Flure, Treppenhäuser und Aborte in Kindergärten	+ 15
Aula	+ 18
Turnhalle	+ 15
Gymnastikraum für orthopädisches Turnen	+ 20

Bei Krankenhäusern, Produktionsbetrieben, Theatern und ähnlichen Gebäuden sind die Temperaturen aller Räume vor Beginn der Projektierung festzusetzen.

Für klimatisierte Räume haben sich bei sommerlichen Temperaturverhältnissen die in Tafel 3/7 angegebenen Wertepaare von Lufttemperatur und relativer Feuchte im Raum gut eingeführt.

Tafel 3/7. Lufttemperatur und Luftfeuchte im Raum nach TGL 0-1946/2. 63

Außenlufttemperatur in °C	Raumlufttemperatur in °C	Relative Feuchte in %	
		untere Grenze	obere Grenze
20	22	35	65
20	22	35	65
25	23	35	65
30	25	35	60
32	26	35	55

Weichen die Wandtemperaturen stark von den bei üblicher Bauweise im Beharrungszustand erreichten Werten ab, müssen die Oberflächentemperaturen der Umfassungswände und der Heizflächen in die Untersuchungen einbezogen werden. Zur Berechnung der von der Hautoberfläche durch Strahlung abgegebenen Wärmemenge ist das STEFAN-BOLTZMANNsche Gesetz anwendbar. Man kann annehmen, daß sich die Haut im Bereich der Wellenlänge der ultraroten Strahlen etwa wie die Oberfläche eines schwarzen Körpers verhält. Dabei beträgt das Absorptionsverhältnis der menschlichen Haut etwa $a = 0,954$. Nach

dem STEFAN-BOLTZMANNschen Gesetz ist die Strahlungswärme weiterhin vom Temperaturunterschied der im Wärmeaustausch stehenden Flächen abhängig sowie von deren Abmessungen und geometrischer Lage. Für das Verständnis der Wärmephysiologie des Menschen ist es wichtig zu wissen, daß nur solche Strahlen photochemisch und biologisch wirksam werden, die tatsächlich absorbiert werden. Damit hängt die physiologische Wirkung weitgehend von der Wellenlänge der Strahlung ab. Die menschliche Haut besitzt ihr größtes Reflexionsvermögen im Bereich des sichtbaren Lichtes. Da die Wärmerezeptoren des Menschen in die obersten Hautschichten eingelagert sind, registriert der Mensch die aufgenommene Wärmemenge unabhängig von der Eindringtiefe der Strahlung, d. h. unabhängig von ihrer Wellenlänge.

Es liegt nahe, den konvektiven und den Strahlungswärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung in geeigneter Weise zusammenzufassen. Hierzu geht man zweckmäßigerweise von einer Wärmebilanz des Menschen aus:

Wie bereits gezeigt wurde, gibt der Mensch die auf Grund seines Energieumsatzes erzeugte Wärmemenge \dot{Q}_M in Form von Konvektionswärme $\dot{Q}_{M,K}$, Strahlungswärme $\dot{Q}_{M,S}$ und Verdunstungswärme $\dot{Q}_{M,V}$ ab.

Es gilt daher der Zusammenhang

$$\dot{Q}_M = \dot{Q}_{M,K} + \dot{Q}_{M,S} + \dot{Q}_{M,V}$$

beziehungsweise

$$\dot{Q}_M = A_M \alpha_{M,L} (t_M - t_L) + A'_M \sum C_{M,w_i} \bar{\varphi}_{M,w_i} \left[\left(\frac{T_M}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{w_i}}{100} \right)^4 \right] + \dot{Q}_{M,V} \quad (3/6)$$

Hierin bedeuten:

- A_M die für die konvektive Wärmeabgabe maßgebende Oberfläche des Menschen,
- A'_M die für den Strahlungswärmeaustausch maßgebende Oberfläche des Menschen,
- $\alpha_{M,L}$ die Wärmeübergangszahl zwischen Mensch und Luft,
- C_{M,w_i} die Strahlungszahl der Oberfläche des Menschen, bezogen auf das Wandteil W_i ,
- $\bar{\varphi}_{M,w_i}$ die mittlere Einstrahlzahl der Oberfläche des Menschen, bezogen auf das Wandteil W_i ,
- t_M, T_M die mittlere Oberflächentemperatur des Menschen,
- T_{w_i} die Oberflächentemperatur des Wandteiles W_i ,
- t_L die Lufttemperatur in der Aufenthaltszone.

Für Räume mit nur geringer Luftbewegung und Lufttemperaturen etwa zwischen 16 und 22 °C bereitet die Auswertung der vorstehenden Gleichung

τ die Zeit des Abkühlvorganges zwischen den Temperaturen von 38 °C bis 35 °C.

Die in die Auswertungsgleichungen (3/13a) und (3/13b) einzusetzende Wärmemenge Q stellt die auf 1 cm² Gefäßoberfläche bezogene, im Temperaturintervall von 38 °C bis 35 °C gespeicherte Wärmemenge dar, die in kcal/cm² gemessen wird und als Eichwert in den Thermometerstiel eingeätzt wird. Das Eichen erfolgt nach einer von HILL angegebenen Methode, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll.

Da die Wärmeübergangszahl in erster Linie eine Funktion der Luftgeschwindigkeit ist, läßt sich die Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der Abkühlungszeit bestimmen. Für die Geschwindigkeiten $w \leq 1$ m/s wird die Gleichung

$$w = \left(\frac{\frac{Q}{\tau(36,5 - t_L)} - 0,205}{0,385} \right)^2 \quad (3/13a)$$

und für $w > 1$ m/s

$$w = \left(\frac{\frac{Q}{\tau(36,5 - t_L)} - 0,105}{0,485} \right)^2 \quad (3/13b)$$

zugrunde gelegt. Die Ergebnisse der Luftgeschwindigkeitsmessung des unverspiegelten trockenen Katathermometers sind nur dann hinreichend genau, wenn die Temperatur der Umfassungswände des Raumes nicht wesentlich von der Raumlufttemperatur abweicht. Mit Hilfe des außen versilberten Katathermometers kann man diesen Mangel beheben.

Den Quotienten

$$A = \frac{Q}{\tau} \quad (3/14)$$

nennt man Abkühlungsgröße oder *Katawert*. Als Summengröße wird er häufig zur Beurteilung des Raumklimas herangezogen. Ein Raumklima, dessen Katawert unter 5 kcal/cm²s liegt, gibt kaum zu Beanstandungen Anlaß. Zweckmäßiger ist es jedoch, Zugscheinungen nach der Luftgeschwindigkeit und Lufttemperatur zu beurteilen, da sich die Linien konstanter Katawerte mit der Behaglichkeitsgrenzkurve, wie in Bild 3/22 gezeigt, schneiden.

BRADTKE und LIESE¹⁾ haben versucht, durch Bildung einer weiteren komplexen Klimagröße, der sogenannten *Behaglichkeitsziffer*

¹⁾ BRADTKE und LIESE: Hilfsbuch für raum- und außenklimatische Messungen, 2. Auflage, Berlin 1952, S. 73/74.

$$B = \frac{t_L}{A},$$

einen von der Raumlufttemperatur unabhängigen Behaglichkeitsmaßstab zu schaffen.

Die genannten Autoren gehen von der umstrittenen Voraussetzung aus, daß die Stirntemperatur des Menschen die Behaglichkeit kennzeichnet. Sie ermittelten dabei für behagliche Stirntemperaturen bei unterschiedlichen Raum-

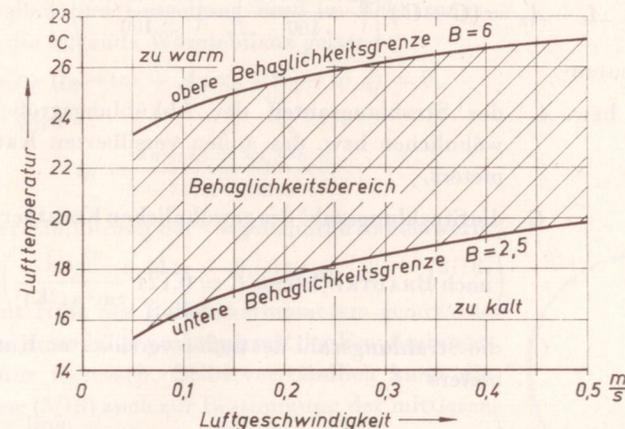


Bild 3/24. Behaglichkeitskurven bei bewegter Luft nach BRADTKE und LIESE

lufttemperaturen die entsprechenden Luftgeschwindigkeiten. Die funktionelle Auswertung ergab, daß man als untere Grenze der Behaglichkeit unabhängig von der Raumlufttemperatur $B = 2,5$ und als obere Grenze $B = 6$ setzen kann. Einige Forscher geben als untere Grenze $B = 3$ und als obere $B = 5$ an.

So bequem eine solche komplexe Klimamessung auch erscheint, ihr Anwendungsbereich ist begrenzt. Sie kann nie das subjektive Empfinden des Menschen völlig widerspiegeln.

3.3.3. Die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung und die Empfindungstemperatur

Über die Beziehung

$$t_e = 0,46 t_L + 0,54 t_U, s$$

ist die Empfindungstemperatur t_e mit der Lufttemperatur t_L und der mittleren Umgebungstemperatur t_U, s verknüpft.