

2 Nutzerbedürfnisse – Behaglichkeit

2.1 Einführung

Raumkomfort bedeutet für den Nutzer neben Anforderungen an Licht, Akustik etc. vor allem ein angenehmes Raumklima. Dafür zuständig sind Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik nebst zugehöriger Mess- und Regeltechnik.

Einflussfaktoren für das Behaglichkeitsempfinden sind:

Eigenschaften der Raumluft:

Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung, CO₂-Gehalt, Reinheit, Gerüche

Gegebenheiten des Raumes:

Temperatur der Umschließungsflächen, Einflüsse durch Beleuchtung und Geräusche

Personenbezogene Faktoren

Kleidung, Geschlecht, Konstitution, Gesundheit, Nahrungsaufnahme, Alter etc.

Jahreszeit

Art der Arbeit

...

Die vier kursiv hervorgehobenen Faktoren haben sich als die wesentlichen herausgestellt; entsprechend definiert die DIN 1946 T2 *Raumlufttechnik Gesundheitstechnische Anforderungen Behaglichkeit* als gegeben,

„wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Luft wünscht.“

Speziell thermische Behaglichkeit ist in dem Bereich Hauttemperatur $> 33^{\circ}\text{C}$ (darunter: frieren) und Kerntemperatur $< 37^{\circ}\text{C}$ (darüber: schwitzen) gegeben.

Die Temperaturempfindung ist richtungssensitiv, da die Sensoren auf der Haut angeordnet sind.

2.2 Lufttemperatur

Abhängig von Außentemperatur, Bekleidung und Tätigkeit soll die Raumtemperatur in bestimmten Bereichen liegen, vgl. Bild 2-1.

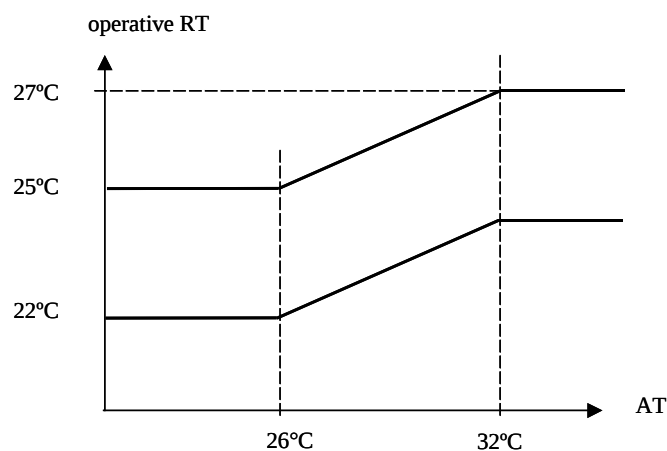


Bild 2-1: Zulässigkeitsbereich der Raumtemperatur (RT)
nach DIN 1946 T2

Diskussion:

Temperatur gemessen in Kopfhöhe (sitzend) bei min. 1 m Entfernung von Wand und Fenster.

Gültig für normale Bekleidung, leichte körperliche Arbeit

Im Winter eher niedrigere T., im Sommer eher höhere

Für jüngere Menschen eher niedrigere T., für ältere höhere.

je leichter die Bekleidung, desto höher die Temperatur

Im Sommer von außen kommend eher kühle Empfindung

Bei inneren Wärmelasten darf die RT höher steigen (obere Schraffur in Bild 2-2), bei Lüftungsanlagen mit sehr geringer Strömungsgeschwindigkeit wie sog. Quellluftanlagen darf die RT auch niedriger liegen (untere Schraffur)

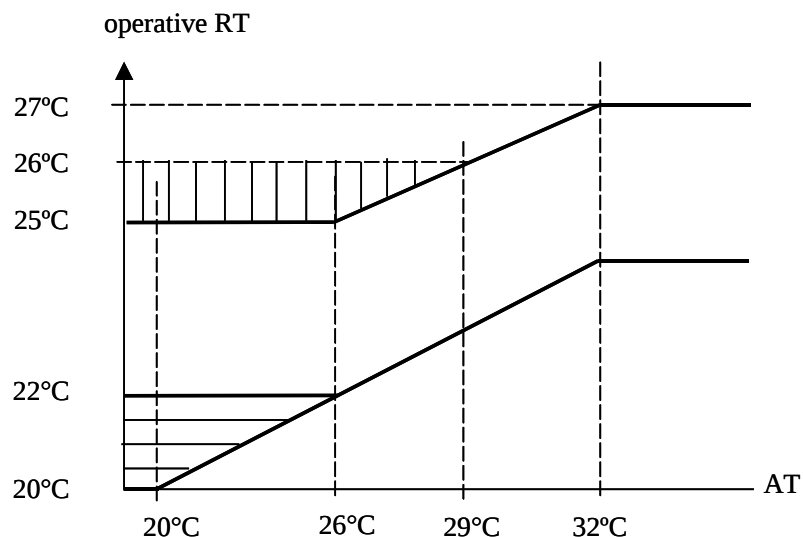


Bild 2-2: Zulässigkeitsbereich der RT nach DIN 1946 T2 bei inneren Wärmelasten
bzw. Quelllüftung

Tiefere RT (bis 12°C) sind zulässig bei schwerer körperlicher Arbeit.

Die Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung im Raum entscheidet ebenfalls über die Behaglichkeit. Ungleichmäßigkeiten in vertikaler wie horizontaler Richtung entstehen durch bauliche Gegebenheiten wie Anordnung der Fenster, Wärmedämmung, Lage der Heizkörper, Größe des Raumes und nicht zuletzt durch das jeweils geregelte Temperaturniveau.

Tendenziell schlechtere Gradienten entstehen bei höheren Temperaturen, schmalen Heizkörpern oder auch in der Anheizphase. Günstig wirken sich hingegen gute Wärmedämmung, dichte Fenster und gleichmäßiges Heizen aus.

Die Temperaturschichtung über der gesamten Raumhöhe (Temperaturgradient) soll 3 K/m im Aufenthaltsbereich nicht überschreiten und dabei die Temperatur 0,6m über dem Fußboden $\geq 21^\circ\text{C}$ sein. Für sitzende Tätigkeiten soll die Temperaturschichtung maximal 1,5-2K/m betragen.

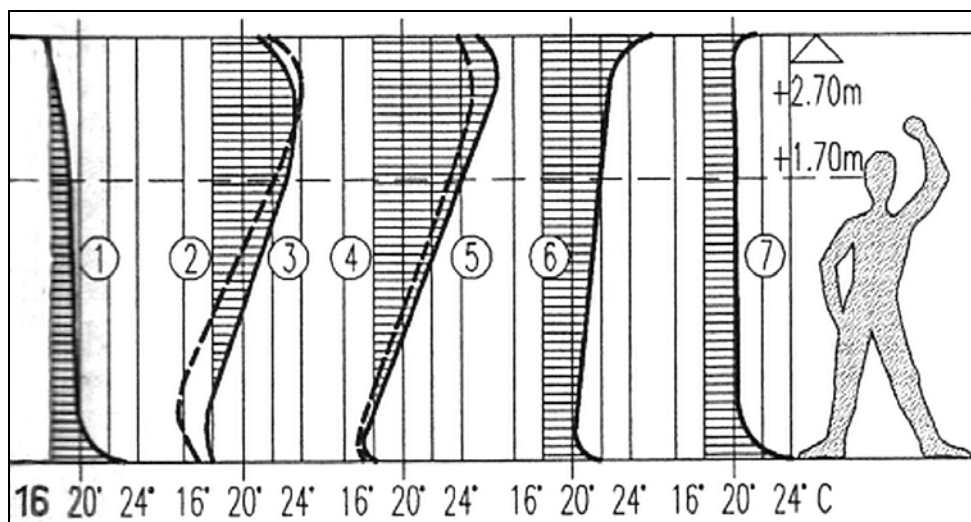


Bild 2-3: Charakteristische Lufttemperatur in Raummitte; es bedeuten:

- 1 Theoretisch ideale Temperaturverteilung
- 2 Radiatoren an Innenwand
- 3 Radiatoren an Außenwand
- 4 Einzelöfen an Innenwand

- 5 Luftheizung
- 6 Decken- Strahlungsheizung
- 7 Fußbodenheizung

2.3 Oberflächentemperaturen

Die empfundene Temperatur setzt sich zusammen aus Strahlungs- und Konvektionswärme:

$$t_0 = 0,5(t_a + t_r) \quad (1)$$

mit

t_0 = operative oder empfundene Raumtemperatur in °C

t_a = örtliche Lufttemperatur in °C

t_r = örtliche Strahlungstemperatur in °C

0,5 = Faktor für Luftgeschwindigkeit ($v = \leq 0,2$ m/s)

Die örtliche Strahlungstemperatur errechnet sich dabei aus

$$t_r = \sum (A \cdot t_k) / \sum A \quad (2)$$

mit:

A = Flächen wie Fenster, Wände, Heizkörper in m²

t_k = Oberflächentemperatur der o.g. Bauteile in °C

Eine Gleichheit von Luft- und Wandtemperatur wird als angenehm empfunden, s. Bild 2-4.

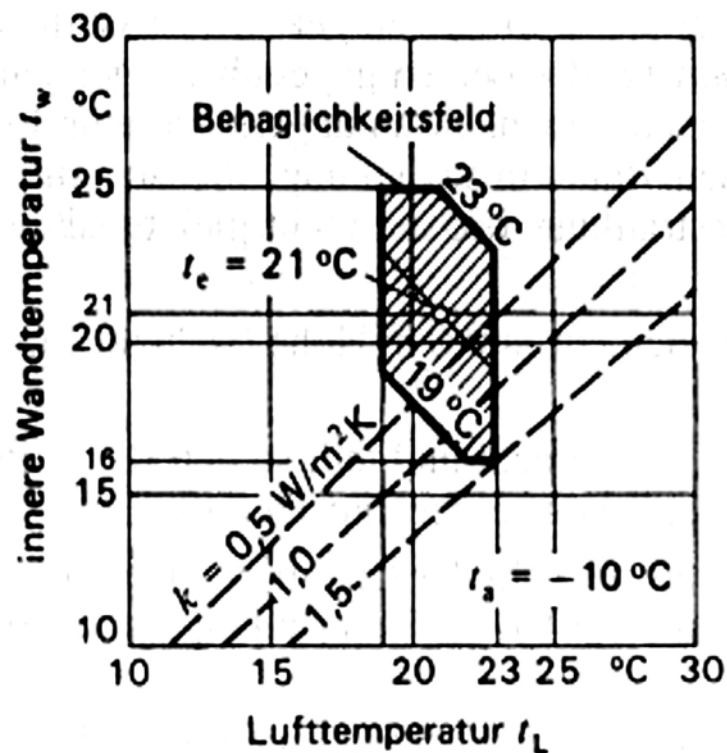


Bild 2-4: Behaglichkeitsfeld mit Wandtemperaturen; mit:
 t_w = innere Wandtemperatur (innere Oberflächentemperatur) in °C
 t_L = örtliche Lufttemperatur → neu t_a in °C
 t_o = Graph 19°C - 23°C → operative Raumtemperatur in °C
 k = Wärmedurchlasskoeffizient der Wände in W/m²K
 t_a = Außentemperatur → neu ϑ_a in °C

Die Wandtemperatur sollte minimal 16°C sein!

Kritisch in diesem Zusammenhang sind Fenster mit vergleichsweise hohen Wärmedurchlasswerten (Bild 2-5):

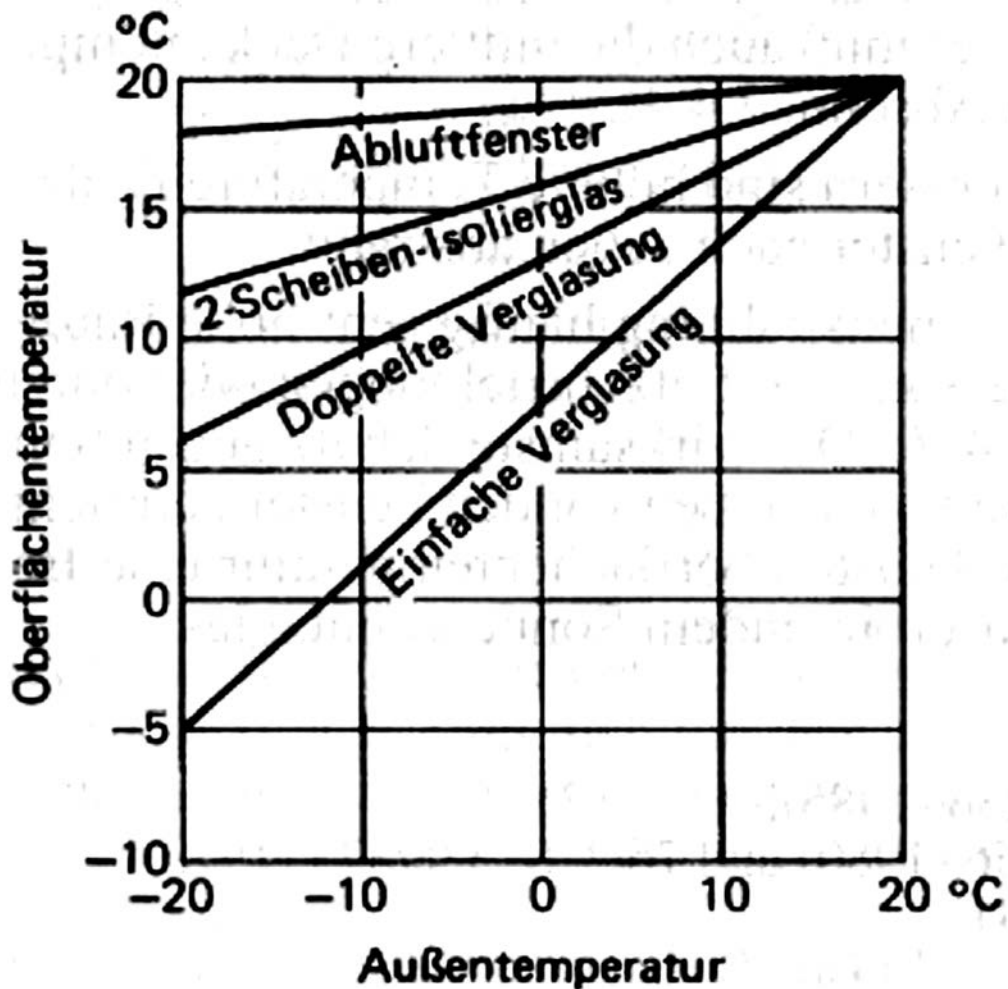


Bild 2-5: Oberflächentemperaturen von Fenstern

Ungleichmäßige Temperaturverteilungen der Raumbegrenzungsflächen werden als unangenehm empfunden; allgemein führen asymmetrische Wärmestrahlungsbelastungen zu Unzufriedenheit. Eine unsymmetrische Belastung von z.B. 20-30 W/m² ist bereits deutlich spürbar. Eine asymmetrische Belastung des Kopfes von mehr als 40 W/m² (Werte für Bild 2-6) bewirkt Unbehaglichkeit.

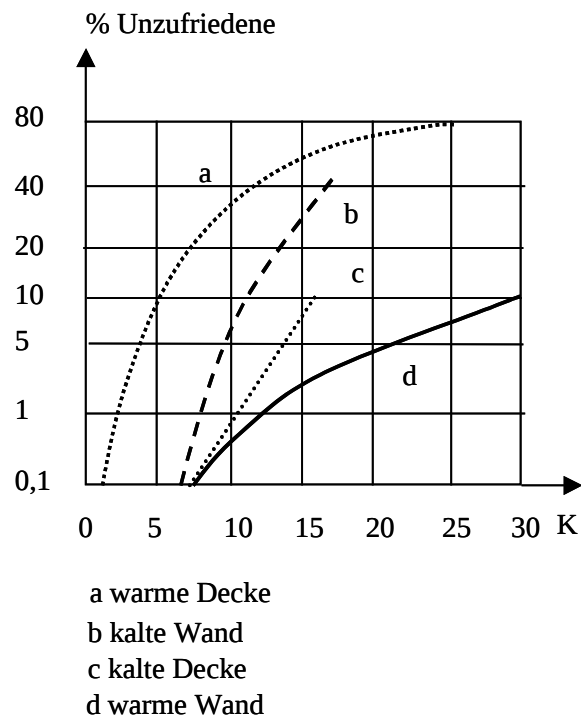


Bild 2-6: Zahl der Unzufriedenen bei Asymmetrie der Wand- bzw. Deckentemperatur, Operative Temperatur 22°C

Kritisch ist also eine Kombination aus kalter Wand und warme Decke, die umgekehrte Kombination aus warmer Wand und kalter Decke wird deutlich besser akzeptiert → Moderne Klimatisierungskonzepte arbeiten mit Wandheizkörpern und Kühldecken.

Einige Beispiele für asymmetrische Strahlungsbelastungen:

- Starke Sonneneinstrahlung: 350...450 W/m²
- Schutzkleidung erforderlich bei Belastungen > 300 W/m² auf mehr als die Hälfte des menschlichen Körpers

Aus den obigen Maximalwerten zur Unbehaglichkeit lassen sich folgende Empfehlungen zur Temperierung von Wandgrenzflächen ableiten:

Fußbodenheizungen sollten im Dauerbetrieb nicht über 27°C, bei Aufheizung kurzzeitig bis 29°C, in nicht begangenen Randzonen bis höchstens 35°C warm werden.

Deckenheizungen (wenn überhaupt) sind so auszulegen, dass bei einer Raumtemperatur von 20°C eine Strahlungsbelastung des Kopfes von 12 W/m² nicht überschritten wird.

2.4 Luftfeuchtigkeit

Details zur den Gesetzen der feuchten Luft folgen im Abschnitt „Lüftungstechnik“; ähnlich wie bei dem Verhältnis von Oberflächen- zu Raumtemperaturen lassen sich Bereiche angeben, in dem Raumlufttemperatur und Luftfeuchte in einem als angenehm empfundenen Verhältnis stehen:

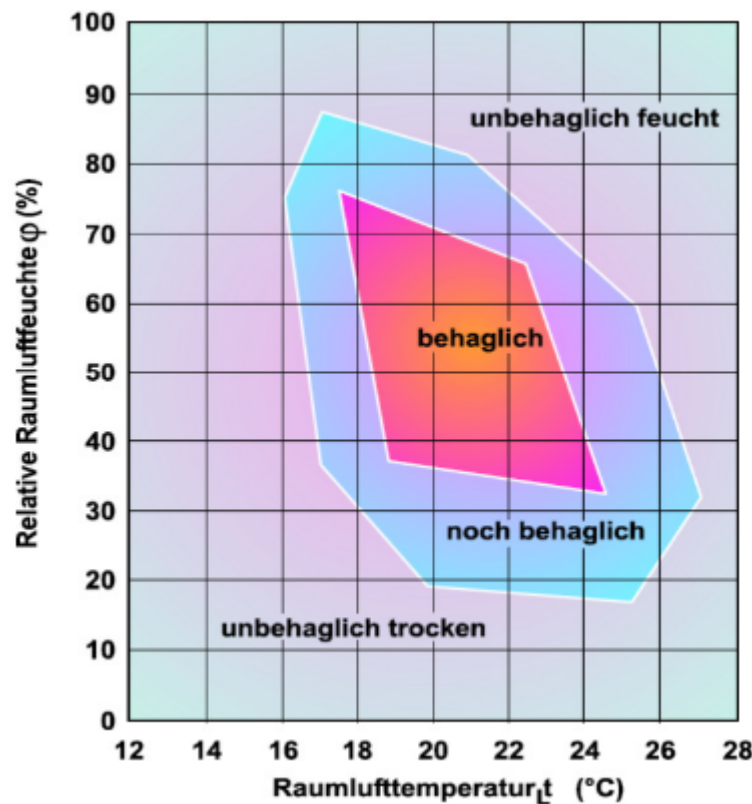


Bild 2-7: Behaglichkeitsbereiche für das Verhältnis von Raumlufttemperatur und relativer Raumluftfeuchte

2.5 Wärmehaushalt des Menschen

Die Kerntemperatur eines gesunden Menschen beträgt rund 37°C .

Wärmezufuhr erfolgt durch Verwertung von Nahrung. Die Wärmeabfuhr erfolgt vor allem über die Haut über folgende Mechanismen:

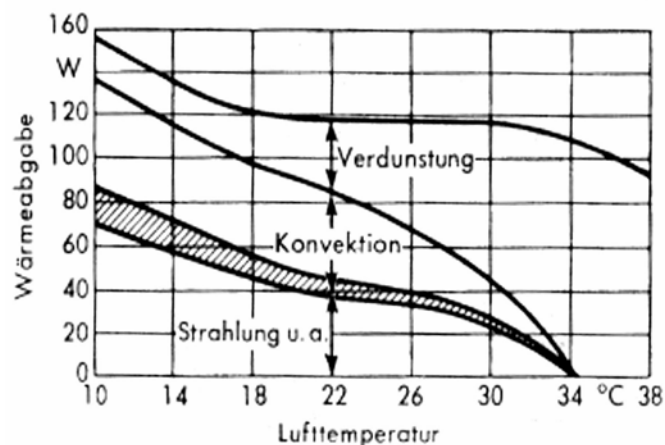


Bild 2-8: Wärmeabgabe des bekleideten Menschen bei leichter Tätigkeit

Wärmeabgabe ist also über einen Lufttemperaturbereich zwischen 18°C und 30°C annähernd konstant (entspricht im Mittel ca. 60 W/m^2 Wärmeabgabe über die Hautfläche).