

# Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte im Kontext der thermischen Behaglichkeit



Dipl.-Ing.  
Claus Händel,  
Geschäftsführer  
Technik,  
FGK e.V.



Dr.-Ing.  
Claudia Kandzia,  
Technische  
Referentin,  
FGK e.V.

Für ein optimales Raumklima sind die Raumtemperatur und die Luftfeuchte wichtige Einflussfaktoren, die nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können: So verändert sich die relative Luftfeuchte, wenn die Lufttemperatur ansteigt oder sinkt. Weiterhin kann sich eine hohe Raumtemperatur bei hoher Feuchte der Luft nochmals höher anfühlen.

Das Verhältnis zwischen Luftvolumen und dem darin enthaltenen Wasserdampf wird als „relative Feuchte  $\varphi$ “ bezeichnet. Kalte Luft kann weniger Feuchtigkeit aufnehmen als warme Luft. Gelangt kalte Luft in den Raum und erwärmt sich dort, sinkt die relative Luftfeuchtigkeit. Dieser physikalische Zusammenhang ist im Mollier-h-x-Diagramm zusammengetragen. Das verein-

fachte Schaubild dieses Diagramms in Abbildung 1 zeigt die Werte der relativen Feuchte  $\varphi$  in Abhängigkeit von der Temperatur. Der Wassergehalt beträgt hier konstant 2,0 g/kg Raumluft. Die relative Feuchte hingegen verändert ihren Wert von  $\varphi = 53$  Prozent bei einer Temperatur von  $t = 0^\circ\text{C}$  auf einen Wert von  $\varphi = 14$  Prozent bei einer Temperatur von  $t = 20^\circ\text{C}$ .

## Wärmehaushalt des Menschen

Die Kerntemperatur des menschlichen Körpers muss konstant zwischen  $36$  und  $37^\circ\text{C}$  liegen. Wird durch erhöhten Stoffwechsel oder Bewegung Wärme freigesetzt, muss diese an die Umgebung abgegeben werden. Dafür stehen dem Menschen die Mechanismen „Konvektion“, „Strahlung“ und „Verduns-

ung“ zur Verfügung. Sie sind alle temperaturabhängig.

Für die Konvektion ist ein Temperaturunterschied zwischen der umgebenden Luft und der Hauttemperatur erforderlich. Steigt die Temperatur, funktioniert die Wärmeabfuhr immer weniger. Bei Werten oberhalb von  $35^\circ\text{C}$  wird sogar Wärme von der Umgebung auf den Körper übertragen. Um überschüssige Wärme abzutransportieren, steht dann nur noch die Verdunstung zur Verfügung. Sie wird direkt durch die relative Luftfeuchte beeinflusst. Trockene und warme Luft kann den Schweiß deutlich einfacher aufnehmen, sodass die Feuchtigkeit auf der Haut schneller verdunstet. Ist die Luft hingegen sehr feucht, wird die Verdunstung verlangsamt. Sind die Temperaturen der Hautoberfläche und der Luft gleich, erfolgt die Thermoregulation fast ausschließlich über das Schwitzen. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 2 dargestellt.

## Zusammenhang zwischen Raumlufttemperatur und relativer Feuchte

Abbildung 3 zeigt den Bereich der Raumlufttemperatur und der Raumluftfeuchte, in dem sich Menschen behaglich fühlen. Das Diagramm verdeutlicht nochmals den Zusammenhang zwischen den beschriebenen Größen: Menschen fühlen sich beispielsweise bei einer Raumlufttemperatur von  $20^\circ\text{C}$  und einer relativen Feuchte von  $\varphi = 50$  Prozent wohl. Steigt die relative Feuchte auf einen Wert von  $\varphi = 90$  Prozent beziehungsweise sinkt sie auf einen Wert von  $\varphi = 20$  Prozent, wird es unbehaglich.

Menschen können die Luftfeuchtigkeit im Gegensatz zur Temperatur und zur Luftbewegung nicht direkt wahrnehmen. Indirekt macht sich eine zu niedrige Luftfeuchte durch trockene Schleimhäute bemerkbar; eine zu hohe Feuchte wird als Schwüle empfunden.

Mittel- und nordeuropäische Menschen fühlen sich im Winter bei Raumtemperaturen zwischen  $21^\circ\text{C}$  und  $22^\circ\text{C}$  bei einer Raumluftfeuchte von  $40$  bis  $50$  Prozent am wohlsten. Die Luftfeuchtigkeit im Innenraum spielt jedoch nicht nur in Bezug auf unser Wohlbefinden eine entscheidende Rolle. Sie hat auch Einfluss auf unsere Gesundheit: Eine Folge zu geringer Luftfeuchtigkeit

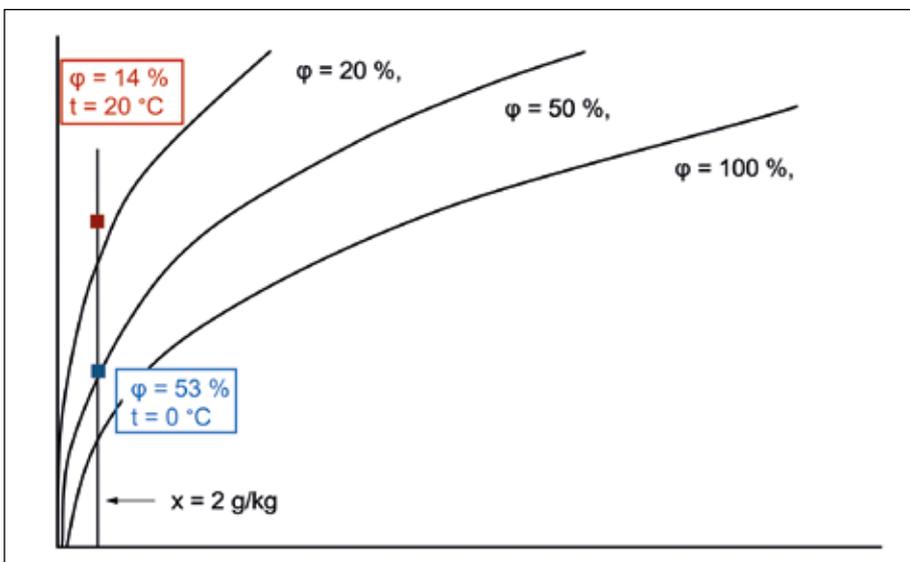


Abbildung 1: Veränderung der relativen Luftfeuchte bei sich ändernder Temperatur und konstanter Wasserbeladung

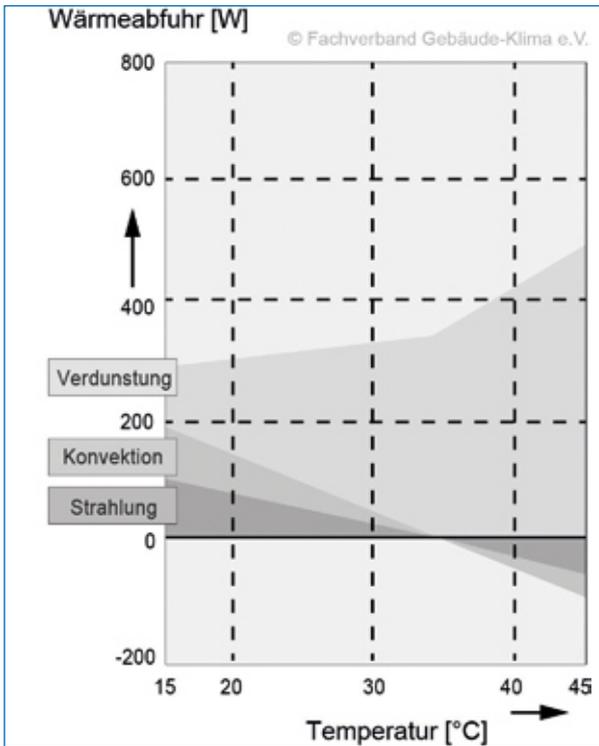


Abbildung 2: Wärmehaushalt des Menschen nach Steimle/Schädlich

Bedingungen schrumpfen Aerosole schneller, werden somit leichter und schweben länger in der Luft. Wird eine relative Luftfeuchtigkeit im Raum von 40 Prozent eingehalten, kann bei einer Vielzahl von Infektionen das Risiko einer Übertragung minimiert werden. Das Scofield-Sterling-Diagramm [1] in Abbildung 4 zeigt, dass die Belastung der Raumluft mit unerwünschten Mikroorganismen in einem Bereich der relativen Feuchte zwischen 40 und 60 Prozent am geringsten ist.

### Zusammenhang der relativen Feuchte und der Raumlufttemperatur nach DIN EN ISO 7730

Im Folgenden wird eine Übersicht über den Prozentsatz Unzufriedener im Innenraum bei Variation der relativen Feuchte und der Raumlufttemperatur dargestellt. Grundlage für die Berechnungen ist ein Berechnungstool [2] auf Basis des formelmäßigen Zusammenhangs aus der DIN EN ISO 7730 [3]. In dieser Norm ist ein Verfahren hinterlegt, mithilfe dessen das allgemeine menschliche Wärmeempfinden und der Grad der thermischen Unbehaglichkeit vorausgesagt werden können, für Menschen in einem gemäßigten Umgebungsklima. Das ermöglicht eine analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit anhand der Berechnung des PMV (predicted mean vote) und des PPD (predicted percentage of dissatisfied). Diese Zusammenhänge wurden bei einer konstanten relativen Feuchte von  $\phi = 50$  Prozent untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass im gemäßigten Umgebungsklima die Luftfeuchte lediglich einen geringen Einfluss auf das Wärmeempfinden des Menschen hat. Es wird angenommen, dass eine um zehn Prozent höhere relative Feuchte als genauso warm empfunden wird, wie eine um 0,3 K höhere operative Temperatur. Dabei beschreibt die operative Lufttemperatur das Zusammenwirken der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen.

In Abbildung 5 ist für einen Bereich der relativen Feuchte zwischen 20 und 70 Prozent bei einer Variation der Temperatur zwischen 20 und 26 °C der Prozentsatz Unzufriedener (PPD) dargestellt. Für alle Berechnungen beträgt die Strahlungstemperatur konstant 20 °C. Die in dieser Abbildung dargestellten Ergebnisse erlauben die Interpretation, dass in einem Bereich zwischen 20 und 26 °C eine Erhöhung der Raumtemperatur um 0,5 K als ebenso warm empfunden wird, wie eine Erhöhung der relativen Feuchte um zehn Prozent.

Es stellt sich jedoch die Frage, ob die in Abbildung 5 dargestellten Ergebnisse, die einen konkreten Zusammenhang zwischen re-

können beispielsweise gesundheitliche Beeinträchtigungen der Atemwege, der Augen und der Haut sein. Trockene Schleimhäute können eine Ursache für eine geschwächte Infektionsbarriere des Menschen sein.

Außerdem wirkt sich die relative Luftfeuchte indirekt auf die Lebensdauer von Krankheitserregern und die Schwebefähigkeit der „Keimtröpfchen“ aus: Die Viren werden in Aerosolen transportiert. Unter trockenem

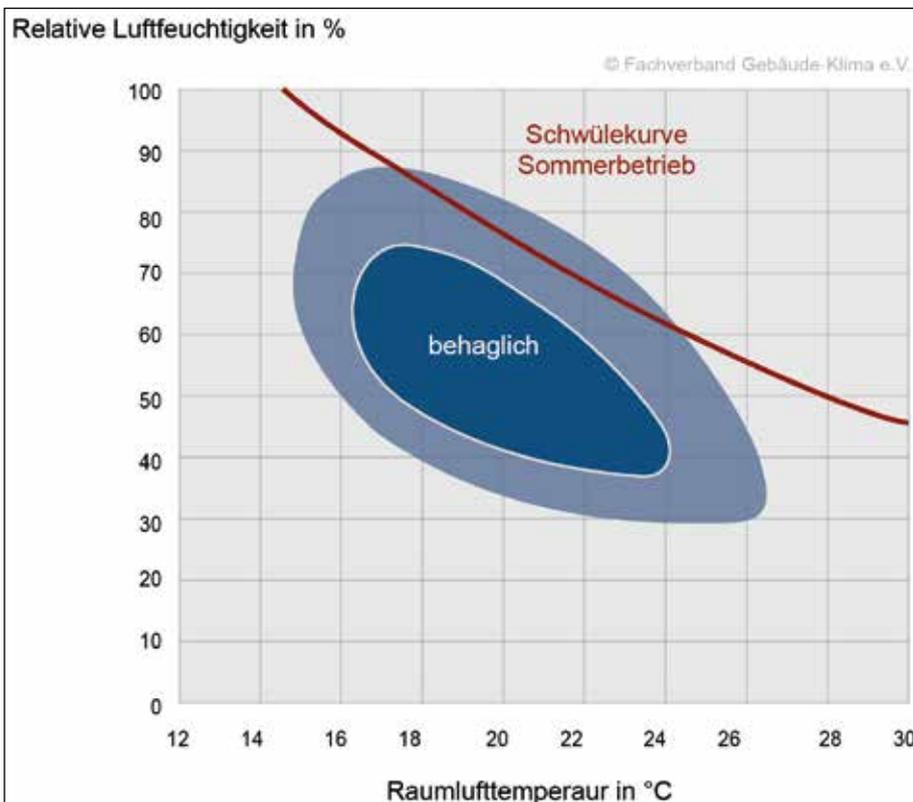


Abbildung 3: Kennfeld der Behaglichkeit in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und relativer Feuchte



Grafik: FGK e.V. nach Scofield und Sterling, ASHRAE-Journal 34

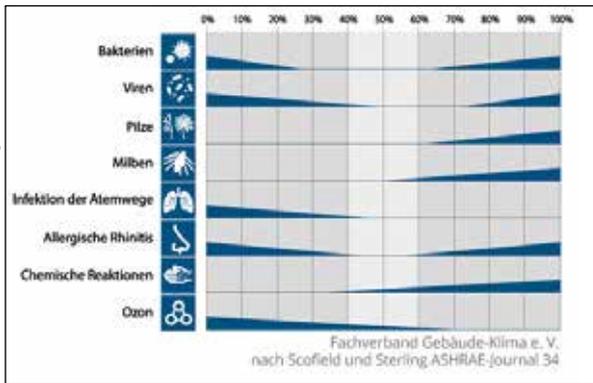


Abbildung 4: Scofield-Sterling-Diagramm - Optimale Raumluftfeuchtigkeit

lativer Feuchte und Raumlufttemperatur zeigen, anhand der oben genannten vereinfachten Annahmen in der DIN EN ISO 7730 tatsächlich getroffen werden können. Diesem Aspekt schenkte Fang [4] bereits 1994 entsprechende Aufmerksamkeit: Er führte Untersuchungen für drei konstante Raumtemperaturen (18, 23 und 28 °C) bei variierender relativer Feuchte durch und ermittelte den Prozentsatz Unzufriedener. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 dargestellt.

Für alle drei untersuchten Temperaturen ist ein Anstieg des Prozentsatzes Unzufriedener zu verzeichnen, wenn die relative Feuchte erhöht wird. Im Fall höherer Temperaturen ist der Verlauf deutlich steiler als bei niedrigeren Temperaturen. Außerdem ist festzustellen, dass sich gleiche PPD-Werte für unterschiedliche Randbedingungen ergeben. Sowohl die Untersuchung bei einer relativen Feuchte von 30 Prozent und einer Temperatur von 23 °C als auch die Untersuchung bei einer Temperatur von 18 °C und einer relativen Feuchte von 60 Prozent ergaben einen PPD-Wert von etwa zehn Prozent. Ein PPD-Wert von etwa 20 Prozent ergab sich sowohl bei Randbedingungen von 30 Prozent relativer Feuchte und einer Temperatur von 28 °C als auch bei einer Temperatur von 23 °C und einer relativen Feuchte von 50 Prozent.

Die in diesem Beitrag dargestellten Zusammenhänge verdeutlichen, dass weiterer Forschungsbedarf besteht, um die Abhängigkeit zwischen Raumtemperatur und relativer Feuchte detailliert zu betrachten. Nur so ist es möglich, konkrete Zusammenhänge zwischen den beiden Größen aufzuzeigen und entsprechende Empfehlungen für die Einhaltung raumklimatischer Randbedingungen abzuleiten. ◀

Grafik: FGK e.V.

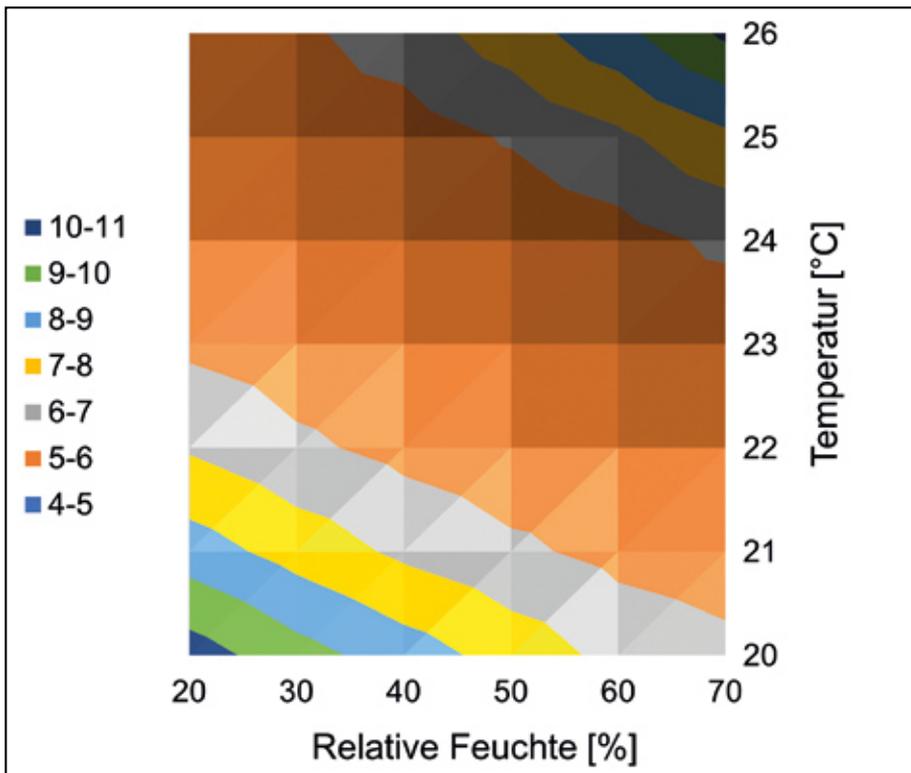


Abbildung 5: Angabe des Prozentsatzes unzufriedener Personen in Abhängigkeit von der relativen Feuchte und der Temperatur

Grafik: FGK e.V.

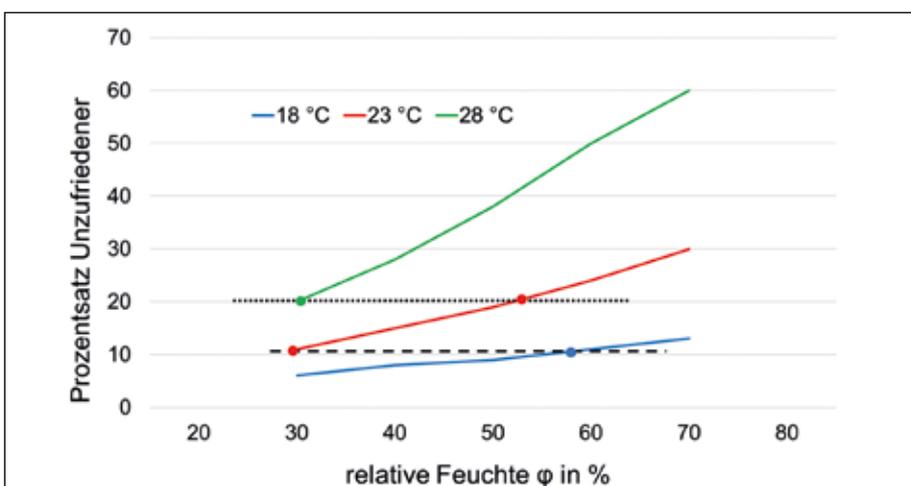


Abbildung 6: Einfluss von Temperatur und Feuchte auf den Prozentsatz Unzufriedener

Literatur:

- [1] Scofield u. Sterling, ASHRAE Journal 34.
- [2] [https://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk\\_miljoe/PMV-PPD.html](https://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/PMV-PPD.html).
- [3] DIN EN ISO 7730 „Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005)“; Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005.
- [4] L. Fang, G. Clausen and P.O. Fanger: Impact of Temperature and Humidity on Perception of Indoor Air Quality During Immediate and Longer Whole-Body Exposures, Indoor Air 8 (1998), S. 276-284.