

Klimatechnik

Gilt der Bereich der behaglich empfundenen relativen Feuchte auch bei Mischlüftung?

Klaus Fitzner, Berlin

Die vertikalen Temperatur-, Geschwindigkeits- und Konzentrationsprofile in Räumen mit Misch- und Quellluftströmung unterscheiden sich deutlich. Die Auswirkung dieser Unterschiede auf die Grenzschicht an der Oberfläche von Personen wurde bisher wenig untersucht. Vieles deutet darauf hin, dass es große Unterschiede der Wärme- und Stoffübergangsvorgänge gibt.

In einer einfachen Voruntersuchung wurde ein beheizter Zylinder mit befeuchteter Oberfläche auf einer Waage in diese verschiedenen Raumströmungen gestellt. Seine Gewichtsabnahme wurde gemessen bei Quell- und bei Mischluftströmung bei variierten thermischen Lasten im Raum.

Bei der Mischlüftung ist die Grenzschicht dünner, der Stoff- und Wärmetransport besser, so dass auf der gesamten Zylinderoberfläche etwa 20 % mehr Wasser verdunstet. Eine von 25 auf 100 W/m² erhöhte Kühllastdichte im Raum vergrößert bei beiden Strömungsformen die Wasserdampf-abgabe um 30 %. Betrachtet man die lokale Wasserdampf-abgabe, so sind am Fuß des Zylinders die Werte ungefähr gleich groß, an der Oberseite des Zylinders sind sie in der Quellluftströmung ungefähr 30 % kleiner.

Das kann eine Erklärung dafür sein, dass es in klimatisierten Räumen mit Mischlüftung häufiger Klagen über zu trockene Luft gibt als in Räumen mit freier Lüftung, obwohl die relative Feuchte in klimatisierten Räumen größer ist. Bei der freien Lüftung liegt Quelllüftung vor, und die thermischen Lasten sind im allgemeinen klein. Die in der Überschrift gestellte Frage muss deshalb wohl mit „nein“ beantwortet werden.

Einleitung

Bis heute gibt es keine zufrieden stellende Antwort auf die Frage, welche Raumluftheuchte für thermische Behaglichkeit erforderlich ist. Vielleicht gibt es sie auch gar nicht, vor allem weil verschiedene Körperpartien davon ganz unterschiedlich betroffen sind. Rietschel [1] hatte sich schon mit dem Thema auseinandergesetzt. Er schlug 1888 vor, eine relative Feuchte von 40 bis 70 % in belüfteten Räumen anzustreben. Man kann davon ausgehen, dass die damaligen und heute noch gültigen Erfahrungswerte überwiegend aus Räumen mit Quelllüftung stammen, weil Mischlüftung erst später mit der Anwendung von Ventilatoren eingeführt wurde.

Es gibt nur wenige Betrachtungen zum Thema Luftfeuchtigkeit und Behaglichkeit, bei denen auf den Einfluss der Strömung im Raum eingegangen wird. In einer Untersuchung von Olesen et al. [3] stellte sich bei so unterschiedlichen Anströmgeschwindigkeiten wie <0,1 m/s und 0,8 m/s bei einer sitzenden Person keine veränderte Wasserabgabe ein, obwohl der Stoffübergangskoeffizient sich stark geändert haben musste. Das lässt sich am besten durch die Regelung durch den Körper erklären, der die Leistungsabgabe konstant zu halten versucht. Durch verringerte Durchblutung der Körperschale wird sowohl die Oberflächentemperatur wie auch die Wasserdampfdiffusion reduziert.

Es gibt aber verschiedene vergleichende Untersuchungen von klimatisierten und nicht klimatisierten Räumen. Man kann davon ausgehen, dass die nicht klimatisierten Räume überwiegend Quellluftströmung und die klimatisierten Mischluftströmung hatten, wenn es sich nicht um Untersuchungen aus allerletzter Zeit handelt. Es gibt verschiedene Hinweise, dass in klimatisierten Räumen Personen eher über zu trockene Luft klagen als in nicht klimatisierten, obwohl die Luftfeuchte in den klimatisierten Räumen höher ist. Hier liegt die Vermutung nahe, dass die größeren Stoffübergangskoeffizienten in der Mischströmung einen Einfluss haben können.

Klagen über zu trockene Luft und trockene Schleimhäute

In der Studie von Kröling über Gesundheits- und Befindensstörungen [4] wird u.a. die empfundene Feuchtigkeit abgefragt. Von 724 Berufstätigen in klimatisierten Gebäuden klagen 57 %, von 508 in nicht klimatisierten 31 % über zu trockene Luft. 67 % in den klimatisierten und 37 % in den nicht klimatisierten Gebäuden halten die Luft im Raum für zu trocken.

Bei der Untersuchung wurde die Luftfeuchte registriert. In den klimatisierten Gebäuden betrug die relative Feuchte im

Autor



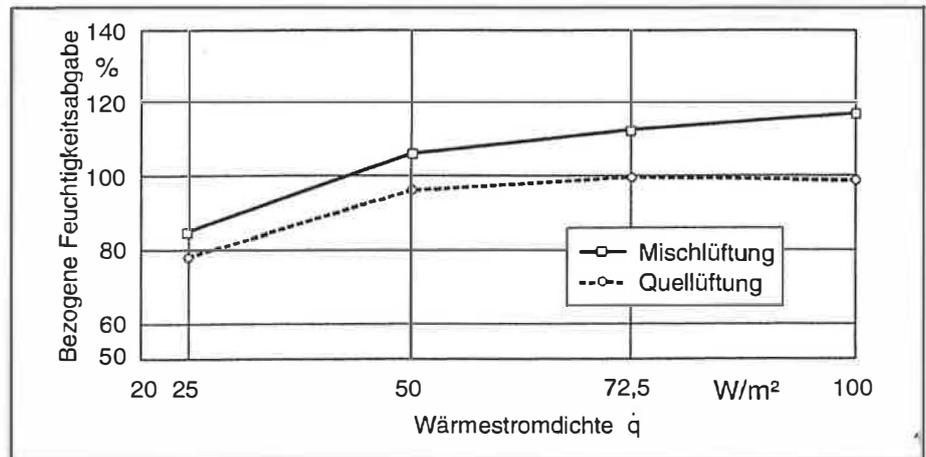
Prof. Dr.-Ing. Klaus Fitzner VDI, Jahrgang 1937, ist seit 1991 Professor am Hermann-Rietschel-Institut für Heizungs- und Klimatechnik der TU Berlin.

Mittel 47 %, in den nicht klimatisierten 25 %

In der Untersuchung [4] wurden auch Messungen des örtlichen Wärmeübergangskoeffizienten an den Personen durchgeführt. Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient ist in den klimatisierten Gebäuden etwa 30 % höher. Aufgrund der Analogie zwischen Stoff- und Wärmeübergang ist auch der Stoffübergang in den klimatisierten Räumen größer und das Wasser an der Körperoberfläche kann besser verdunsten.

Mögliche Einflüsse der Raumströmung auf den Stoffübergang

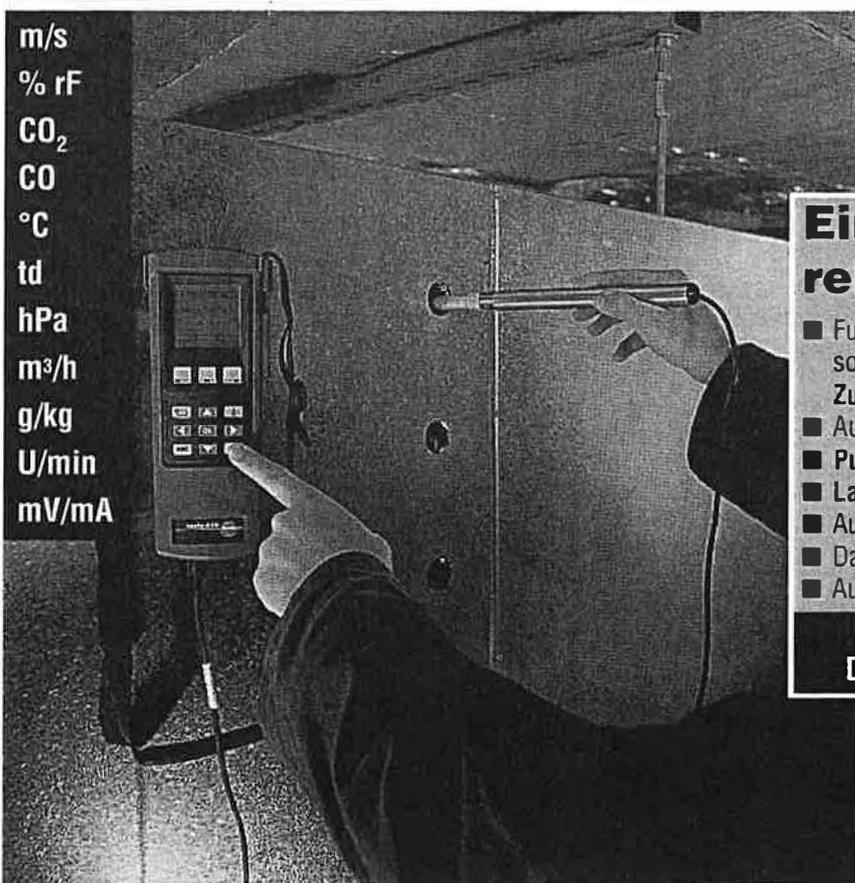
Die Unterschiede der Wärmeübergangskoeffizienten lassen sich durch die verschiedenen Strömungsbilder bei Quell- und Mischlüftung gut erklären. Bei der Quelllüftung bewegt sich eine Auftriebsströmung durch Konvektion angetrieben rund um den Körper von unten nach oben. Mit zunehmender Höhe wird die Grenzschicht dicker, sie wird er-



wärmt und befeuchtet, und der Stoff- und Wärmeübergang nimmt mit der Höhe ab. Bei der Mischlüftung ist die Auftriebsströmung am Körper schwächer ausgebildet, und sie wird durch die Strömung im Raum stärker gestört. Der Stoff- und Wärmeübergangskoeffizient ändert sich mit der Höhe nicht wesentlich.

Wasserabgabe für beide Strömungsformen in Abhängigkeit von der thermischen Last

Raumluft o.k. ➔ RLT-Anlagenabnahme o.k.!



Ein Messgerät für alle relevanten Messgrößen

- Funktionsfähigkeit einer Raumlufttechnischen Anlage sofort an Ort und Stelle ohne aufwendige Zusatzberechnungen beurteilen!
- Automatische Fehlerberechnung.
- Punktuelle Kontrolle.
- Langzeitüberwachung durch Speicher im Gerät.
- Automatische Turbulenzgrad-Berechnung.
- Daten vor Ort drucken.
- Auswerten im PC.

Ideal für Messungen nach VDI 2080, DIN EN ISO 1946, Teil 2, und EN 12599

Testo GmbH & Co.

Testo-Str. 1 • 79853 Lenzkirch
 ☎ (07653) 681-410 • Fax (07653) 681-103
 E-Mail: info@testo.de • Internet: www.testo.de

Die Verdunstung an einer feuchten Oberfläche ist proportional 1. zur Dampfdruckdifferenz zwischen Körperoberfläche und Raumluft und 2. zum Stoffübergangskoeffizienten. Die Abhängigkeit der Wasserdampfabgabe von der Dampfdruckdifferenz wird bei Überlegungen zur Luftfeuchte im allgemeinen bedacht, indem die relative Feuchte beachtet wird, die Abhängigkeit vom Stoffübergangskoeffizienten wird dagegen selten mit einbezogen.

In einem Versuchsaufbau, der schon früher beschrieben wurde [5], ergaben sich die in **Bild 1** dargestellten Ergebnisse für die Wasserdampfabgabe für die beiden Strömungsformen und die variierte Kühllast. Man kann an den Ergebnissen erkennen, dass sich zwei wichtige Effekte in der Grenzschicht eines beheizten Zylinders bei Quell- und Mischlüftung abspielen.

1. Die Feuchtigkeitsabgabe nimmt bei beiden Strömungsformen mit der thermischen Last im Raum zu. Bei der Variation von 25 auf 100 W/m² steigt die Verdunstung ungefähr um 30 %.

2. Die Stoffabgabe ist bei der Mischlüftung über die gesamte Oberfläche gemittelt 20 % größer.

Man kann davon ausgehen, dass die thermischen Lasten in nicht klimatisierten Räumen niedrig sind und Quelllüftung vorliegt und in klimatisierten Räumen die Lasten hoch sind, denn sonst würde nicht klimatisiert, und überwiegend Mischlüftung vorliegt. Die beiden Effekte multiplizieren sich deshalb im Normalfall.

Betrachtet man die Austrocknung einzelner Körperpartien, z.B. des Auges, so ist zu beachten, dass der örtliche Stoffübergangskoeffizient bei der Quelllüftung von unten nach oben abnimmt. Die Austrocknung der Augen und der Schleimhäute kann deshalb bei Mischlüftung ungefähr doppelt so hoch sein wie bei Quelllüftung bei gleicher thermischer Last, und nochmals größer werden, wenn unterschiedliche thermische Lasten verglichen werden.

Die Unterschiede liegen in der glei-

chen Größenordnung wie bei den oben erwähnten Wärmeübergangskoeffizienten.

Bei der Austrocknung der Schleimhäute im Atemtrakt sind nicht so große Unterschiede zu erwarten, weil sie bei Quelllüftung nur dadurch geringer werden kann, dass die eingeatmete Luft bei Quelllüftung wegen der dickeren Feuchtigkeitsgrenzschicht feuchter ist. Dazu müsste noch geklärt werden, wie groß der aus dem Grenzschichtbereich eingeatmete Anteil ist.

Betrachtet man das in der Norm DIN 1946 Blatt 2 vorgegebene Behaglichkeitsfeld für feuchte Luft und nimmt man an, dass hierin die Ergebnisse früherer Erfahrungen mit Quellluftströmungen eingegangen sind, so könnte man ein neues Feld errechnen, für das das Produkt aus Stoffübergangskoeffizient und Dampfdruckdifferenz gleich groß ist. Die Verschiebung ist so groß, dass die Sättigungslinie erreicht würde, was aus anderen Gründen nicht möglich ist. Durch den Einfluss der Kleidung, aber auch durch Regelungsvorgänge des Körpers wird der Unterschied in Wirklichkeit kleiner sein. Der Körper wird versuchen, die Wärmeabgabe durch Konvektion, Strahlung und Verdunstung konstant zu halten. Er verringert deshalb die Wärmeabgabe vermutlich durch Absenken der Oberflächentemperatur, was einhergehen wird mit einer Reduzierung der Wasserdampfdiffusion durch die Körperoberfläche. Eine Abhängigkeit der sogenannten Respiratio Insensibilis Cornealis [7] von der relativen Luftfeuchte ist aus der Literatur bekannt. Bei 25 % r. F. liegt der höchste Wert und beträgt etwa 7 g/(m²h). Von dort fallen die Werte nach 0 % und 75 % ungefähr linear auf 4 g/(m²h) ab. Selbst wenn die Wasserdampfabgabe auf der gesamten Körperoberfläche in beiden Strömungsformen nicht anders ist, was man annehmen kann, werden für die Personen doch deutliche Unterschiede auftreten, wie eine kürzlich geführte Diskussion ergab [6]. Durch den besseren Stoffübergang trocknet die Haut außen stärker aus.

Durch die reduzierte Wasserabgabe infolge der Körperregulation gelangt weniger Wasser an die Oberfläche, so dass die Austrocknung der Haut von beiden Seiten verstärkt wird. Auf der gesamten Körperoberfläche, vor allem aber im Bereich der Schleimhäute, vor allem der Augen, ist in jedem Falle mit Unterschieden zu rechnen, weil neben dem in der Quellluftströmung verringerten Stoffübergangskoeffizienten die Körpergrenzschicht einen höheren Wassergehalt hat.

Das Thema ist wichtig genug, dass es möglichst bald näher untersucht werden sollte. Wenn sich die hier angestellten Überlegungen bestätigen sollten, könnte ein Ergebnis sein, dass die thermische Last in Räumen mit Mischlüftung, die zur Zeit zur Vermeidung von Zugserscheinungen schon bei <100 W/m² liegt, weiter begrenzt werden sollte.

H 133

Literatur

- [1] Rietschel, H.: Über das „Sättigungsdefizit“ als Maßstab für den angemessenen Feuchtigkeitsgehalt der Luft erwärmter Räume. *GI* No 1, 1888, S. 1-9.
- [2] Rietschel, H.: *Lüftungs- und Heizungsanlagen*. Berlin, Verlag von Julius Springer, 1902.
- [3] Olesen, Søren, J., Bassing, P. O., Fanger, P.: *Physiological Comfort Conditions at sixteen Combinations of Activity, Clothing, Air Velocity and Ambient Temperature*. ASHRAE Transactions, Vol. 78, Part II, 1972.
- [4] Kröling, P.: *Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden*. W. Zuckerschwert Verlag, München, Bern, Wien 1985.
- [5] Fitzner, K., O. Zeidler, K. Kriegel: *Einfluss der Raumluftströmung auf die Wasserdampfabgabe eines beheizten Zylinders*, DKV Jahrestagung 1999.
- [6] E-Mail-Diskussion mit Prof. Kirsch, FU Berlin.
- [7] Baartz, F.-J.: *Die Hautwasserabgabe des Menschen unter extremen Umweltbedingungen*, Meteorologische Abhandlungen Institut für Meteorologie, FU Berlin, Serie A Monographien, Band 9, Heft 2, Verlag von Dietrich Reimer, Berlin 1996.