

Schlüsselwörter: Behaglichkeit · Wasser-  
dampf · Textilien · Messung · Modell

Die Aussagen über behagliche Raumluftzustände im Sommer weisen insbesondere beim Feuchtegehalt eine beachtliche Streuung auf. Im Kern geht es darum, welchen Anteil an der Wärmeregulation des Körpers die Verdunstung übernehmen kann. Bei erhöhten Raumtemperaturen muss die Verdunstung einen größeren Anteil übernehmen. Dafür muss ein ausreichend großer Partialdruckunterschied zwischen der Hautoberfläche und der Raumluft vorhanden sein. Weiterhin ist der Widerstand der Kleidung gegenüber Diffusion des Wasserdampfes zu berücksichtigen. Theoretische Überlegungen, wonach sich der Partialdruck an der Hautoberfläche nahezu bei Sättigung – entsprechend der jeweiligen Hautoberflächentemperatur – als behaglich einstellt, scheinen sich anhand erster experimenteller Untersuchungen nicht zu bestätigen. Im Sinne der thermischen Behaglichkeit muss das Schwitzen als Überreaktion des Körpers auf eine mangelnde Wärmeabgabe verhindert werden. Dazu werden theoretische und experimentelle Überlegungen vorgestellt.

### Considerations on the Humidity at Summer Conditions

Keywords: thermal comfort · water vapour · textiles · measurements · modelling

There are some different statements about summer condition relating to humidity. The most important question is: which amount of heat regulation can be realized by evaporation. In case of higher temperatures it is necessary that the evaporation becomes more important. For this aim a greater pressure difference in the water vapour between the skin and the ambience is required. Furthermore the resistance of the clothes is to consider. Some first experimental results are represented.

### Autoren



Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke  
Institut für Luft- und Kälte-  
technik gGmbH, Dresden

# Überlegungen zur Raumluftfeuchte unter sommerlichen Bedingungen<sup>1</sup>

## 1. Einleitung

Die thermische Behaglichkeit in Räumen wird gemäß EN ISO 7730 [1] definiert. Darin werden die Umgebungsparameter bestimmt, unter denen die Nutzer die allgemeine Behaglichkeit als akzeptabel betrachten. Die relative Luftfeuchte hat bei einem gemäßigten Umgebungsklima von etwa 50 % rel. Feuchte nur einen geringen Einfluss auf das Wärmeempfinden. Die europäische Normung empfiehlt in der DIN EN 15251 [2] je nach Raumkategorie Auslegungswerte für den Entfeuchtungsfall zwischen 50 und 70 %, wobei eine Begrenzung auf einen Feuchtegehalt von 12 g/kg empfohlen wird. Der Entwurf der VDI 4706 [3] empfiehlt die Anwendung der Klasse II als Basis für den Neubau und die sanierten Bestandsgebäude. Die obere Grenze der relativen Luftfeuchte liegt bei 65 % und einem Feuchtegehalt von 11,5 g/kg. Die für die Kühllastberechnung anzusetzenden Personenlasten werden in der VDI 2078 [4] beschrieben. Für den Aktivitätsgrad I bis II (Bürotätigkeit) ergeben sich Lasten entsprechend Tabelle 1. Gemäß den Gleichungen nach Fanger besteht bei thermischer Behaglichkeit ein Gleichgewicht von Wärmeentwicklung und Wärmeabgabe, siehe Gleichung (1).

$$\dot{Q}_M = M - P_{ex} = \dot{Q}_{Atm} + \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_f \quad (1)$$

Nach Mecheels [5] ist der Körper in der Lage, Wärme zu speichern, so dass gemäß Gleichung (2) ein Speicherterm zu berücksichtigen ist.

<sup>1</sup> Das dieser Veröffentlichung zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 0327406E gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

$$\dot{Q}_M = M - P_{ex} = \dot{Q}_{Atm} + \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_f \pm \frac{\Delta S}{\Delta \tau} \quad (2)$$

Der Term  $\frac{\Delta S}{\Delta \tau}$  bedeutet die Änderung des Wärmehaltes des Körpers pro Zeiteinheit. Beim bekleideten Menschen sind die Wärmeströme  $\dot{Q}_{tr}$  und  $\dot{Q}_f$  insbesondere vom Wärmedurchgangswiderstand und vom Wasserdampfdurchgangswiderstand abhängig. Diese Größen sind somit maßgebliche Regelgrößen zur thermischen Anpassung einer Kleidung an die konkreten Tragebedingungen. Sie sind so zu bemessen, dass die Summe von  $\dot{Q}_{tr}$  und  $\dot{Q}_f$  gleich der Wärmeproduktion  $\dot{Q}_M$  ist. Am behaglichsten fühlt sich der Mensch, wenn  $\dot{Q}_{tr} \approx \dot{Q}_M$  ist. Dies ist gegeben, wenn nur die Mindestmenge an Schweiß abgesondert wird, siehe Reumann [6].

## 2. Berechnungsansätze

Im Bereich der Bewertung lüftungs- und klimatechnischer Anlagen, siehe [1], wird häufig nur der Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung zahlenmäßig berücksichtigt. Unter Nutzung der Bezeichnungen in Abb. 1 ergibt sich der trockene Wärmestrom nach Gleichung (3)

$$\dot{Q}_{tr} = \frac{A_K}{R} \cdot (t_s - t_k) \quad (3)$$

Der R-Wert (clo-Wert) stellt nur den Anteil der Bekleidung am Wärmedurchgangswiderstand dar.

Für die konvektive Wärmeabgabe gilt:

$$\dot{Q} = A_K \cdot \alpha_K \cdot (t_k - t_{UM}) \quad (4)$$

Der konvektive Wärmeübergang, siehe Gleichung (5) kann nach [7] berechnet werden.

$$\alpha_K = 2,4 \frac{W}{m^2 \cdot K^{1,25}} \cdot (t_k - t_{UM})^{0,25} \quad (5)$$

Raumlufttemperatur	18	20	22	23	24	25	26	°C
Gesamtwärmeabgabe	125	120	120	120	115	115	115	W
Trockene Wärmeabgabe	100	95	90	85	75	75	70	W
Feuchte Wärmeabgabe	25	25	30	35	40	40	45	W
Wasserdampfabgabe	35	35	40	50	60	60	65	g/h

Tabelle 1: Wärmeabgabe des Menschen [4]

Bekleidung	R in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$	clo-Einheiten
nackt	0	0
Leichte Sommerkleidung	0,08	0,5
Mittlere Kleidung	0,16	1,0
Warme Kleidung	0,24	1,5

**Tabelle 2: Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung**

Daraus ergibt sich ein konvektiver Wärmeübergangskoeffizient im Bereich der relevanten Temperaturen zwischen 3,5 und 5,0  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ . Der Wärmeübergang durch Strahlung liegt bei etwa 5,0  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ . Der Gesamtwärmeübergangskoeffizient  $\alpha_{ges}$  beträgt demnach etwa 10,0  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ . Dies entspricht auch dem in der Literatur genannten k-Wert für die nackte Haut.

Damit ergibt sich der trockene Wärmestrom zu:

$$\dot{Q}_{tr} = \frac{A_K}{\left(R + \frac{1}{\alpha_{ges}}\right)} \cdot (t_s - t_{UM}) \quad (6)$$

Die Feuchteabgabe des Körpers hat für die Thermoregulation unter Wärmebelastung eine besondere Bedeutung. Dafür muss das Bekleidungsmaterial in der Lage sein, die freiwerdende Wasserdampfmenge möglichst schnell abzuführen. Die Haut hat keinen speziellen Sensor für die Wahrnehmung des Schwitzens. Andere Sensoren (Berührung, Druck, Temperatur) übernehmen jedoch diese Informationsvermittlung, so dass der Körper extrem schnell auf Schwitzen reagiert. Für den Transport des Wasserdampfes durch das Textil gibt es nach [5] vier Wege:

1. Diffusion des Wasserdampfes von innen nach außen durch die Poren des Textils
  2. Absorption des Wasserdampfes ins Faserrinnere, Transport als Quellungswasser durch das Fasermaterial und Desorption auf der äußeren Textiloberfläche
  3. Adsorption an der Faseroberfläche, Migration entlang der Faser und Desorption an der äußeren Textiloberfläche
  4. Wassertransport durch Garnkapillaren
- Neben der Diffusion sind bei modernen Textilien besonders die Effekte 3 und 4 bedeutsam. Für die Berechnung der Diffusion kann nach [8] wie folgt vorgegangen werden:

$$\dot{m}_D = A_K \cdot \sigma_D \cdot \frac{p_{bar}}{R_D \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{p - p_{UM}}{p - p_s}\right) \quad (7)$$

mit

$$\sigma_D = \frac{1}{\frac{c_{p,L} \cdot \rho \cdot Le^{2/3}}{\alpha_K} + \frac{\mu \cdot d}{D_L}} \quad (8)$$

Der Diffusionswiderstand  $\mu$  bietet die Möglichkeit, den Widerstand der Poren im Vergleich zu Luft zu berücksichtigen. Die Dicke der Kleidung ist  $d$ . Der Diffusionskoeffizient Dampf/Luft wird wie folgt berechnet:

$$D_L = \frac{8,049625 \cdot 10^{-4} \cdot T^{(3/2)}}{T + 190} \cdot \frac{3600}{p} \cdot \frac{m^2}{h} \quad (9)$$

Unter folgenden Annahmen wurde der Wasserdampfmassenstrom infolge Diffusion gemäß Abb. 2 berechnet:

- Hauttemperatur in °C: 33
- Relative Feuchte der Haut in %: 40
- Diffusionswiderstandszahl: 3
- Dicke der Kleidung in mm: 1,2
- Körperoberfläche in m<sup>2</sup>: 1,8

Abb. 2 zeigt, dass bei einer Raumlufttemperatur von 26 °C der gemäß Tabelle 1 abzuführende Wasserdampfmassenstrom von 65 g/h einen vergleichsweise kleinen Bereich der zulässigen relativen Raumluftfeuchten aufweist. Bereits ab einer relativen Luftfeuchte von 60% geht der Wasserdampfmassenstrom gegen Null.

Diesem Effekt wirkt die Fähigkeit des Körpers entgegen, den Partialdruck des Wasserdampfes an der Hautoberfläche sowohl kurzfristig als auch langfristig (Veränderung der Salzkonzentration) zu verändern. Insgesamt sind die Prozesse des Wärme- und Stoffaustausches aufgrund der vielfältigen Einflüsse (z.B. Ventilation der Kleidung, Zusammendrücken, etc.) kaum berechenbar. Die Textiltechnik greift daher auf summarisch gemessene Werte für den Wärmedurchgangswiderstand und den Wasserdampfdurchgangswiderstand zurück und verwendet die Begriffe  $R_c$  und  $R_e$  als Widerstand gegen Leitung (c) und Verdunstung (e).

$$R_c = \frac{(t_s - t_k)}{\dot{Q}_c} \cdot A_K \text{ in } \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (10)$$

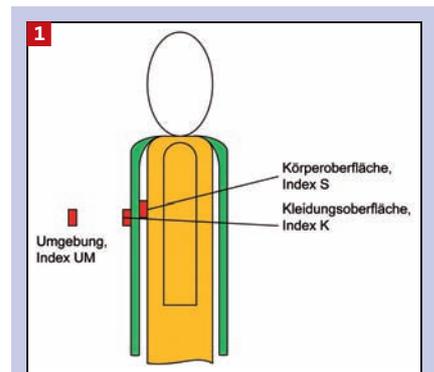
$$R_e = \frac{(p_s - p_k)}{\dot{Q}_v} \cdot A_K \text{ in } \frac{m^2 \cdot mbar}{W} \quad (11)$$

Der Feuchtedurchgangsindex  $i_m$  entspricht dem Verhältnis von Wärmedurchgangswiderstand und Wasserdampfdurchgangswiderstand.

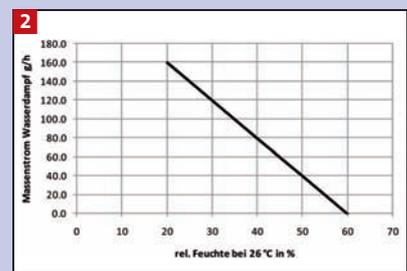
**Keywords:**

$$i_m = 0,6 \cdot \frac{R_c}{R_e} \quad (12)$$

Der Faktor 0,6 ist so gewählt, dass der höchstmögliche Wert für  $i_m=1$  wird. Bei völlig wasserdampfdurchlässiger Kleidung



**1 Lage und Bezeichnung der thermodynamischen Bezugsgrößen**



**2 Wasserdampfdiffusion durch textile Materialien**

mit einem unendlich hohen Wasserdampfdurchgangswiderstand wird  $i_m=0$ . Je größer  $i_m$ , desto besser ist die Kleidung. Das folgende Beispiel für ein T-Shirt soll die Anwendung verdeutlichen:

$$R_c = 0,08$$

$$i_m = 0,3$$

$$R_e = 0,6 \cdot \frac{R_c}{i_m} = 0,16 \text{ in } \frac{m^2 \cdot mbar}{W}$$

Damit kann unter Vernachlässigung der Wärmeabgabe durch Atmung der Gesamtwärmestrom unter stationären Bedingungen wie folgt berechnet werden, wobei auch hier jeweils der Widerstand an der äußeren Luftschicht gesondert zu berücksichtigen ist.

$$\dot{Q}_M = M - P_{ex} = \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_f =$$

$$\frac{A_K \cdot (t_s - t_{UM})}{R_c + \frac{1}{\alpha_K + \alpha_s}} + d_s \cdot \frac{A_K \cdot (p_s - p_{UM})}{R_e + \frac{p_{Dm}}{\beta \cdot A_K \cdot \Delta h_v}} \quad (13)$$

mit

$$\beta = \frac{\alpha_K}{c_{p,L} \cdot \rho \cdot Le^{2/3} \cdot \left(1 - \frac{p_{Dm}}{p_{bar}}\right)} \quad (14)$$

Die Textilindustrie hat für die feuchte Wärmeabgabe den Hautbenetzungsfaktor  $d_s$  (auch Schweißbedeckungsrate oder Diskomfortfaktor) eingeführt. Nach [6] ist die-

ser Hautbenetzungsfaktor wie folgt definiert:

Der Faktor  $d_5$  stellt das Verhältnis zwischen erforderlichen Verdampfungswärmestrom und dem in der jeweiligen Kleidung maximal möglichen Verdampfungswärmestrom dar. Die Definition erfolgte rein empirisch. Der Minimalwert wird durch die Perspiratio insensibilis bestimmt. Unter Perspiratio insensibilis versteht man das nicht merkbare Verdunsten (Insensibles Schwitzen) von Wasser aus dem Körper über die Haut. Nach Larsen [11] sind das etwa 200-400 ml Wasser in 24 Stunden bzw. 8 bis 16 g/h.

### 3. Messergebnisse

Detaillierte Messergebnisse zum Wasserdampftransport sind u.a. in [9] und [10] dargestellt. Dabei liegt der Schwerpunkt in der Bewertung der Textilien. Aufgrund des eingeschränkten Datenmaterials zur Wasserdampfabgabe normaler Bürokleidung in Relation zur Behaglichkeit wurden experimentelle Untersuchungen an männlichen Probanden im Büroalltag durchgeführt. Das Büro kann nur mittels Fenster gelüftet werden und verfügt über keine Kühl-

möglichkeit. Während der Messreihen wurden Miniatursensoren (Hygrofox Mini Datenlogger, Abmessungen: 57 x 35 x 18 mm) entsprechend Abb. 1 in der Regel zwischen 8.00 und 18.00 Uhr getragen. Die Datenspeicherung erfolgte alle 30 Sekunden. Dabei werden folgende Genauigkeiten erreicht:

- Lufttemperatursensor:  $< 0,4^\circ\text{C}$  bei  $20^\circ\text{C}$
- Relative Luftfeuchte:  $< 3,0\%$  relative Feuchte zwischen 20 und 80 %
- Auflösung beider Sensoren:  $0,1^\circ\text{C}$  bzw.  $0,1\%$  relative Feuchte

Aus Gründen der Beeinflussung der empfundenen Behaglichkeit durch das Tragen der Sensoren wurde die Anzahl auf einen Temperatur- und Feuchtefühler direkt im Bereich der Brust reduziert. Der zweite Sensor lag oberhalb der Kleidung; jedoch innerhalb der thermischen Grenzschicht des Körpers. Der dritte Sensor lag im jeweiligen Aufenthaltsraum außerhalb der thermischen Grenzschicht.

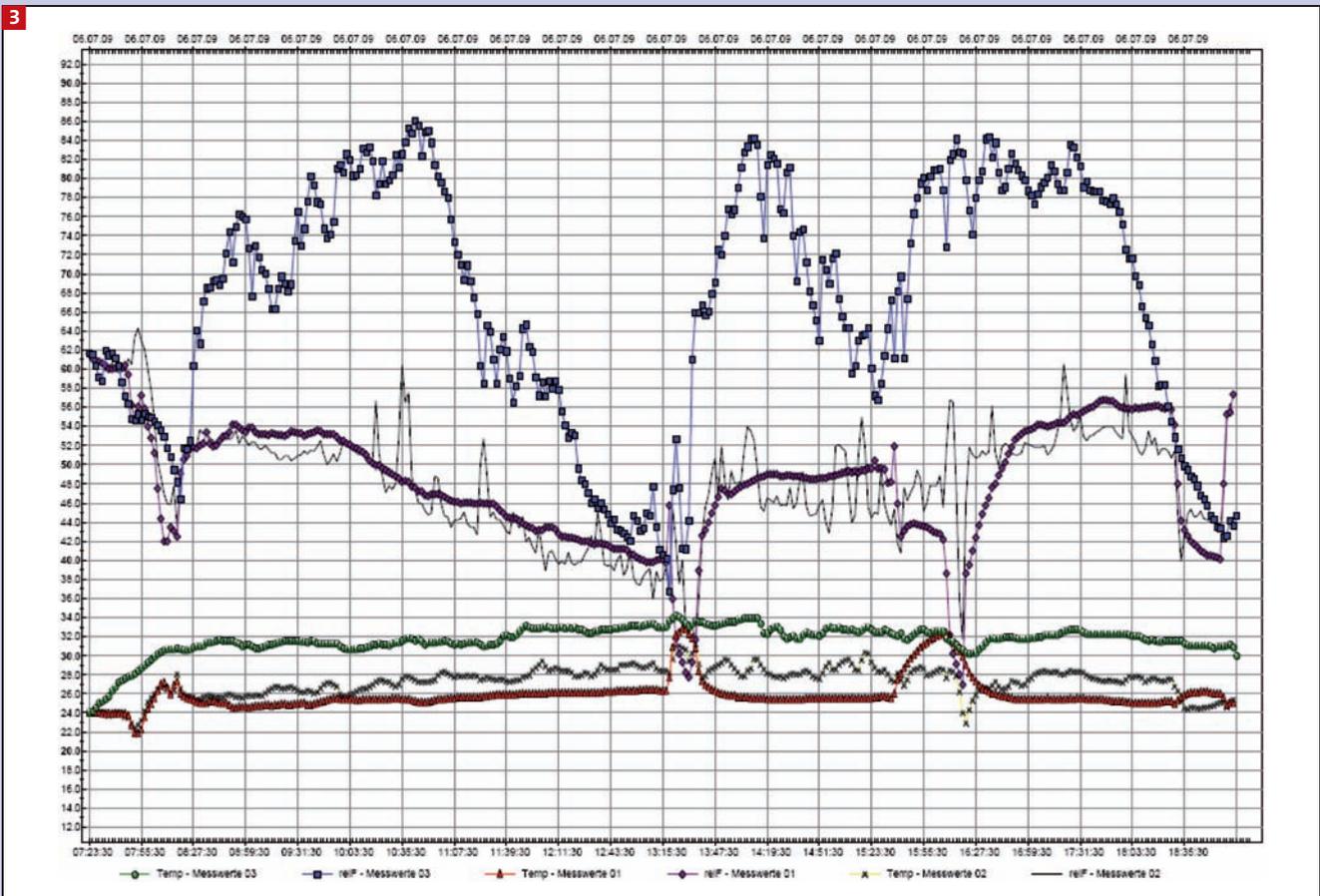
Ein Beispiel für die aufgezeichneten Messdaten ist der Abb. 3 zu entnehmen. Parallel zur Datenaufzeichnung wurden die Daten zum subjektiven Empfinden (Schwitzen, Schwüle, Angenehm) zeitnah aufgezeichnet.

Textilien	Index
Unterwäsche	0,25 bis 0,50
Oberhemdenstoff	0,20 bis 0,45
Oberstoffe für Anzüge	0,15 bis 0,35
Komplette Kleidung	
Anzug leicht	0,60 bis 0,67
Berufsanzug optimiert	0,60 bis 0,72

Tabelle 3: Feuchtedurchgangsindex für Textilien [5]

Hautbenetzungsfaktor $d_5$	Komfortempfindung
0,06	Insensibles Schwitzen, Behaglichkeit gegeben
0,06 – 0,30	Leichtes sensibles Schwitzen, im wesentlichen Behaglichkeit gegeben
0,30 – 0,60	Stärkeres sensibles Schwitzen, obere Grenze der Behaglichkeit
0,60 – 1,00	Unbehaglich

Tabelle 4: Beziehung zwischen Hautbenetzungsfaktor und Behaglichkeit [6]



3 Screenshot der Messung vom 06.07.2009

Die Messungen am 06.07. und 27.07.2009 wurden mit Bürokleidung; jedoch ohne Jackett durchgeführt. Bei der Messung am 24.7.2009 wurde sommerliche Bekleidung (lange Hose, T-Shirt) getragen.

Die Umrechnung auf den Gesamtwärmestrom erfolgte unter Nutzung der Gleichung (13). Es fällt in den Abb. 4 und 5 auf, dass der Gesamtwärmestrom deutlich schwankt und verglichen mit den Werten in Tabelle 1 nahezu doppelt so groß ist.

Ohne eine Änderung des Formelwerkes ergibt sich jedoch am 27.07.2009, siehe Abb. 6, der erwartete Gesamtwärmestrom. Offensichtlich entstehen die Schwankungen des Gesamtwärmestromes aus der Körperreaktion Schwitzen, d. h. aus instationären Vorgängen. Als behaglich wurde nur der 27.07.2009 bis etwa 14.45 Uhr empfunden. Bei allen anderen Messreihen war eine mehr oder minder starke Einschränkung der Behaglichkeit durch Empfinden von Schwüle bzw. Schwitzen zu verzeichnen. Abb. 7 zeigt den gemessenen Verlauf des Partialdruckes an allen drei Messtagen im Vergleich. Es zeigt sich besonders für den 27.07.2009 ein vergleichsweise geringer Partialdruck. Ein Anstieg des Partialdruckes in den Bereich oberhalb von 20 bis 25 mbar wurde regelmäßig als unangenehm empfunden.

Abb. 8 zeigt ausgewählte Messergebnisse zum Verständnis der Wärme- und Stoffübertragung vom Körper zur Umgebung. Basierend auf den Messergebnissen und dem subjektiven Eindruck ist festzustellen, dass bei einem Feuchtegehalt im Raum von 11,0 g/kg und einer Lufttemperatur von 25 °C (Messwerte am 24.07.2009) sowie sommerlicher Kleidung die Behaglichkeit nicht mehr gegeben ist.

#### 4. Berechnung der Umgebungsfeuchte

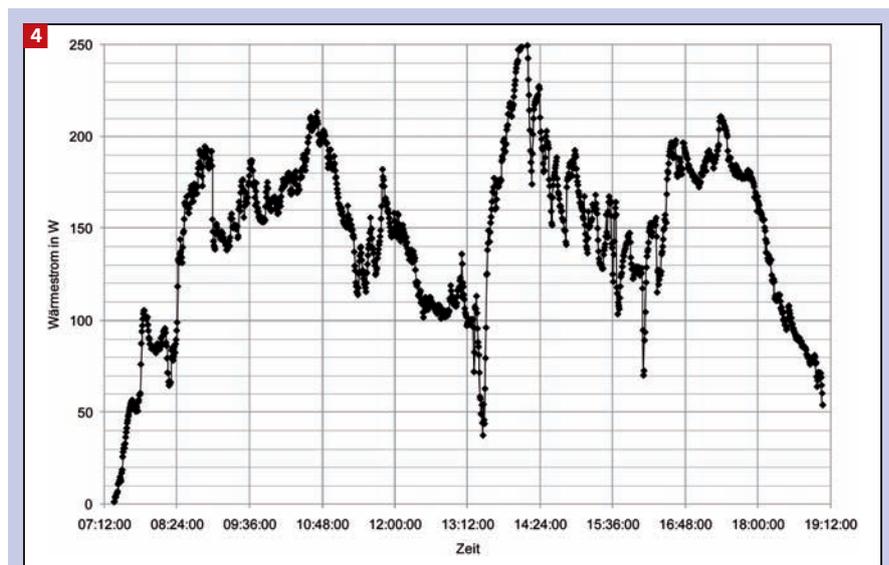
Abb. 9 ist den Untersuchungen von Mecheels [10] entnommen. Es zeigt sich, dass bereits ab einer mittleren Feuchte zwischen Haut und erster Kleidungsschicht im Bereich oberhalb von 17 mbar erste Behaglichkeitseinschränkungen (leicht feucht) und ab 23 mbar deutlichere Behaglichkeitseinschränkungen (feucht) auftreten. Dies deckt sich mit den eigenen Messergebnissen, siehe Abb. 7.

Das Mikroklima kann nach [11] berechnet werden:

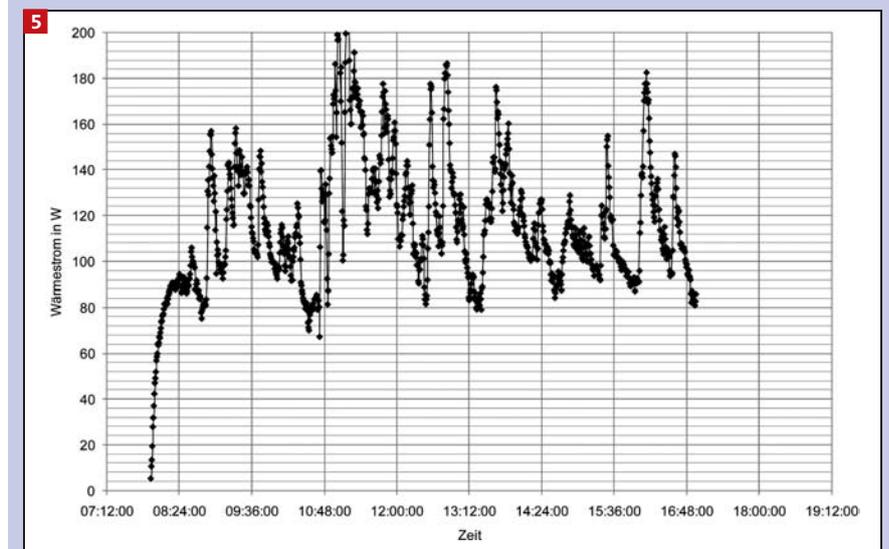
$$\bar{p}_M = \bar{p}_{M,0} + 0,03 \cdot (M - P_{ex} - \dot{Q}_{At}) - 0,03 \cdot \dot{Q}_{tr} + 18,8 \cdot e^{0,005 \cdot (\dot{Q}_{r,eff} - \dot{Q}_{f,Kleidung})} \quad (15)$$

mit

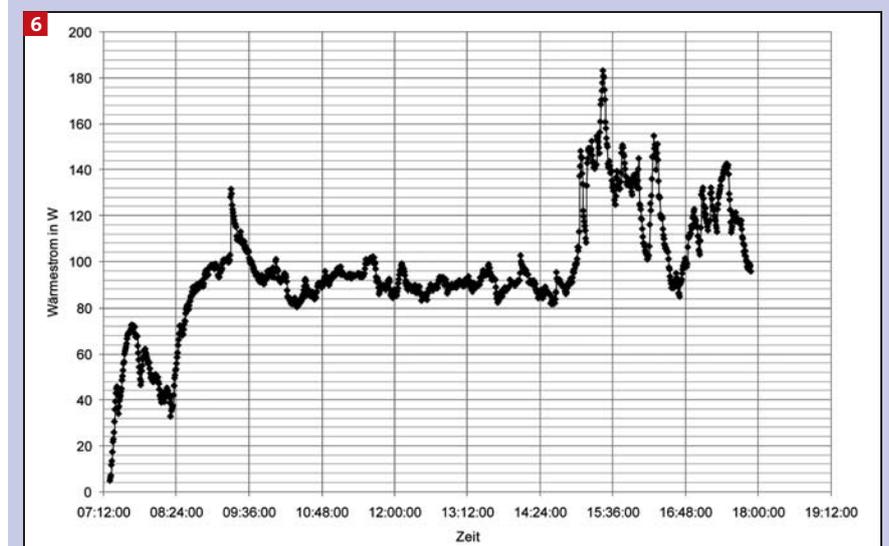
$$\dot{Q}_{f,Kleidung} = \frac{(\bar{p}_S - p_{UM}) \cdot A_K}{R_e} \quad (16)$$



4 Gesamtwärmestrom am 06.07.2009



5 Gesamtwärmestrom am 24.07.2009



6 Gesamtwärmestrom am 27.07.2009

Nach [11] beträgt  $\overline{p_{M,0}}$  etwa 19 mbar. Eigene Untersuchungen zeigen, dass dieser Wert durchaus in Bereich von etwa 13 bis 14 mbar liegen kann. Dies bestätigen auch die Messpunkte in Abb. 9.

Für einen konkreten Fall, siehe Tabelle 5, wurde unter Nutzung der Gleichung (15) und (16) der Einfluss der Wasserdampfdurchlässigkeit und der relativen Feuchte der Umgebung untersucht. Abb. 10 zeigt, dass für einen Bekleidungswiderstand von 1 clo bei 26°C Raumlufttemperatur und einer relativen Luftfeuchte von 50% der Einfluss des Feuchtedurchgangsindex am größten ist.

Kommen Textilien mit einem geringen Index (0,3) zum Einsatz, dann ist der Vorteil einer geringeren Luftfeuchte deutlich sichtbar. Daten für den Wasserdampfdurchgangswiderstand einzelner Kleidungsstücke sind [12] zu entnehmen. Aufgrund der Addition der einzelnen Widerstände ist davon auszugehen, dass der Feuchtedurchgangsindex eher im Bereich von 0,3 ist, so dass der Gestaltung der Raumluftfeuchte eine größere Bedeutung zukommt.

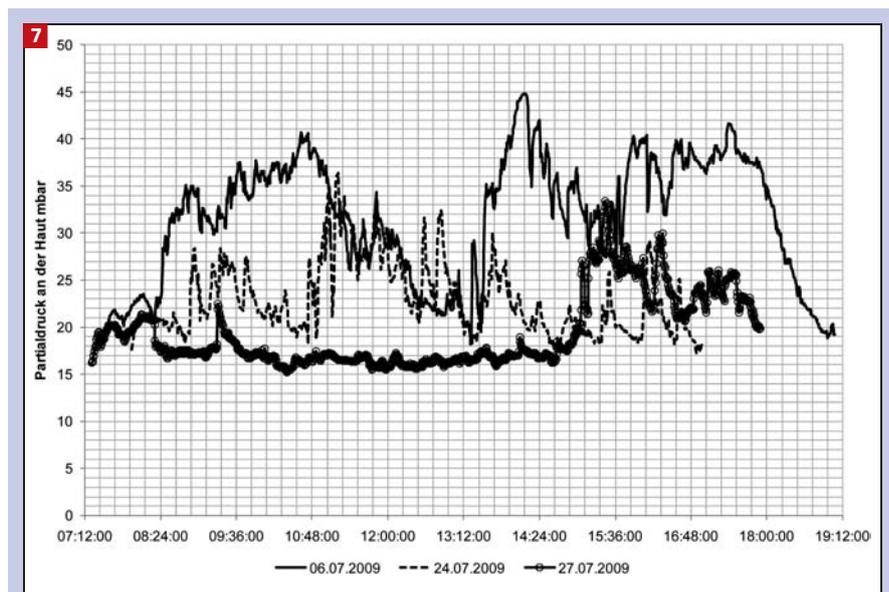
### 5. Zusammenfassung

Der Einfluss der relativen Luftfeuchte auf das Behaglichkeitsempfinden wird häufig vernachlässigt. Das hängt auch damit zusammen, dass Aussagen zur Wasserdampfdurchlässigkeit der Kleidung nicht in dem Maße verfügbar sind, wie für den Wärmedurchgang. Durch Messungen an einem Probanden konnte gezeigt werden, dass bereits bei einem Feuchtegehalt von 11,0 g/kg trotz sommerlicher Bekleidung Unbehaglichkeit zu verzeichnen ist.

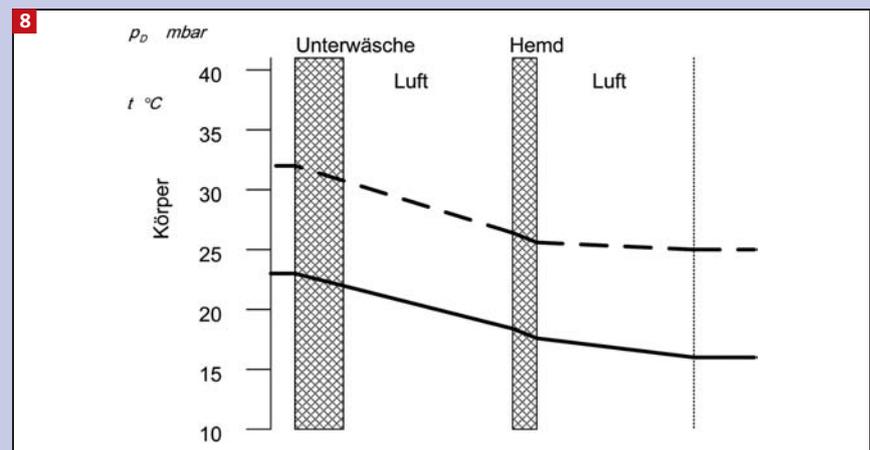
Da derzeit keine Untersuchungen mit einer größeren Probandenanzahl möglich ist, sollte der in der VDI 4706 [3] genannte Grenzwert nicht überschritten werden.

### Literatur

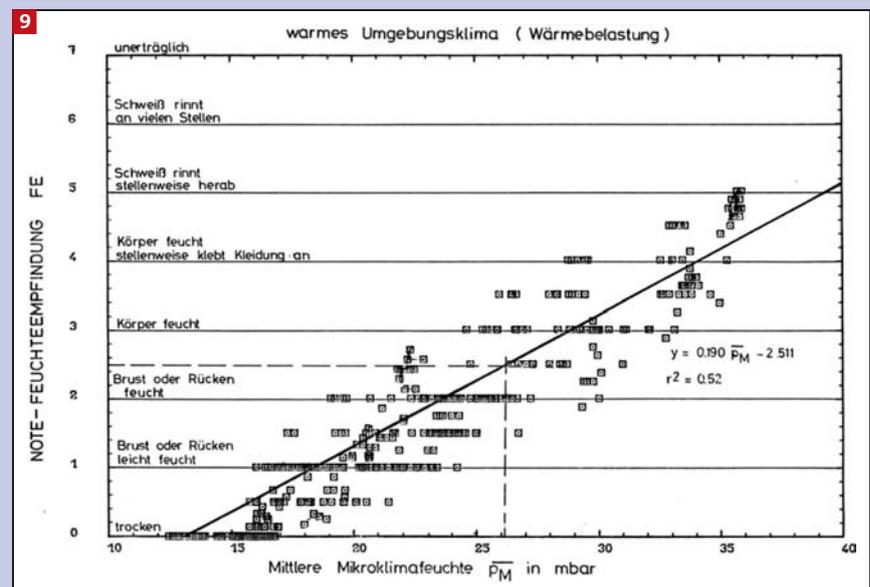
- [1] EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Mai (2006)
- [2] DIN EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. August (2007)
- [3] VDI 4706: Kriterien für das Innenraumklima (VDI-Lüftungsregeln). Blatt1. Entwurf. August (2009)
- [4] VDI 2078: Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln). Juli (1996)
- [5] Mecheels, J.: Körper – Klima – Kleidung. Wie funktioniert unsere Kleidung? Schiele & Schön. Berlin.(1998)
- [6] Reumann, R.: Prüfverfahren in der Textil- und Bekleidungstechnik. Springer Verlag. (2000)



7 Vergleich des Partialdruckes der Haut für verschiedene Messtage



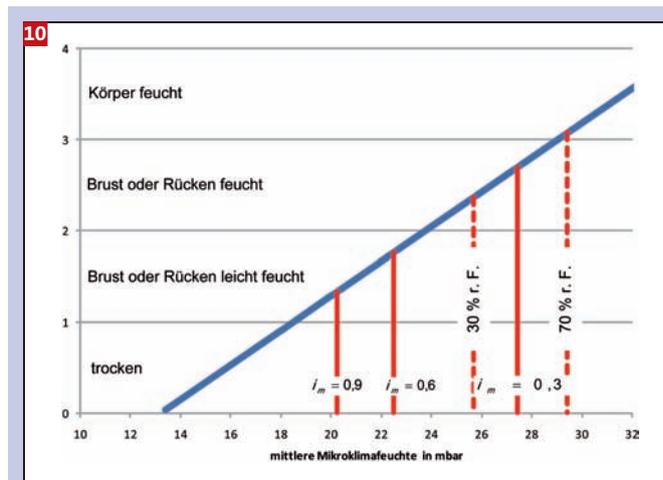
8 Verlauf der Temperatur (gestrichelt) und Partialdruck (durchgezogen) unter behaglichen Bedingungen am 24.7.09



9 Zusammenhang zwischen Feuchteempfinden und mittlerer Mikroklimateuchte aus [10]

Leistungsumsatz M	met	1.2
Leistungsumsatz M	W	128
Muskelleistung P	W	0
Wärmebildung H	W	128
Atmung 10%	W	13
Oberfläche	m <sup>2</sup>	1.83
mittl. Hauttemperatur	°C	33
Sättigungsdruck Haut	Pa	5029.5
rel. Feuchte der Haut	%	100%

Tabelle 5: Berechnungsannahmen



10 Berechnungsergebnisse für 26 °C Raumlufttemperatur

- [7] Baumgarth/Hörner/Reeker: Handbuch der Klimatechnik. Band 1. C.F. Müller (2003)
- [8] Kröll, K.: Trocknungstechnik. 2. Band. Springer Verlag. (1978)
- [9] Mecheels, S.: Erforschung der Möglichkeiten für die Konstruktion und die Verarbeitung von partikeldichten Textilien mit gutem Tragekomfort und einem erweiterten Anwendungsbereich. Abschlussbericht. AIF-Nr.: 10567. (1998)

- [10] Mecheels, J.: Universelle Beschreibung des Tragekomforts in Abhängigkeit von Kleidung und den darin verwendeten Textilien sowie variablen Randbedingungen von Klima und Arbeit. Schlussbericht. AIF-Nr.: 4827. (1982)
- [11] Larsen, R.: Anästhesie und Intensivmedizin in Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie. Springer-Verlag, Berlin. 6. Auflage. (2004)

- [12] Mecheels, J.: Über die praktische Auswirkung von Sorptionsgeschwindigkeit und sorbierter Menge von Wasserdampf an Textilfasern auf das Mikroklima unter der Kleidung und das objektivierte Komfortempfinden des Menschen. Schlussbericht AIF-Nr.: 4828. (1983)