

9 Raumklima

C. Felten, Hamburg

H.-D. Neumann, Düsseldorf

T. von der Heyden, Sankt Augustin

Das Raumklima hat großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit, das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen. Dabei sind für das Klimaempfinden (zu warm, angenehm, zu kalt usw.) grundsätzlich zwei wesentliche Gesichtspunkte von Bedeutung:

- die Umgebungsbedingungen wie Raumklima, Raumgestaltung, Gebäudestruktur usw. sowie
- der körperliche und seelische Zustand des Menschen bzw. seine physischen und psychischen Belastungen

Der menschliche Körper kann sich je nach Energieumsatz in gewissen Grenzen den wechselnden Zuständen des Raumklimas anpassen. Werden diese Grenzen überschritten, gerät der Wärmehaushalt des Menschen aus dem Gleichgewicht. Dies führt zu einer erhöhten Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems. Als deren Folge können kurzzeitige Störungen, z. B. Kreislaufstörungen, Unwohlsein, oder – bei länger andauernder Belastung – Erkrankungen auftreten.

Trotz einer guten Gesamtklimabewertung können auch einzelne Klima- oder Belastungsfaktoren bei Über- oder Unterschreitung gewisser Grenzbereiche kurzfristiges Unbehagen oder bei längerer Einwirkung Erkrankungen fördern oder hervorrufen. Ein Beispiel hierfür sind Zuglufterscheinungen.

Entsprechend dem Klimaempfinden unterscheidet man folgende Klimabereiche (Abbildung 11, siehe Seite 84):

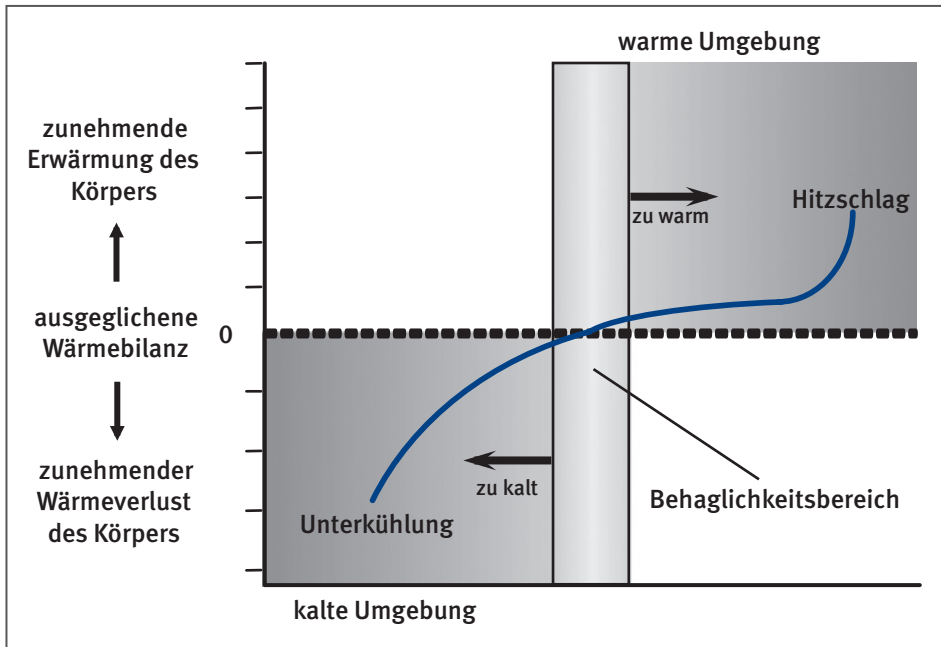
- Kältebereich
- Behaglichkeitsbereich
- Warmbereich und
- Hitzebereich

Der Behaglichkeitsbereich beschreibt Bedingungen, unter denen sich die Mehrheit der Beschäftigten wohlfühlt. Er beschreibt die Klimaanforderungen und Belastungssituationen, die üblicherweise an Innenraum-arbeitsplätzen vorliegen sollten, und ist als ein weitgehend thermisch neutraler Bereich anzusehen. Weitere Belastungsfaktoren sind nicht vorhanden. Der Wärmeaustausch zwischen dem menschlichen Körper und der Umgebung steht hier annähernd im Gleichgewicht. Im Idealfall sind die Wärmezu- und -abfuhr ausgeglichen.

Im Warmbereich (z. B. in Hallenbädern) liegen Belastungssituationen und/oder klimatische Verhältnisse vor, die zu erhöhten Schweißabgaben und Beanspruchungen des Herz-Kreislauf-Systems führen. Bei längeren Einwirkungen ergeben sich Störungen des Klimaempfindens. Der Warmbereich beschreibt somit Belastungssituationen, die

9 Raumklima

Abbildung 11:
Übersicht über die Klimabereiche (prinzipieller Verlauf der Klimaempfindung)



nicht unmittelbar zu gesundheitlichen Schäden führen, jedoch die Leistungsfähigkeit des Menschen herabsetzen.

Arbeiten im Kälte- und Hitzebereich sind eine Extrembelastung und auf das absolute Mindestmaß zu begrenzen. Hier sind besondere Maßnahmen notwendig. Daher werden diese Bereiche nachfolgend nicht behandelt.

Beurteilungsgrundlagen

Hilfen zur Beurteilung und Anforderungen an das Raumklima findet man in folgenden Bestimmungen:

- BGI/GUV-I 7003 – Beurteilung des Raumklimas [1]

- BGI 7004 – Klima im Büro: Antworten auf die häufigsten Fragen [2]
- Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.6 – Lüftung [3]
- Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5 – Raumtemperatur [4]
- 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 [5]

- DIN EN ISO 7726 – Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen [6]
- DIN 33403 – Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 2: Einfluss des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen [7]
- DIN 33403 – Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße [8]
- DIN 33403 – Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen [9]

9.1 Raumklimacheck

Zur orientierenden Einschätzung des Raumklimas reicht es meist aus, die Lufttemperatur und -feuchte zu bestimmen. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass keine wesentlichen Wärmestrahlungsquellen (z. B. Sonneneinstrahlung oder Deckenheizung) oder kalte Flächen (z. B. Wand- oder Deckenkühlung) vorhanden sind. Bei Zuglufterscheinungen ist zusätzlich die Luftgeschwindigkeit zu bestimmen.

Gemäß der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.5 – Raumtemperatur [4] müssen Arbeitsplätze mit hoher relativer Luftfeuchte, Wärmestrahlung oder Luftgeschwindigkeit gesondert betrachtet werden. Diese Klimagrößen sind dann zusätzlich einzeln oder gegebenenfalls nach einem Klimasummenmaß zu bewerten.

Der im Internet verfügbare spezielle Ermittlungsbogen S9 (www.dguv.de, Webcode d6274) soll bei der orientierenden Einschätzung des Raumklimas helfen. Bei Über- oder Unterschreitung der in Abschnitt 9.2 genannten Werte für die Raumlufttemperatur und die relative Luftfeuchte sind weitergehende Ermittlungen erforderlich, zu denen ein Fachmann herangezogen werden sollte. Die dann notwendige Beurteilung des Raumklimas wird im Folgenden erläutert.

9.2 Raumklimabeurteilung

Das Raumklima am Arbeitsplatz ist im Wesentlichen durch die physikalischen Größen

- Lufttemperatur,
- Strahlungstemperatur,
- Luftgeschwindigkeit und
- relative Luftfeuchte

und die individuellen Faktoren

- körperliche Aktivität (Tätigkeit) und
- Isolationswert der Kleidung

gekennzeichnet. DIN EN ISO 7730 [5] eröffnet anhand einer rechnerischen Verknüpfung der raumklimatischen Parameter, der Aktivität und der Bekleidung die Möglichkeit, das Behaglichkeitsempfinden in Räumen zu skalieren und die voraussichtliche Zahl Unzufriedener anzugeben. Bevor auf diese Klimasummenmaße näher eingegangen wird, werden zunächst die Vorgaben für einzelne Parameter vorgestellt.

9 Raumklima

Lufttemperatur

In Arbeitsräumen muss die Lufttemperatur in Anlehnung an die ASR A3.5 [4] mindestens die in Tabelle 13 aufgeführten Werte aufweisen.

Tabelle 13:
Lufttemperaturen in Arbeitsräumen
in Abhängigkeit von der Arbeitshaltung und
der Arbeitsschwere nach ASR A3.5

Überwiegende Arbeitshaltung	Arbeitsschwere		
	leicht	mittel	schwer
Sitzen	+20 °C	+19 °C	–
Stehen, Gehen	+19 °C	+17 °C	+12 °C

Diese Mindesttemperaturen sind während der gesamten Arbeitszeit zu gewährleisten. Darüber hinaus soll die Lufttemperatur +26 °C nicht überschreiten. Bei Außentemperaturen über +26 °C gilt eine Stufenregelung mit den Stufen 26/30/35 °C:

- bis 26 °C:
Sollbereich
- > 26 °C bis 30 °C:
Tolerierung mit Maßnahmen wie Sonnenschutz, Reduzierung thermischer Lasten und ggf. zusätzliche organisatorische Maßnahmen
- > 30 °C bis 35 °C:
Wirksame Maßnahmen zur Reduzierung der Beanspruchung erforderlich; technische und organisatorische Maßnahmen haben Vorrang vor persönlichen Maßnahmen (TOP)

- > 35 °C:
ohne TOP-Maßnahmen nicht als Arbeitsraum geeignet, wie Hitzearbeit zu behandeln

Neben der Höhe der Lufttemperatur ist auch der vertikale Temperaturgradient in der Aufenthaltszone für das Behaglichkeitsempfinden von Bedeutung. Die Differenz der Lufttemperatur zwischen Kopf und Fußgelenken soll 3 °C nicht überschreiten („kühler Kopf und warme Füße“) [5].

Strahlungstemperatur-Asymmetrie

Unterschiedliche Temperaturen der Umschließungsflächen (z. B. kalte Fensterflächen, warme Decken) können zu lokalem Unbehagen führen. Die Differenz zwischen Decken- und Fußbodentemperatur sollte maximal bei 5 °C liegen, diejenige zwischen kalten Fenstern und der gegenüberliegenden Fläche bei maximal 10 °C [5].

In diesem Zusammenhang sei auch erwähnt, dass sowohl zu warme als auch zu kalte Fußböden als unbehaglich empfunden werden. Die Fußbodentemperatur soll zwischen 19 und 29 °C liegen [5].

Operative Raumtemperatur

Die Wirkung der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur wird in der Regel durch die operative Raumtemperatur als Summenmaß beschrieben, die häufig verkürzt auch nur als Raumtemperatur bezeichnet wird. Sie berechnet sich nach folgender Näherungsgleichung [6]:

$$t_o = 1/2 \left[t_a + \bar{t}_r \right] \quad (1)$$

mit

t_o : örtliche operative Raumtemperatur in °C

t_a : örtliche Lufttemperatur in °C

\bar{t}_r : mittlere örtliche Strahlungstemperatur
in °C

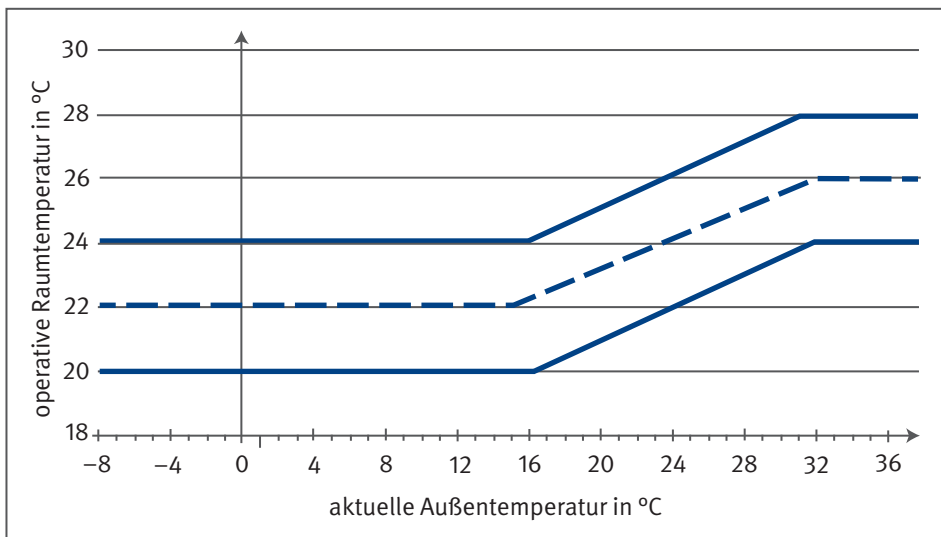
Ist die Strahlungstemperatur der Raumbegrenzungsflächen annähernd gleichmäßig, kann die Bestimmung der Strahlungstemperatur vernachlässigt werden. Die operative Raumtemperatur entspricht dann annähernd der Lufttemperatur. Direkte Sonneneinstrahlung, große kalte Fenster, schlecht isolierte Wände, kalte oder warme Maschinen können eine unregelmäßige Verteilung der Strahlungstemperatur in einem Raum verursachen.

Die operative Raumtemperatur ist in den Höhen 0,1, 1,1 und 1,7 m über dem Fußboden für stehende Mitarbeiter und in den Höhen 0,1, 0,6 und 1,1 m über dem Fußboden für sitzende Mitarbeiter [6] zu ermitteln, z. B. mit einem Globe-Thermometer.

In Abbildung 12 ist die empfohlene operative Raumtemperatur in Abhängigkeit von der aktuellen Außentemperatur als gestrichelte Linie dargestellt. Es gilt ein Toleranzbereich von ± 2 °C. Die angegebenen Werte gehen von einer geringen Aktivität der Raumnutzer (1,2 met, siehe Aktivität) aus und gelten für Bekleidungswiderstände zwischen 0,3 und 1 clo (siehe Bekleidungswiderstand).

Abbildung 12:

Operative Raumtemperatur in Abhängigkeit von der aktuellen Außentemperatur [10]



9 Raumklima

Luftgeschwindigkeit

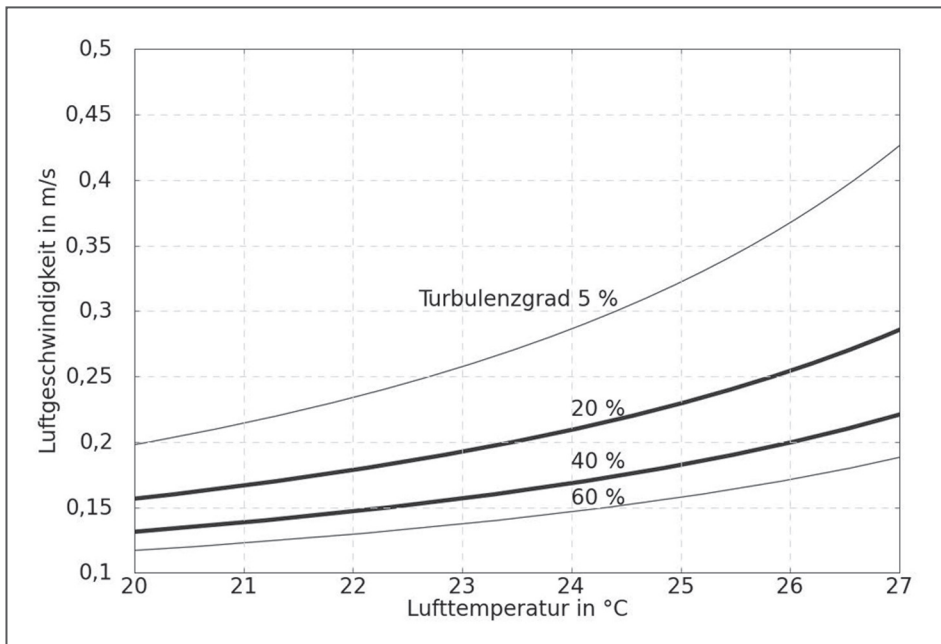
Die thermische Behaglichkeit wird in besonderem Maße von der Luftbewegung im Aufenthaltsbereich mitgeprägt. Für die Luftgeschwindigkeitsmessung ist ein richtungsunabhängiges Messgerät zu verwenden. Die Luftgeschwindigkeit ist in den Höhen 0,1, 1,1 und 1,7 m über dem Fußboden für stehende Mitarbeiter und in den Höhen 0,1, 0,6 und 1,1 m über dem Fußboden für sitzende Mitarbeiter zu messen [6].

Die Grenzwerte der Luftgeschwindigkeit im Behaglichkeitsbereich sind abhängig von der Lufttemperatur und vom Turbulenzgrad

der Strömung und ergeben sich aus Abbildung 13 [10].

Die Beschäftigten dürfen keiner unzumutbaren Zugluft ausgesetzt sein. Hierauf muss auch bei der Auslegung raumlufttechnischer Anlagen geachtet werden. Zuglufterscheinungen sind überwiegend von der Lufttemperatur, der Luftgeschwindigkeit in Kombination mit dem Turbulenzgrad (Luftgeschwindigkeitsverteilung mit der Zeit) und der Art der Tätigkeit abhängig. Bei einer Lufttemperatur von +20 °C tritt bei einer mittleren Luftgeschwindigkeit unter 0,15 m/s und einem Turbulenzgrad von 40 % üblicherweise keine unzumutbare Zugluft auf [3].

Abbildung 13:
Mittlere Luftgeschwindigkeiten als Funktion von Temperatur und Turbulenzgrad der Luft im Behaglichkeitsbereich bei leichten sitzenden Tätigkeiten und normaler Bürokleidung [10]



Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte soll die in Tabelle 14 aufgeführten Werte nicht überschreiten [3].

Tabelle 14:
Empfohlene maximale relative Luftfeuchte
in Abhängigkeit von der Lufttemperatur

Lufttemperatur in °C	Relative Luftfeuchte in %
20	80
22	70
24	62
26	55

Bei hoher relativer Luftfeuchte können an kalten Wänden feuchte Stellen auftreten. Dort sind die Wachstums- und Lebensbedingungen für Mikroorganismen verbessert. Dadurch können Schimmelpilzsporen in der Atemluft vermehrt auftreten und zu allergischen Erkrankungen wie Asthma und allergischem Schnupfen sowie zu allergischen Hauterkrankungen führen. Kalte und feuchte Räume begünstigen rheumatische Schübe bei Rheumatikern.

In den Wintermonaten kann der Wassergehalt in der Außenluft zwischen 2 und 3 g/kg trockener Luft liegen. Dies entspricht bei 0 °C einer relativen Luftfeuchte von etwa 60 %. Wird diese Luft auf 20 °C erwärmt, stellt sich eine relative Luftfeuchte von weniger als 20 % ein. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen können sogar Werte von weniger als 10 % auftreten. Immer wieder werden verschiedene Beschwerden wie Austrocknen der Schleimhäute u. Ä. beschrieben. Aus einer umfassenden Literaturstudie [11] ergab sich jedoch, dass es keine ein-

deutigen Beschwerdebilder und somit keine eindeutigen Empfehlungen zu einer Untergrenze der relativen Luftfeuchte geben kann. Lediglich bei erkrankten Personen, die z. B. unter Neurodermitis leiden, konnte eine Verschlechterung des Krankheitsbildes bei geringer relativer Luftfeuchte festgestellt werden.

Daher ist im Einzelfall zu prüfen, ob die Luftfeuchte für die geäußerten Beschwerden verantwortlich ist. Falls die Luft befeuchtet werden soll, sollte die relative Luftfeuchte mindestens 30 % betragen. In DIN EN 13779 [12], die Auslegungskriterien für (Teil-)Klimaanlagen beschreibt, werden – sofern keine individuellen Parameter für den Einzelfall festgelegt werden – Vorschläge für die Auslegung von Befeuchtungsanlagen gemacht. Dabei werden Energiefragen, klimatische Bedingungen im Winter/Sommer, Kondensationsrisiken und Regelungsmöglichkeiten der Raumluftfeuchte berücksichtigt. Dort heißt es: „*Beispielsweise können 6 g/kg absolute Feuchte als Wintermindestwert und/oder 12 g/kg absolute Feuchte als Sommerhöchstwert festgelegt werden.*“ Diese Werte sind vor allem technisch begründet.

Aktivität

Die Gesamtwärmeabgabe einer Person wird von ihrer körperlichen Aktivität bestimmt. Die dazu notwendige Energie wird durch den Stoffwechsel freigesetzt. Als Einheiten für die Aktivität werden Watt, Watt pro m² Körperoberfläche (bezogen auf 1,8 m² Körperoberfläche) und met (metabolism) verwendet. 1 met entspricht der Stoffwechselrate für eine in Ruhe befindliche sitzende Person.

9 Raumklima

In Anhang B der DIN EN ISO 7730 [5] sind die Energieumsätze für verschiedene körperliche Tätigkeiten angegeben (siehe Tabelle 15).

Bekleidung

Die Möglichkeit der Wärmeabgabe des Körpers ist abhängig vom Isolationswert der Kleidung. Den Isolationswert gibt man nach DIN EN ISO 7730 [5] in der Einheit „clo“

(clothing) an. Dabei entspricht 1 clo einem Wert von $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Tabelle 16 zeigt Beispiele für Isolationswerte in Anlehnung an DIN EN ISO 7730.

Beurteilung des Raumklimas anhand von Klimasummenmaßen

Für eine umfassende Bewertung der Behaglichkeit werden der PMV- und der PPD-Index

Tabelle 15:
Energieumsätze verschiedener körperlicher Tätigkeiten nach DIN EN ISO 7730 [5]

Aktivität	Energieumsatz	
	in W/m^2	in met
Angelehnt	46	0,8
Sitzend, entspannt	58	1,0
Sitzende Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor)	70	1,2
Stehende, leichte Tätigkeit (Einkaufen, Labor, leichte Industriearbeit)	93	1,6
Stehende, mittelschwere Tätigkeit (Verkaufstätigkeit, Hausarbeit, Maschinenbedienung)	116	2,0

Tabelle 16:
Isolationswerte verschiedener Bekleidungen in trockenem Zustand [5]

Bekleidungskombination	Isolationswert	
	in clo	in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
Nackt	0	0
Shorts	0,06	0,009
Slip, T-Shirt, Shorts, leichte Socken, Sandalen	0,3	0,050
Unterhose, Hemd mit kurzen Ärmeln, leichte Hose, leichte Socken, Schuhe	0,5	0,080
Unterhose, Hemd, Latzhose, Socken, Schuhe	0,8	0,125
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe	1,0	0,155
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Weste, Jacke, Mantel, Socken, Schuhe	1,5	0,230

zugrunde gelegt (PMV = predicted mean vote; dt: vorausgesagtes mittleres Votum; PPD = predicted percentage of dissatisfied; dt: vorausgesagter Anteil Unzufriedener). Der PMV-Index sagt den Mittelwert der Meinung einer großen Gruppe von Personen voraus.

Der PPD-Index gibt darüber hinaus an, mit wie viel Prozent Unzufriedener bei einem bestimmten PMV zu rechnen ist. Bei einem Wert für PMV = 0 wird das Raumklima in der Regel vom Menschen als thermisch neutral (behaglich) empfunden (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17:
Klimaempfinden korreliert mit Klimaindizes PMV und PPD [5]

Empfinden	heiß	warm	etwas warm		neutral		etwas kühl	kühl	kalt
PMV	+ 3	+ 2	+ 1	+ 0,5	0	- 0,5	- 1	- 2	- 3
PPD in %	99	75	25	10	5	10	25	75	99

Es gibt keinen Zustand des Raumklimas, mit dem alle Personen zufrieden sind. Der minimale PPD-Index liegt daher bei 5 % Unzufriedenheit, d. h., 5 % der befragten Personen sind mit der Klimasituation unzufrieden. Nach DIN EN ISO 7730 wird der PPD-Index in drei Stufen (A, B, C) von Unzufriedenheit mit 6, 10 und 15 % eingeteilt. In der Regel sollte eine Unzufriedenheit von nicht mehr als 10 % angestrebt werden.

Bestimmen lassen sich die PMV- bzw. PPD-Indizes mit speziellen Messgeräten und EDV-Programmen sowie mithilfe der Tabellen im Anhang der DIN EN ISO 7730.

9.3 Literatur

- [1] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Beurteilung des Raumklimas (BGI/GUV-I 7003). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2010
- [2] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Klima im Büro: Antworten auf die häufigsten Fragen (BGI/GUV-I 7004). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin. Carl Heymanns, Köln 2007
- [3] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). GMBI. (2012) Nr. 6, S. 92-97
- [4] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Raumtemperatur (ASR A3.5). GMBI. (2010) Nr. 35, S. 751-753
- [5] 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 (05.06). Beuth, Berlin 2006

9 Raumklima

- [6] DIN EN ISO 7726: Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen (04.02). Beuth, Berlin 2002
- [7] DIN 33403-2: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 2: Einfluß des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen (08.00). Beuth, Berlin 2000
- [8] DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße (07.11). Beuth, Berlin 2011
- [9] DIN 33403-5: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen (01.97). Beuth, Berlin 1997
- [10] DIN EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik (12.12), Beuth, Berlin 2012
- [11] *von Hahn, N.:* „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 67 (2007) Nr. 3, S. 103-107
- [12] DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme (09.07). Beuth, Berlin 2007