

Zu diesem Dokument sind eine oder mehrere Berichtigung/en erschienen.
Sie sind online recherchier- und kostenfrei bestellbar unter www.beuth.de

DIN EN ISO 7730



ICS 13.040.20; 13.180

Ersatz für
DIN EN ISO 7730:2006-03

**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**

Ergonomics of the thermal environment –
Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV
and PPD indices and local thermal comfort criteria (ISO 7730:2005);
German version EN ISO 7730:2005

Ergonomie des ambiances thermiques –
Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices
PMV et PPD et par des critères de confort thermique local (ISO 7730:2005);
Version allemande EN ISO 7730:2005

Gesamtumfang 59 Seiten

Normenausschuss Ergonomie (NAErg) im DIN



Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 7730 wurde in der Internationalen Organisation für Normung (ISO) im Technischen Komitee ISO/TC 159 „Ergonomics“ (Sekretariat: Deutschland) erarbeitet. Deutscherseits wurden diese Arbeiten vom Arbeitsausschuss 7 „Klima“ des Normenausschusses „Ergonomie“ begleitet.

Diese Norm ersetzt die Ausgabe von März 2006, die wegen einiger Fehler nicht ausgeliefert wurde.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 7730:1995-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Normtitel geändert;
- b) Abschnitte zur lokalen thermischen Behaglichkeit und bezüglich nicht konstanter Umgebungsklimabedingungen neu aufgenommen;
- c) Hinweise zur Langzeitbewertung allgemeiner thermischer Behaglichkeitsbedingungen ergänzt;
- d) Normaufbau grundlegend überarbeitet.

Gegenüber DIN EN ISO 7730:2006-03 wurden folgende Berichtigungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 4.1: In Gleichung (2) wurde „ h_{cl} “ durch „ h_c “ ersetzt;
- b) Abschnitt 4.1: In der 1. Anmerkung wurde „K/W“ durch „°C/W“ ersetzt;
- c) Abschnitt 4.1: Im 5. Absatz, beginnend mit: „Der Index sollte ...“ wurde in der 2. Zeile der Aufzählung „ I_{clo} “ durch „ I_{cl} “ ersetzt;
- d) Abschnitt 6.2: In der 2. Zeile der Erklärung der Formel wurde „ \bar{v}_a “ durch „ $\bar{v}_{a,l}$ “ ersetzt;
- e) Anhang A:
 - In Tabelle A.1, Spalte „PMV“, Zeile „A“ wurde „ $-0,2 < PMV < 0,2$ “ durch „ $-0,2 < PMV < + 0,2$ “ ersetzt;
 - In Tabelle A.1, Spalte „PMV“, Zeile „C“ wurde „ $0,7 < PMV < + 0,7$ “ durch „ $-0,7 < PMV < + 0,7$ “ ersetzt;
 - Im Abschnitt A.1, 3. Absatz wurde „ $-0,2 < PMV < 0,2$ “ durch „ $-0,2 < PMV < + 0,2$ “ ersetzt;
 - Im Bild A.1, Legende wurde die vorhandene Legende durch folgende ersetzt:
PPD vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, %;
X Bekleidungsisolations in Bekleidungseinheiten, (clo);
X' Bekleidungsisolations in Bekleidungseinheiten, $m^2 \cdot ^\circ C/W$;
Y Energieumsatz in metabolischen Einheiten, (met);
Y' Energieumsatz in metabolischen Einheiten, W/m^2 .
- f) Anhang C: In Tabelle C.1, 6. Zeile, 3. Spalte ersetze „1,85“ durch „0,185“;

g) Anhang G: In Bild G.1, Legende, wurde die vorhandene Legende durch folgende ersetzt:

- Δt Temperaturanstieg über 26 °C;
 \bar{v} mittlere Luftgeschwindigkeit, m/s;
^a Grenze für leichte, überwiegend sitzende Tätigkeit.
^b $(\bar{t}_r - t_a)$, °C (t_a , Lufttemperatur, °C; \bar{t}_r , mittlere Strahlungstemperatur, °C);

Im Abschnitt nach Bild G.1, Zeile 1 wurde „ \bar{t}_r “ durch „ t_r “ ersetzt.

h) Anhang H:

- Unter **b) Verfahren B**, 3), ii) wurde „für $t_0 < t_{0,limit}$ “ durch „für $t_0 > t_{0,limit}$ “ ersetzt.
- Unter **c) Verfahren C**, 3. Zeile wurde „Abschnitt 6“ durch „Abschnitt 5“ ersetzt.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 7730: 1995-09

DIN EN ISO 7730: 2006-03

– Leerseite –

Deutsche Fassung

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)

Ergonomics of the thermal environment - Analytical
determination and interpretation of thermal comfort using
calculation of the PMV and PPD indices and local thermal
comfort criteria (ISO 7730:2005)

Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination
analytique et interprétation du confort thermique par le
calcul des indices PMV et PPD et par des critères de
confort thermique local (ISO 7730:2005)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 21. Oktober 2005 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe	5
4 Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)	6
5 Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD).....	8
6 Lokale thermische Behaglichkeit.....	10
7 Für die Behaglichkeit annehmbares Umgebungsklima.....	14
8 Umgebungsklimate mit un stetigen Bedingungen.....	15
9 Langzeitbewertung der Bedingungen für die allgemeine thermische Behaglichkeit.....	15
10 Anpassung	16
Anhang A (informativ) Beispiele für die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit für unterschiedliche Umgebungskategorien und Raumarten	17
Anhang B (informativ) Energieumsätze verschiedener körperlicher Tätigkeiten	22
Anhang C (informativ) Abschätzung des Isolationswertes von Bekleidungskombinationen.....	23
Anhang D (normativ) Computerprogramm zur Berechnung von PMV und PPD.....	27
Anhang E (normativ) Tabellen zur Bestimmung des vorausgesagten mittleren Votums (PMV).....	30
Anhang F (informativ) Luftfeuchte.....	47
Anhang G (informativ) Luftgeschwindigkeit.....	48
Anhang H (informativ) Langzeitbewertung der allgemeinen thermischen Behaglichkeit	50
Literaturhinweise	52

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 7730:2005) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 159 „Ergonomics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 122 „Ergonomie“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2006, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2006 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 7730:1995.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 7730:2005 wurde vom CEN als EN ISO 7730:2005 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Diese Internationale Norm gilt für die Bewertung eines gemäßigten Umgebungsklimas und wurde parallel zur überarbeiteten ASHRAE¹⁾-Norm 55 erarbeitet und gehört zu einer Reihe von ISO-Dokumenten, die Verfahren zur Messung und Bewertung von gemäßigtem und extremem Umgebungsklima beschreiben, dem der Mensch ausgesetzt ist (zu dieser Reihe gehören ISO 7243, ISO 7933 und ISO/TR 11079, die alle drei extreme Umgebungsbedingungen behandeln).

Das menschliche Wärmeempfinden hängt im Wesentlichen vom thermischen Gleichgewicht (Wärmebilanz) des Körpers als Ganzem ab. Dieses Gleichgewicht wird durch körperliche Tätigkeit und Bekleidung sowie durch die Parameter des Umgebungsklimas, das sind Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte, beeinflusst. Sofern diese Faktoren geschätzt oder gemessen wurden, kann das Wärmeempfinden für den Körper als Ganzes vorausgesagt werden, indem das vorausgesagte mittlere Votum (predicted mean vote, PMV) berechnet wird, siehe Abschnitt 4.

Der vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen (predicted percentage of dissatisfied, PPD) liefert Angaben zur thermischen Unbehaglichkeit oder Unzufriedenheit, indem der Prozentsatz an Menschen vorausgesagt wird, die ein bestimmtes Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden. Der PPD lässt sich aus dem PMV berechnen, siehe Abschnitt 5.

Thermische Unbehaglichkeit kann auch durch eine unerwünschte lokale Abkühlung oder Erwärmung des menschlichen Körpers verursacht werden. Die häufigsten Faktoren für das Entstehen von lokaler Unbehaglichkeit sind eine asymmetrische Strahlungstemperatur (kalte oder warme Oberflächen), Zugluft (definiert als eine lokale durch Luftbewegung verursachte Abkühlung des menschlichen Körpers), vertikale Lufttemperaturunterschiede sowie kalte oder warme Fußböden. Abschnitt 6 legt fest, wie der Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund von lokaler Unbehaglichkeit vorausgesagt werden kann.

Unzufriedenheit kann durch Unbehagen auf Grund eines Kälte- oder Wärmeempfindens des Körpers als Ganzes hervorgerufen werden. Die Behaglichkeitsgrenzen können in diesem Fall durch den PMV-Index und den PPD-Index angegeben werden. Eine thermische Unzufriedenheit kann jedoch auch durch Parameter der lokalen thermischen Unbehaglichkeit verursacht werden. Abschnitt 7 befasst sich mit Umgebungsklimabedingungen die die Behaglichkeit.

Die Abschnitte 6 und 7 beruhen hauptsächlich auf gleich bleibenden Bedingungen. Verfahren zur Bewertung von un stetigen Bedingungen, wie zum Beispiel Übergangszustände (Temperaturstufen), Zyklustemperaturen oder Temperaturgefälle, werden im Abschnitt 8 vorgestellt. Das Umgebungsklima in Gebäuden oder am Arbeitsplatz ändert sich im Laufe der Zeit, und es ist eventuell nicht immer möglich, die Bedingungen innerhalb der empfohlenen Grenzen zu halten. In Abschnitt 9 wird ein Verfahren zur Langzeitbewertung der thermischen Behaglichkeit vorgestellt.

Abschnitt 10 enthält eine Empfehlung dahingehend, wie das Anpassungsvermögen von Menschen bei der Bewertung und der Konstruktion von Gebäuden und Anlagen berücksichtigt werden kann.

1) American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm enthält Verfahren, anhand deren das allgemeine menschliche Wärmeempfinden und der Grad der Unbehaglichkeit (thermischen Unzufriedenheit) von Menschen vorausgesagt werden können, die einem gemäßigten Umgebungsklima ausgesetzt sind. Sie ermöglicht die analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch die Berechnung von PMV (predicted mean vote) und PPD (predicted percentage of dissatisfied) und der örtlichen Kriterien für thermische Behaglichkeit, indem sie die Umgebungsbedingungen, die für den allgemeinen thermischen Komfort sowie die lokale Unbehaglichkeit als akzeptabel betrachtet werden, beschreibt. Die Internationale Norm gilt für gesunde Männer und Frauen, die einem Innenraumklima ausgesetzt sind, durch das ein Gefühl thermischer Behaglichkeit erreicht werden soll, oder in dem es zu moderaten Abweichungen vom Zustand der Behaglichkeit kommt, in der Gestaltung neuer Umgebungen oder der Anpassung existierender. Obwohl diese Norm für die Arbeitsumgebung erstellt wurde, kann sie aber auch für jede andere Art der Umgebung angewendet werden. Für Personen mit besonderen Anforderungen wie solche mit physikalischen Einschränkungen sollte ISO/TS 14415:2005, 4.2 angewendet werden. In nicht klimatisierten Räumen können ethnische und national-geografische Abweichungen auftreten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 13731, *Ergonomics of the Thermal Environment — Vocabulary and Symbols*

ISO/TS 13732-2, *Ergonomics of the thermal environment — Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces — Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperature*

ISO/TS 14415, *Ergonomics of the thermal environment — Application of International Standards to people with special requirements*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 13731 und die folgenden Begriffe.

3.1

Temperatur, zyklisch

sich ändernde Temperatur mit einer vorgegebenen Amplitude und Frequenz

3.2

Temperaturdrift

passive gleich bleibende stabile, nicht zyklische Änderung der operativen Temperatur in einem geschlossenen Raum

3.3

Temperaturgefälle

aktiv geregelte, gleich bleibende, stabile, nicht zyklische Änderung der operativen Temperatur in einem geschlossenen Raum

3.4

operative Temperatur

t_0

gleichmäßige Temperatur eines imaginären schwarzen Raumes, in dem eine Person die gleiche Wärmemenge durch Strahlung und Konvektion austauschen würde wie in der bestehenden nicht gleichmäßigen Umgebung

3.5

Temperaturübergänge

plötzliche Änderung der thermischen Bedingungen durch einen sprungartigen Wechsel der Temperatur, Luftfeuchte, Aktivität oder Kleidung

3.6

Zugluft

unerwünschte lokale Abkühlung des Körpers durch Luftbewegung

4 **Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)**4.1 **Bestimmung**

Das PMV ist ein Index, der den Durchschnittswert für die Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe anhand folgender 7-stufiger Klimabeurteilungsskala vorhersagt (siehe Tabelle 1). Der PMV-Index beruht auf dem Wärmegleichgewicht des menschlichen Körpers. Das thermische Gleichgewicht ist erreicht, wenn die im Körper erzeugte Wärme gleich der an die Umgebung abgegebenen Wärme ist. In einem gemäßigten Umgebungsklima ändert das Thermoregulationssystem des Menschen automatisch die Hauttemperatur und die Schweißabsonderung, um das Wärmegleichgewicht zu erhalten.

Tabelle 1 — Sieben Punkte der Klimabeurteilungsskala

+ 3	heiß
+ 2	warm
+ 1	etwas warm
0	neutral
– 1	etwas kühl
– 2	kühl
– 3	kalt

Das PMV wird mit den Gleichungen (1) bis (4) berechnet:

$$\text{PMV} = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028]$$

$$\left\{ \begin{aligned} & (M - W) - 3,05 \times 10^{-3} [5733 - 6,99(M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] \\ & - 1,7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0,0014 M (34 - t_a) \\ & - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} \left\{ 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_c \cdot h_c (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{für } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{für } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{für } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{für } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (4)$$

Dabei ist

M	der Energieumsatz, in Watt durch Quadratmeter ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$);
W	die wirksame mechanische Leistung, in Watt durch Quadratmeter ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$);
I_{cl}	die Bekleidungsisolation, in Quadratmeter Kelvin durch Quadratmeter ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$);
f_{cl}	der Bekleidungsflächenfaktor;
t_{a}	die Lufttemperatur, in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$);
\bar{t}_{r}	die mittlere Strahlungstemperatur, in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$);
v_{ar}	die relative Luftgeschwindigkeit, in Meter durch Sekunde (m/s);
p_{a}	der Wasserdampfpartialdruck, in Pascal (Pa);
h_{c}	der konvektive Wärmeübergangskoeffizient, in Watt durch Quadratmeter Kelvin ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$);
t_{cl}	die Oberflächentemperatur der Bekleidung, in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

ANMERKUNG 1 Metabolische Einheit = 1 met = $58,2 \text{ W/m}^2$; 1 Kleidungseinheit = 1 clo = $0,155 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$.

Das PMV darf für verschiedene Kombinationen von Energieumsatz, Bekleidungsisolation, Lufttemperatur, mittlerer Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte (siehe ISO 7726) berechnet werden. Die Gleichungen für t_{cl} und h_{c} dürfen iterativ gelöst werden.

Der PMV-Index ist für gleich bleibende Bedingungen abgeleitet, kann jedoch mit guter Näherung auch bei geringen Schwankungen einer oder mehrerer Variablen angewandt werden, vorausgesetzt, die zeitgewichteten Mittelwerte der Variablen der letzten Stunde werden für die Berechnung herangezogen.

Der Index sollte nur für Werte von -2 bis $+2$ angewendet werden. Außerdem sollte der Index nur angewendet werden, wenn die sechs Hauptparameter innerhalb folgender Grenzen liegen:

M	46 Wm^{-2} bis 232 Wm^{-2} (0,8 met bis 4 met);
I_{cl}	$0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ bis $0,310 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (0 clo bis 2 clo);
t_{a}	$10 ^{\circ}\text{C}$ bis $30 ^{\circ}\text{C}$;
\bar{t}_{r}	$10 ^{\circ}\text{C}$ bis $40 ^{\circ}\text{C}$;
v_{ar}	0 m/s bis 1 m/s ;
p_{a}	0 Pa bis $2\,700 \text{ Pa}$.

ANMERKUNG In Bezug auf v_{ar} kann bei leichter, hauptsächlich sitzender Tätigkeit eine mittlere Luftgeschwindigkeit innerhalb dieses Bereiches als Zugluft empfunden werden.

Der Energieumsatz darf nach ISO 8996 oder nach Anhang B abgeschätzt werden, wobei die Art der Tätigkeit zu berücksichtigen ist. Bei veränderlichen Energieumsätzen sollte der zeitgewichtete Mittelwert der letzten Stunde herangezogen werden. Der Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung und des Stuhls wird unter Berücksichtigung der Jahreszeit nach ISO 9920 oder Anhang C abgeschätzt.

Das PMV wird dann nach einer der folgenden Möglichkeiten bestimmt:

- a) mit Hilfe eines Digitalrechners nach Gleichung (1). Ein BASIC-Programm hierfür ist in Anhang D angegeben. Zur Überprüfung anderer Computerprogramme enthält der Anhang D ein beispielhaftes Ergebnis;
- b) direkt nach Anhang E, in dem Tabellen mit PMV-Werten für verschiedene Kombinationen von Tätigkeit, Bekleidung, operativer Raumtemperatur und relativer Luftgeschwindigkeit aufgeführt sind;
- c) durch direkte Messungen mit einem integrierenden Messfühler (äquivalente und operative Temperatur).

Die PMV-Werte im Anhang E gelten für eine relative Luftfeuchte von 50 %. Der Einfluss der Luftfeuchte auf das Wärmeempfinden ist bei gemäßigten Temperaturen nahe der Behaglichkeit gering und darf bei der Bestimmung des PMV-Wertes in der Regel zurückgewiesen werden (siehe Anhang F).

4.2 Anwendungen

Das PMV darf angewendet werden, um zu prüfen, ob ein gegebenes Umgebungsklima den Behaglichkeitskriterien entspricht (siehe Abschnitt 7 und Anhang A) und um Anforderungen an unterschiedliche annehmbare Grenzen festzulegen.

Indem $PMV = 0$ gesetzt wird, wird eine Gleichung aufgestellt, die Kombinationen aus körperlicher Tätigkeit, Bekleidung und Umgebungsparametern vorhersagt, um im Mittel ein thermisch neutrales Empfinden hervorzurufen.

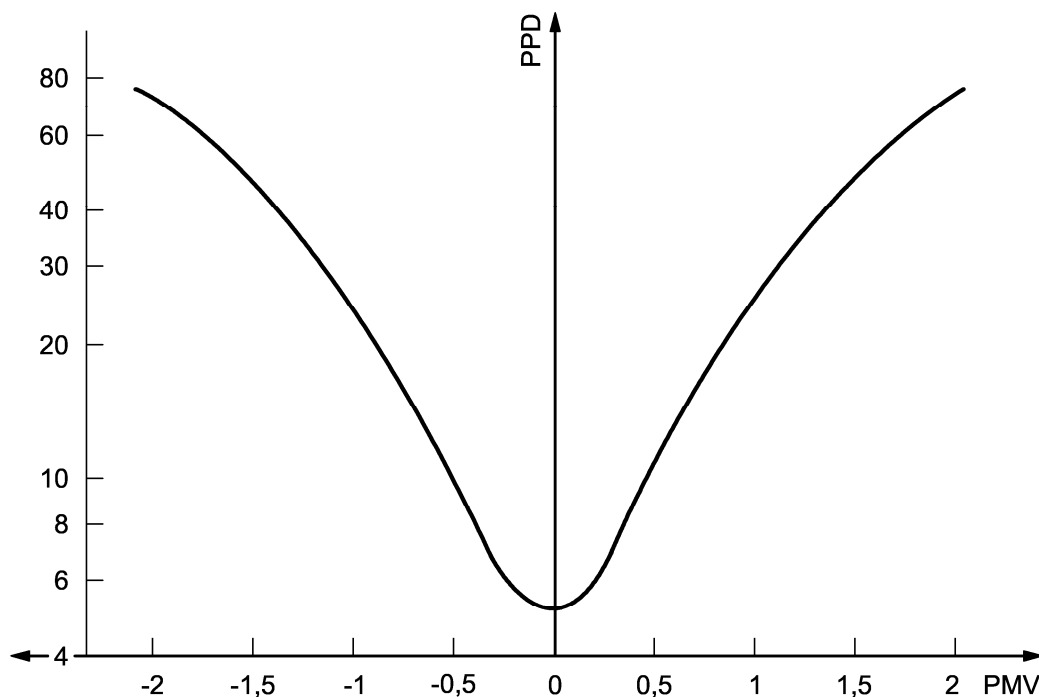
5 Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)

Das PMV sagt die durchschnittliche Klimabeurteilung einer großen Gruppe von Personen voraus, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind. Einzelne Urteile streuen jedoch um diesen Mittelwert, und es ist nützlich, die Anzahl der Personen voraussagen zu können, die das Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden.

Der PPD ist ein Index, der eine quantitative Voraussage des Prozentsatzes der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen darstellt, die es als zu kalt oder zu warm empfinden. Für diese Internationale Norm sind unzufriedene Personen solche, die nach der 7-stufigen Klimabeurteilungsskala in Tabelle 1 entweder mit heiß, warm, kühl oder kalt urteilen.

Nachdem der PMV-Wert bestimmt wurde, kann der PPD mit der Gleichung (5) berechnet werden, siehe Bild 1.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (5)$$



Legende

PMV Vorausgesagtes mittleres Votum
 PPD Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, %

Bild 1 — PPD als Funktion des PMV

Anhand des PPD-Indexes lässt sich aus einer großen Personengruppe die Anzahl derjenigen Personen voraussagen, die mit dem Umgebungsklima unzufrieden sind. Der Rest der Gruppe wird das Umgebungsklima entweder als klimatisch neutral, etwas warm oder etwas kühl empfinden. Die vorausgesagte Verteilung der Klimabeurteilungen ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2 — Verteilung der individuellen Klimaurteile für verschiedene Werte des mittleren Votums

PMV	PPD	Personen, die eine Beurteilung abgeben		
		%		
		0	– 1, 0 oder + 1	– 2, – 1, 0, + 1 oder + 2
+ 2	75	5	25	70
+ 1	25	30	75	95
+ 0,5	10	55	90	98
0	5	60	95	100
– 0,5	10	55	90	98
– 1	25	30	75	95
– 2	75	5	25	70
^a Basiert auf Experimente mit 1 300 Personen.				

6 Lokale thermische Behaglichkeit

6.1 Allgemeines

PMV und PPD drücken ein warmes und kaltes Unbehaglichkeitsempfinden des Körpers als Ganzes aus. Thermische Unzufriedenheit kann jedoch auch durch unerwünschtes Abkühlen (oder Erwärmen) eines bestimmten Körperteils entstehen. Dies ist als *lokale Unbehaglichkeit* bekannt. Die häufigste Ursache für lokale Unbehaglichkeit ist Zugluft (6.2). Lokale Unbehaglichkeit kann allerdings auch durch ungewöhnlich hohe vertikale Temperaturunterschiede im Bereich zwischen Kopf und Fußgelenken (6.3) hervorgerufen werden, durch zu warme oder zu kalte Fußböden (6.4) oder durch eine zu hohe Asymmetrie der Strahlungstemperatur (6.5). Anhang A enthält Beispiele für Anforderungen an die lokale und allgemeine thermische Behaglichkeit für unterschiedliche Kategorien von Umgebungen und Arten von Räumen.

Lokale Unbehaglichkeit wird vor allem von Personen empfunden, die leichte sitzende Tätigkeiten ausführen. Diese Personengruppe hat ein nahezu neutralen Wärmeempfinden für den gesamten Körper. Bei einem höheren Aktivitätsgrad ist das Wärmeempfinden von Personen in der Regel weniger ausgeprägt, infolgedessen ist das Risiko einer lokalen Unbehaglichkeit geringer.

6.2 Zugluft

Die Beeinträchtigung durch Zugluft kann als der vorausgesagte Prozentsatz an Menschen angegeben werden, die sich durch Zugluft beeinträchtigt fühlen. Die Beeinträchtigung durch Zugluft (draught rating, DR) kann mit der Gleichung (6) bestimmt werden (Modell für die Zugluft):

$$DR = (34 - t_{a,l}) \cdot (\bar{v}_{a,l} - 0,05)^{0,62} (0,37 \cdot \bar{v}_{a,l} \cdot Tu + 3,14) \quad (6)$$

Für $\bar{v}_{a,l} < 0,05 \text{ ms}^{-1}$ ist $\bar{v}_{a,l} = 0,05 \text{ ms}^{-1}$

Für $DR > 100 \%$ ist $DR = 100 \%$.

Dabei ist

- $t_{a,l}$ die lokale Lufttemperatur in Grad Celsius, 20 °C bis 26 °C;
- $\bar{v}_{a,l}$ die lokale mittlere Luftgeschwindigkeit in Meter je Sekunde, $< 0,5 \text{ ms}^{-1}$;
- Tu der lokale Turbulenzgrad (%), in Prozent, 10 % bis 60 %, falls der Wert nicht bekannt ist, darf 40 % verwendet werden.

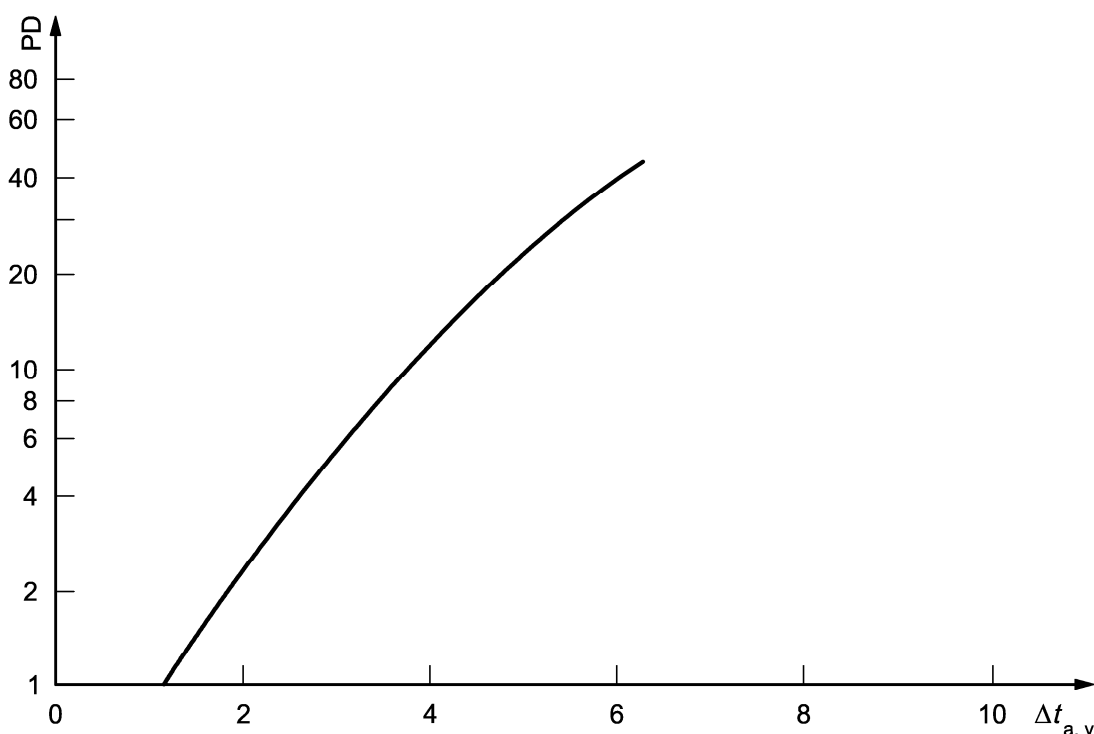
Das Modell ist anwendbar auf Menschen mit einer leichten, hauptsächlich sitzenden Tätigkeit und einem nahezu neutralen thermischen Empfinden des gesamten Körpers sowie vorausgesagter Zugluft am Nacken. In Höhe der Arme und Beine könnte das Modell die vorausgesagte Zuglufrate überbewerten. Die Beeinträchtigung durch Zugluft ist geringer bei einem gegenüber sitzender Tätigkeit höheren Aktivitätsgrad ($> 1,2 \text{ met}$) und bei Personen, die das Umgebungsklima eher als wärmer empfinden als thermisch neutral. Anhang G enthält zusätzliche Informationen zum Einfluss der Luftgeschwindigkeit.

6.3 Vertikaler Lufttemperaturunterschied

Ein hoher vertikaler Lufttemperaturunterschied im Bereich zwischen Kopf und Fußgelenk kann zu Unbehaglichkeit führen. Bild 2 zeigt den Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) als eine Funktion des vertikalen Lufttemperaturunterschiedes zwischen Kopf und Fußgelenken. Das Bild bezieht sich auf eine ansteigende Temperatur. Abfallende Temperaturen werden von den Personen weniger empfunden. PD wird mit der Gleichung 7 bestimmt.

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5,76 - 0,856 \cdot \Delta t_{a,v})} \quad (7)$$

Gleichung (7) wurde von den Originalwerten mit einer logistische Regressionsanalyse erhalten, sie sollte nur verwendet werden wenn $\Delta t_{a,v} < 8 \text{ °C}$ ist.



Legende

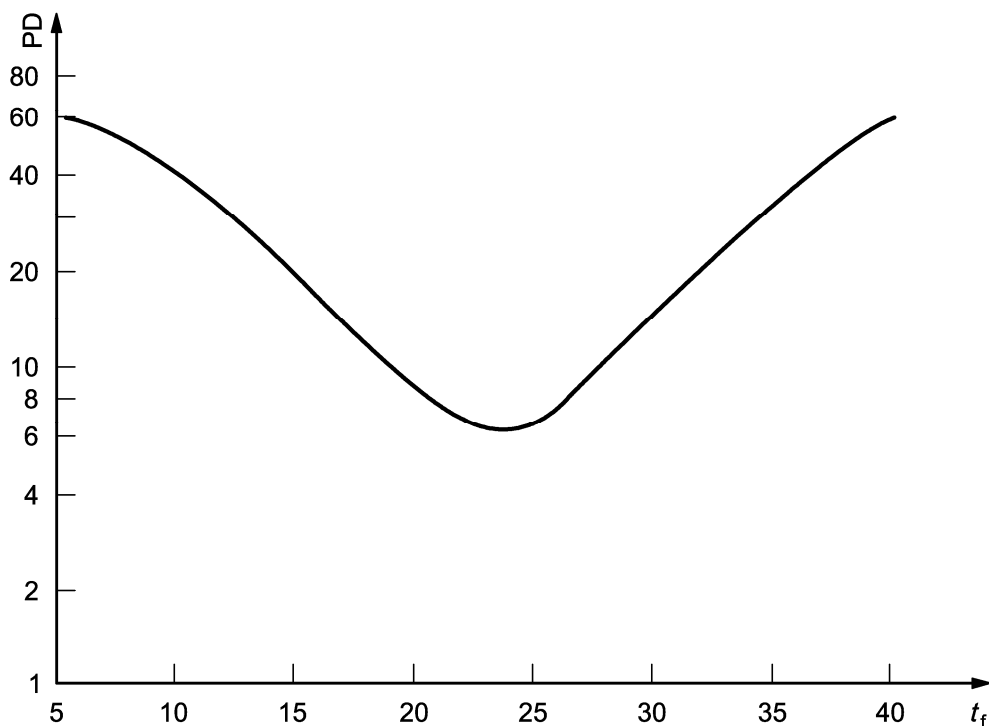
PD Prozentsatz an Unzufriedenen, %

Δt_{av} Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Füßen, °C

Bild 2 — Lokale Unbehaglichkeit durch vertikale Lufttemperaturunterschiede

6.4 Wärme und kalte Fußböden

Falls der Fußboden zu warm oder zu kalt ist, könnten sich die im Raum befindlichen Personen auf Grund der Wärmeempfindung ihrer Füße unbehaglich fühlen. Bei Personen, die leichtes, für Innenräume geeignete Schuhe tragen, ist nicht das Material des Bodenbelages, sondern die Fußbodentemperatur für die Behaglichkeit entscheidend. Bild 3 zeigt den Prozentsatz an Unzufriedenen als Funktion der Fußbodentemperatur. Dieses Diagramm beruht auf Studien mit stehenden und/oder sitzenden Personen.



Legende

PD Prozentsatz an Unzufriedenen, %
 t_f Fußbodentemperatur, °C

Bild 3 — Lokale thermische Unbehaglichkeit durch warme oder kalte Fußböden

Für Personen, die auf dem Fußboden sitzen oder liegen, können ähnliche Werte eingesetzt werden. Der Prozentsatz der Unzufriedenen wird mit der Gleichung (8) bestimmt, wobei die Originaldaten mit einer nicht-linearen Regressionsanalyse bestimmt werden:

$$PD = 100 - 94 \cdot \exp \left(-1,387 + 0,118 \cdot t_f - 0,0025 \cdot t_f^2 \right) \quad (8)$$

Bei einem längeren Aufenthalt gelten die Werte nicht für elektrisch beheizte Fußböden.

ANMERKUNG Bei elektrischer Heizung ist ein Anteil der zugeführten Wärme unabhängig von der Oberflächentemperatur. Eine auf Wasser basierendes Heizsystem erreicht keine höheren Temperaturen als die Temperatur des Wassers.

Hinsichtlich Räumen, in denen sich Personen barfuß aufhalten, siehe ISO/TS 13732-2.

6.5 Asymmetrie der Strahlung(temperatur)

Eine asymmetrische Strahlung(temperatur) (Δt_{pr}) kann ebenfalls zu Unbehaglichkeit führen. Vor allem eine durch warme Decken oder kalte Wände (Fenster) verursachte asymmetrische Strahlung wird von den Menschen als unangenehm empfunden. Auf Bild 4 ist der Prozentsatz an Unzufriedenen als Funktion einer asymmetrischen Strahlungstemperatur auf Grund einer warmen Decke, einer kühlen Wand, einer kühlen Decke oder einer warmen Wand dargestellt. Für die horizontale Strahlungsasymmetrie gilt Bild 4 für die Asymmetrie von einer zur anderen Seite (links/rechts oder rechts/links). Für die horizontale Strahlungsasymmetrie geben die Kurven eine konservative Abschätzung der Unbehaglichkeit und keine anderen Positionen des Körpers im Verhältnis zur Oberfläche (z. B. vorne/hinten) ergeben eine höhere Unbehaglichkeit durch Asymmetrie. PD wird, je nach Anwendungsfall, mit den Gleichungen (9) bis (12) bestimmt.

a) warme Decke

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(2,84 - 0,174 \cdot \Delta t_{pr})} - 5,5 \quad (9)$$

$$\Delta t_{pr} < 23 \text{ °C}$$

b) kalte Wand

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(6,61 - 0,345 \cdot \Delta t_{pr})} \quad (10)$$

$$\Delta t_{pr} < 15 \text{ °C}$$

c) kalte Decke

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(9,93 - 0,50 \cdot \Delta t_{pr})} \quad (11)$$

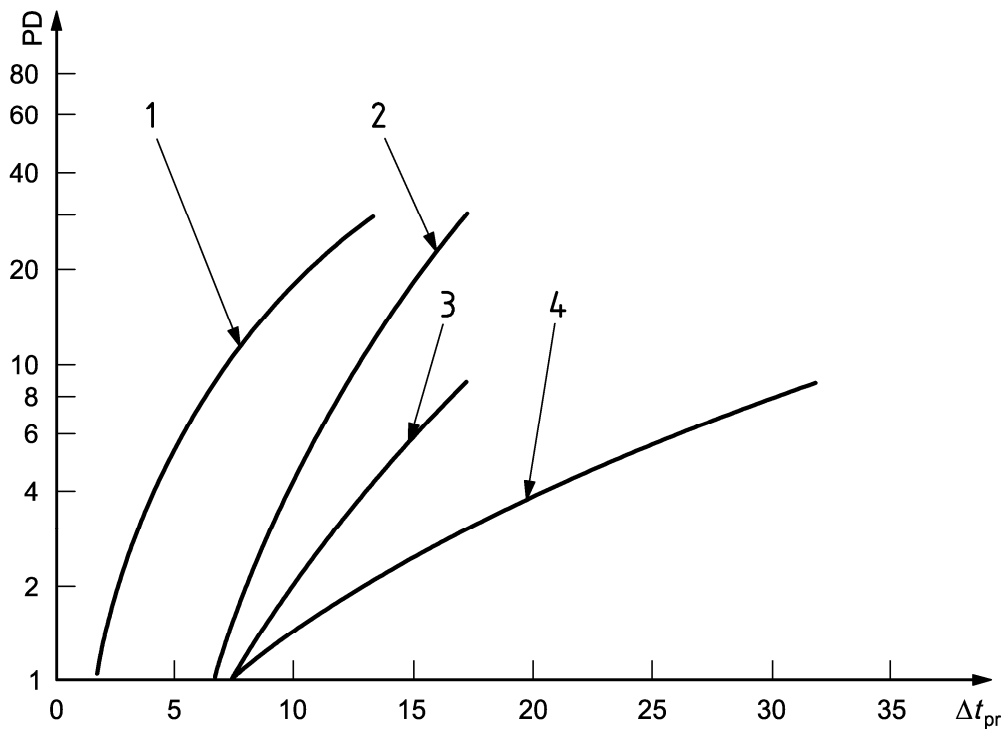
$$\Delta t_{pr} < 15 \text{ °C}$$

d) warme Wand

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(3,72 - 0,052 \cdot \Delta t_{pr})} - 3,5 \quad (12)$$

$$\Delta t_{pr} < 35 \text{ °C}$$

Die Gleichungen (9) bis (12) wurde mit den Originaldaten mit einer nicht-linearen Regressionsanalyse bestimmt, und sollten nicht außerhalb des oben angegebenen Bereiches angewendet werden. Die Kurven für a) (warme Decke) und d) (warme Wand) wurden korrigiert, um die Unbehaglichkeit, die nicht durch Strahlungsasymmetrie verursacht wird, zu berücksichtigen, siehe Bild 4.

**Legende**

PD Prozentsatz an Unzufriedenen, %
 Δt_{pr} asymmetrische Strahlungstemperatur, °C

- 1 warme Decke
- 2 kühle Wand
- 3 kühle Decke
- 4 warme Wand

Bild 4 — Lokale thermische Unbehaglichkeit durch asymmetrische Strahlungstemperatur

7 Für die Behaglichkeit annehmbares Umgebungsklima

Thermische Behaglichkeit ist definiert als das Gefühl, das Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima ausdrückt. Unzufriedenheit kann durch Unbehagen des Körpers als Ganzes auf Grund der Einwirkung von Wärme oder Kälte, ausgedrückt durch PMV und PPD, oder auch durch eine ungewollte Abkühlung (oder Erwärmung) eines bestimmten Körperteils verursacht werden.

Auf Grund individueller Unterschiede ist es unmöglich, ein Umgebungsklima festzulegen, das jedermann zufrieden stellt. Es wird immer einen Prozentsatz an Unzufriedenen geben. Es ist jedoch möglich, ein Umgebungsklima festzulegen, von dem vorausgesagt werden kann, dass es von einem gewissen Prozentsatz der dem Klima ausgesetzten Personen als annehmbar empfunden wird.

Oft sind dieselben Personen gegenüber mehreren Arten von lokaler Unbehaglichkeiten empfindlich. Z. B. kann eine Person, die gegen Zugluft empfindlich ist, auch gegen örtliche Abkühlung durch asymmetrische Strahlung oder einen kalten Fußboden empfindlich sein. Solch eine kälteempfindliche Person kann auch einfache Kälteunbehaglichkeit des ganzen Körpers empfinden. Deshalb sollten PPD, DR oder PD durch andere Arten der lokalen Unbehaglichkeit nicht addiert werden.

Auf Grund von lokalen oder nationalen Prioritäten, technischen Entwicklungen und Klimaregionen kann eine höhere thermische Qualität (weniger Unzufriedene) oder eine geringere Qualität (mehr Unzufriedene) in einigen Fällen akzeptiert werden. In diesen Fällen können PMV und PPD, das Zugluft-Modell und das Verhältnis zwischen den Parametern der lokalen Unbehaglichkeit (siehe Abschnitt 6) und dem vorausgesagten Prozentsatz an Unzufriedenen angewendet werden, um unterschiedliche Bereiche von Umgebungsparametern für die Bewertung und die Schaffung des Umgebungsklimas zu bestimmen.

Anhang A enthält ein Beispiel für unterschiedliche Anforderungskategorien.

8 Umgebungsklimate mit un stetigen Bedingungen

8.1 Allgemeines

Die Verfahren der vorhergehenden Abschnitte beruhen auf gleich bleibenden Bedingungen. Beim Umgebungsklima herrschen jedoch häufig un stetige Bedingungen vor, und es stellt sich die Frage, ob die Verfahren dennoch gültig sind. Es können drei Arten von un stetigen Bedingungen auftreten: Temperaturzyklen, Temperaturdrifts oder -gefälle und Übergänge.

8.2 Temperaturzyklen

Temperaturzyklen können infolge der Temperaturregelung in einem Raum auftreten. Falls die Spitze-Spitze-Schwankung weniger als 1 K beträgt, wird die Behaglichkeit nicht beeinträchtigt, und die Empfehlungen für gleich bleibende Bedingungen können angewendet werden. Höhere Spitzenschwankungen können die Behaglichkeit vermindern.

8.3 Temperaturdrifts oder -gefälle

Wenn die Änderungsrate für Temperaturdrift oder -gefälle unter 2,0 K/h liegt, gelten die Verfahren für Schwankungen bei gleich bleibenden Bedingungen.

8.4 Übergänge

Im Allgemeinen können im Hinblick auf Übergänge folgende Aussagen getroffen werden:

- eine größere Änderung der operativen Temperatur wird unmittelbar empfunden;
- nach einer Erhöhung der operativen Temperatur wird das neue gleich bleibende Umgebungsklima sofort wahrgenommen, d. h. PMV und PPD können angewendet werden, um die Behaglichkeit vorauszusagen;
- nach einer Verringerung der operativen Temperatur sinkt das Wärmeempfinden zuerst unter das vom PMV vorgegebene Niveau, danach steigt es und erreicht unter gleich bleibenden Bedingungen nach etwa 30 min das konstante Niveau, d. h. mit PMV und PPD werden Werte vorausgesagt, die in den ersten 30 min zu hoch sind. Die Dauer bis zur Einstellung neuer gleich bleibender Bedingungen hängt von den Ausgangsbedingungen ab.

9 Langzeitbewertung der Bedingungen für die allgemeine thermische Behaglichkeit

Es dürfen unterschiedliche Kategorien der allgemeinen Behaglichkeit als Bereiche für PMV und PPD festgelegt werden (siehe Anhang A).

Falls diese Kriterien, einschließlich in Extremsituationen, erfüllt werden müssen, sollte die Wärme- und/oder Kühlleistung jeder HVAC(Heating, ventilation, air-conditioning)-Anlage relativ hoch sein. Eine Berücksichtigung von wirtschaftlichen und/oder umwelttechnischen Faktoren führt zu annehmbaren begrenzten Zeitintervallen, in denen sich das PMV außerhalb der festgelegten Bereiche befinden darf.

Für unterschiedliche Gebäudetypen und/oder HVAC-Anlagen werden die Behaglichkeitsbedingungen durch Computersimulation oder Messungen oft über längere Zeitspannen geprüft. Um die Konstruktionen und Leistungen vergleichen zu können, ist es hierbei erforderlich, einen charakteristischen Wert für die Langzeit-Behaglichkeitsbedingungen anzugeben.

Zu diesem Zweck ist im Anhang H eine nicht abschließende Liste mit Verfahren angegeben, die angewendet werden können.

10 Anpassung

Bei der Bestimmung des annehmbaren operativen Temperaturbereichs nach dieser Internationalen Norm ist ein Bekleidungsisolationswert anzuwenden, der den Bekleidungsgehnheiten und dem Klima vor Ort entspricht.

In warmen oder kalten Umgebungen kann die Anpassung oft von Einfluss sein. Neben der Bekleidung können andere Arten der Anpassung, zum Beispiel Körperhaltung und verringerte Aktivität, die quantitativ schwer zu ermitteln sind, dazu führen, dass höhere Innentemperaturen als annehmbar angesehen werden. Personen, die es gewohnt sind, in einem wärmeren Umgebungsklima zu arbeiten und zu leben, können eine höhere Arbeitsleistung in einer warmen Umgebung leichter annehmen und aufrechterhalten als Personen aus einem kälteren Umgebungsklima (siehe ISO 7933 und ISO 7243).

Erweiterte annehmbare Umgebungen können auf Gebäude und Häuser mit freier Lüftung in warmen Klimaten und/oder auf warme Perioden angewendet werden, wenn die Temperatur in den Räumen hauptsächlich durch das Öffnen und Schließen der Fenster reguliert wird. Felduntersuchungen haben gezeigt, dass Nutzer von solchen Gebäuden höhere Temperaturen akzeptieren als vom PMV vorhergesagt. In diesen Fällen kann die Wärmebedingung für höhere PMV-Werte ausgelegt werden als in Abschnitt 6 und Anhang A angegeben.

Anhang A (informativ)

Beispiele für die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit für unterschiedliche Umgebungskategorien und Raumarten

A.1 Kategorien des Umgebungsklimas

Das gewünschte Umgebungsklima für einen Raum kann aus den drei in Tabelle A.1 angegebenen Kategorien A, B und C ausgewählt werden. Alle Kriterien sollten für jede Kategorie zugleich erfüllt werden.

Tabelle A.1 — Drei Kategorien des Umgebungsklimas

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		Lokale Unbehaglichkeit			
	PPD %	PMV	DR %	PD %		
				Vertikaler Lufttemperaturunterschied	warmer oder kalter Fußboden	asymmetrische Strahlung
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

Jede Kategorie schreibt einen maximalen Prozentsatz an Unzufriedenen für den gesamten Körper (PPD) und PD für jede der vier Arten der lokalen Unbehaglichkeit vor. Einige Anforderungen sind in der Praxis nur schwer umzusetzen, andere hingegen sind leicht zu erfüllen. Die unterschiedlichen Prozentsätze veranschaulichen einen Ausgleich zwischen dem Ziel, wenige Unzufriedene zu erhalten, und dem, was mit der vorhandenen Technik möglich ist.

Wegen der Genauigkeit der Instrumente zur Messung der Eingangsparameter kann es schwierig sein zu überprüfen, ob PMV der Klasse A-Kategorie ($-0,2 < PMV < +0,2$) entspricht. Stattdessen darf, wie in Abschnitt A.2 und in Tabelle A.5 angegeben, die Überprüfung auf dem äquivalenten operativen Temperaturbereich basieren.

Die drei Kategorien in Tabelle A.1 gelten für Räume, in denen alle Personen demselben Umgebungsklima ausgesetzt sind. Es ist von Vorteil, für jede einzelne Person eine individuelle Regelungsmöglichkeit für das Umgebungsklima vorzusehen. Eine individuelle Regelung der lokalen Lufttemperatur, der mittleren Strahlungstemperatur oder der Luftgeschwindigkeit kann dazu beitragen, die großen Unterschiede zwischen individuellen Anforderungen auszugleichen und so weniger Unzufriedenen führen.

Eine Anpassung der Bekleidung kann ebenfalls zum Ausgleichen individueller Unterschiede beitragen. Die Wirkung, die ein Hinzufügen (oder Entfernen) von Kleidungsstücken auf die optimale operative Temperatur hat, ist in Tabelle C.2 angegeben.

A.2 Bereich der operativen Temperatur

In einem bestimmten Raum gibt es eine optimale operative Temperatur, die $PMV = 0$ entspricht und die von der Aktivität und der Bekleidung der Personen abhängig ist, die sich in dem Raum aufhalten. Bild A.1 zeigt für jede der drei Kategorien die optimale operative Temperatur und den zulässigen Temperaturbereich als eine Funktion der Bekleidung und der Aktivität. Die optimale operative Temperatur ist für alle drei Kategorien gleich, der zulässige Bereich um die optimale operative Temperatur variiert jedoch.

Die operative Temperatur an allen Punkten innerhalb des Raumbereichs, in dem sich Personen aufhalten, sollte stets innerhalb des zulässigen Bereichs liegen. Das bedeutet, dass der zulässige Bereich sowohl räumliche als auch zeitliche Schwankungen abdecken sollte, einschließlich Schwankungen, die durch das Regelungssystem entstehen.

Bild A.1 gilt für eine relative Luftfeuchte von 50 %; bei einem gemäßigten Umgebungsklima hat die Luftfeuchte jedoch nur einen geringen Einfluss auf das Wärmeempfinden. In der Regel wird eine um 10 % höhere relative Luftfeuchte als genauso warm empfunden wie eine um 0,3 °C höhere operative Temperatur.

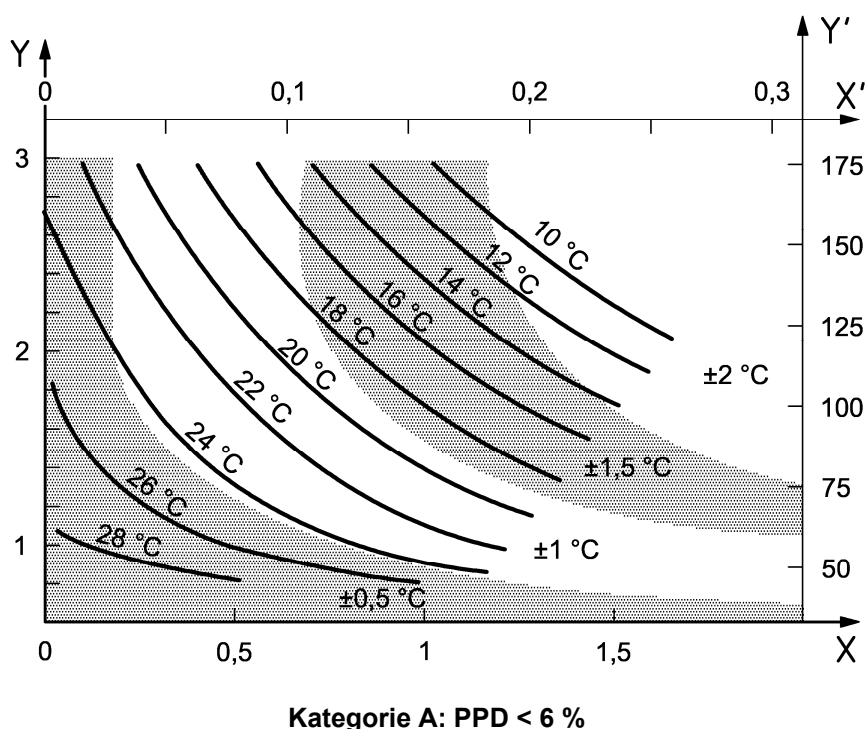
Die PD in Tabelle A.1 sind nicht additiv. In der Praxis kann eine höhere oder geringere Anzahl an Unzufriedenen auftreten, wenn in Feldstudien subjektive Fragebögen genutzt werden (siehe ISO 10551).

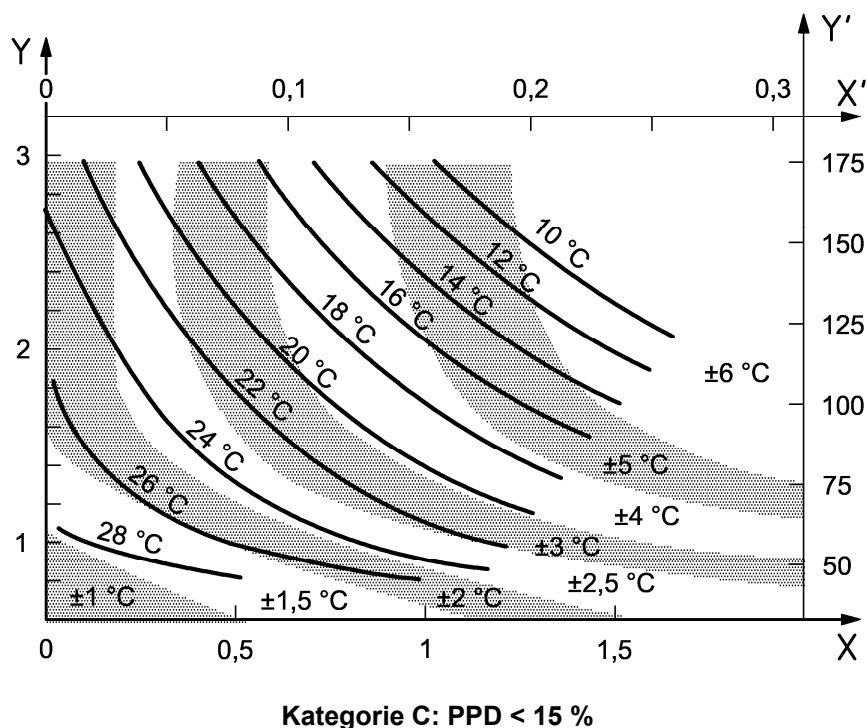
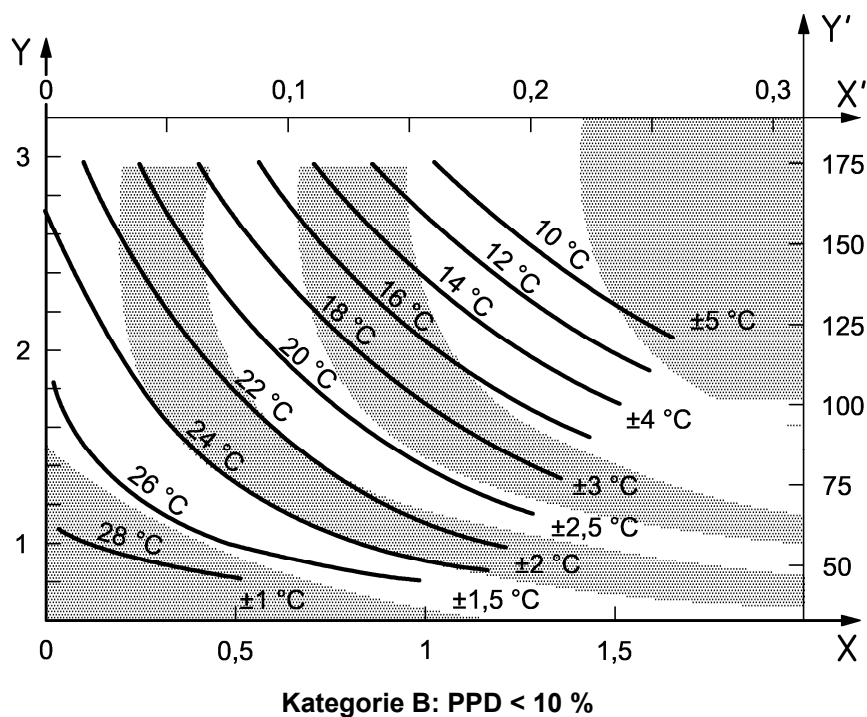
Es wird eine Luftgeschwindigkeit von $< 0,1 \text{ ms}^{-1}$ im Raum angenommen. Die relative Luftgeschwindigkeit, v_{ar} , die durch Bewegungen des Körpers entsteht, wird bei einem Energieumsatz M kleiner 1 met und $v_{ar} = 0,3 (M - 1)$ als null geschätzt. Die Diagramme gelten bei einer relativen Luftfeuchte von 50 %; die Luftfeuchte hat jedoch nur einen geringen Einfluss auf den optimalen und den zulässigen Temperaturbereich.

A.3 Lokale thermische Unbehaglichkeit

Bild A.2 zeigt für die drei Kategorien nach Tabelle A.1 Bereiche für die Parameter der lokalen thermischen Unbehaglichkeit an.

Die höchstzulässige mittlere Luftgeschwindigkeit ist eine Funktion der lokalen Lufttemperatur und des Turbulenzgrades. Der Turbulenzgrad darf in Räumen mit Mischstrom-Luftverteilung von 30 % bis 60 % schwanken. In Räumen mit Verdrängungslüftung oder ohne maschinelle Lüftung darf der Turbulenzgrad geringer sein.



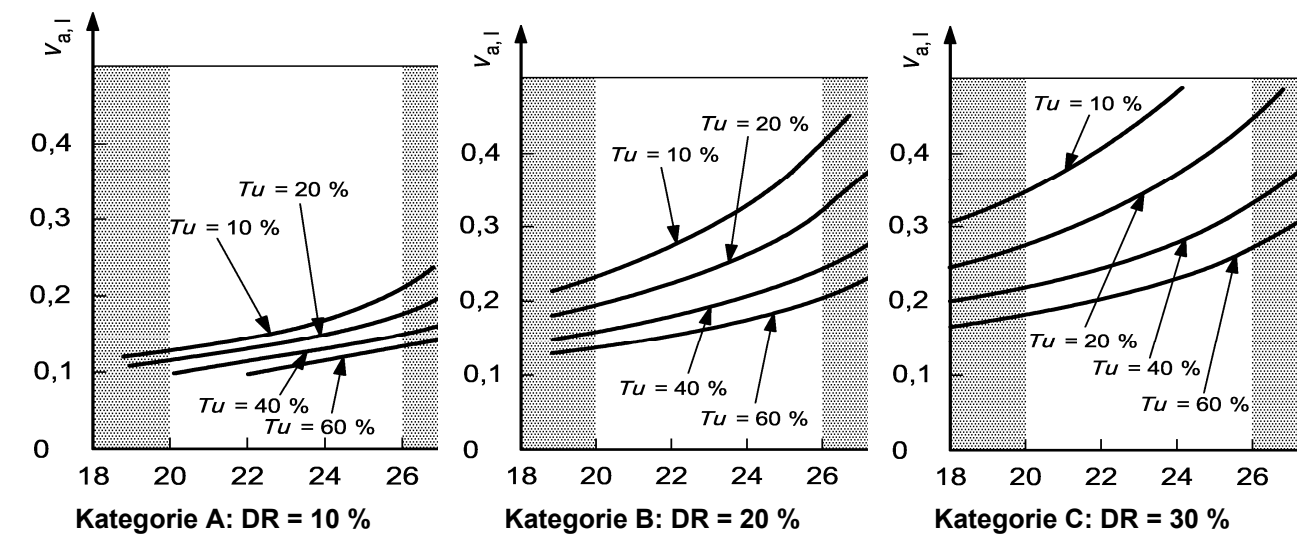


Die Diagramme zeigen für die drei Kategorien den Bereich um die optimale Temperatur.

Legende

- PPD vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, %;
- X Bekleidungsisolierung in Bekleidungseinheiten, (clo);
- X' Bekleidungsisolierung in Bekleidungseinheiten, $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Y Energieumsatz in metabolischen Einheiten, (met);
- Y' Energieumsatz in metabolischen Einheiten, W/m^2 .

Bild A.1 — Die optimale operative Temperatur als eine Funktion der Bekleidung und der Aktivität



Legende

- $t_{a,l}$ lokale Temperatur, °C
- $\bar{v}_{a,l}$ lokale mittlere Luftgeschwindigkeit, m/s
- Tu Intensität der Turbulenzen

Bild A.2 — Höchstzulässige mittlere Luftgeschwindigkeit als Funktion der Lufttemperatur und des Turbulenzgrades vor Ort

Die Tabellen A.2, A.3 und A.4 enthalten Werte für die lokale Unbehaglichkeit durch vertikalen Temperaturunterschied, warmer/kalter Boden und Strahlungsasymmetrie.

Tabelle A.2 — Vertikaler Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fußgelenken

Kategorie	Vertikaler Lufttemperaturunterschied ^a °C
A	< 2
B	< 3
C	< 4

^a 1,1 und 0,1 m über dem Fußboden.

Tabelle A.3 — Fußbodentemperaturbereich

Kategorie	Oberflächentemperaturbereich des Fußbodens °C
A	19 bis 29
B	19 bis 29
C	17 bis 31

Tabelle A.4 — Asymmetrie der Strahlungstemperatur

Kategorie	Asymmetrie der Strahlungstemperatur °C			
	Warme Decke	Kühle Wand	Kühle Decke	Warme Wand
A	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 5	< 10	< 14	< 23
C	< 7	< 13	< 18	< 35

A.4 Gestaltungskriterien für unterschiedliche Raumarten — Beispiele

Die in Tabelle A.5 festgelegten Gestaltungskriterien werden unter bestimmten Annahmen abgeleitet. Beim Umgebungsklima beruhen die Kriterien für die operative Temperatur auf üblichen Tätigkeitsgraden, die in Tabelle A.5 für eine Bekleidung von 0,5 clo im Sommer (Kühlungsperiode) und 1,0 clo im Winter (Heizperiode) angegeben sind. Die Kriterien für die mittlere Luftgeschwindigkeit gelten für einen Turbulenzgrad von etwa 40 % (Mischlüftung). Die Gestaltungskriterien gelten für die gegebenen Belegungsbedingungen, können aber auch für weitere Raumarten mit ähnlicher Nutzung wie die in der Tabelle angegebenen Räume anwendbar sein.

Tabelle A.5 — Beispiele für Gestaltungskriterien für Räume in unterschiedlichen Gebäudetypen

Gebäude-/Raumtyp	Aktivität Wm ⁻²	Kategorie	Operative Temperatur °C		Maximale mittlere Luftgeschwindigkeit ^a m/s	
			Sommer (Kühlungs- periode)	Winter (Heizperiode)	Sommer (Kühlungs- periode)	Winter (Heizperiode)
Einzelbüro Bürolandschaft Konferenzraum Auditorium Cafeteria/ Restaurant Klassenraum	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21 ^b
Kindergarten	81	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,11	0,10 ^b
		B	23,5 ± 2,0	20,0 ± 2,5	0,18	0,15 ^b
		C	23,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,23	0,19 ^b
Kaufhaus	93	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13 ^b
		B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15 ^b
		C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18 ^b

^a Die maximale mittlere Luftgeschwindigkeit beruht auf einem Turbulenzgrad von 40 % und einer Lufttemperatur, die gleich der operativen Temperatur nach 6.2 und Bild A.2 ist. Für den Sommer und Winter wird eine relative Luftfeuchte von 60 % bzw. 40 % angewendet. Zur Bestimmung der maximalen mittleren Luftgeschwindigkeit wird sowohl im Sommer als auch im Winter die niedrigere Temperatur des Bereichs gewählt.

^b Unter einem Grenzwert von 20 °C (Bild A.2).

Anhang B (informativ)

Energieumsätze verschiedener körperlicher Tätigkeiten

Weitere Informationen bezüglich des Energieumsatzes sind in ISO 8996 enthalten. Es ist auch zu beachten, dass ältere Personen oft eine geringere mittlere Aktivität als jüngere Personen aufweisen.

Tabelle B.1 — Energieumsätze

Aktivität	Energieumsatz	
	Wm ⁻²	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
Gehen auf der Ebene:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Anhang C (informativ)

Abschätzung des Isolationswertes von Bekleidungskombinationen

C.1 Allgemeines

Der Bekleidungsisolationswert (I_{cl}) kann direkt aus den Werten für typische Bekleidungskombinationen der Tabelle C.1 (die Werte gelten für statische Wärmeisolation) oder indirekt durch Summierung der partiellen Isolationswerte für jedes einzelne Kleidungsstück, I_{clu} , wie in Tabelle C.2 angegeben, geschätzt werden.

Tabelle C.2 enthält die entsprechende Änderung der optimalen operativen Temperatur, die notwendig ist, um das thermische Empfinden neutral zu halten, wenn Kleidung hinzugefügt oder weggelassen wird, bei leichter sitzenden Tätigkeit (1,2 met).

Für sitzende Personen kann der Stuhl eine zusätzliche Isolation von 0 clo bis 0,4 clo darstellen (siehe Tabelle C.3). Weitere Informationen sind in ISO 9920 enthalten.

Tabelle C.1 — Thermische Isolationswerte für typische Bekleidungskombinationen

Arbeitsbekleidung	I_{cl}		Tägliche Kleidung	I_{cl}	
	clo	$m^2 \cdot K/W$		clo	$m^2 \cdot K/W$
Unterhose, Latzhose, Socken, Schuhe	0,70	0,110	Slip, T-Shirt, Shorts, leichte Socken, Sandalen	0,30	0,050
Unterhose, Hemd, Latzhose, Socken, Schuhe	0,80	0,125	Unterhose, Hemd mit kurzen Ärmeln, leichte Hose, leichte Socken, Schuhe	0,50	0,080
Unterhose, Hemd, Hose, Arbeitskittel, Socken, Schuhe	0,90	0,140	Slip, Petticoat, Strümpfe, Kleid, Schuhe	0,70	0,105
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe	1,00	0,155	Unterwäsche, Hemd, Hose, Socken, Schuhe	0,70	0,110
Unterwäsche mit langen Beinen und Ärmeln, Thermojacke, Socken, Schuhe	1,20	0,185	Slip, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe	1,00	0,155
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Jacke, schwere Steppjacke und Overalls, Socken, Schuhe, Mütze, Handschuhe	1,40	0,220	Slip, Strümpfe, Bluse, langer Rock, Jacke, Schuhe	1,10	0,170
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Jacke, schwere Steppjacke und Overall, Socken, Schuhe	2,00	0,310	Unterwäsche mit langen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Pullover mit V-Ausschnitt, Jacke, Socken, Schuhe	1,30	0,200
Unterwäsche mit langen Ärmeln und Beinen, Thermojacke und Hose, Parka mit schwerer Steppung, Overall mit schwerer Steppung, Socken, Schuhe, Mütze, Handschuhe	2,55	0,395	Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Weste, Jacke, Mantel, Socken, Schuhe	1,50	0,230

Tabelle C.2 — Thermischer Isolationswert von Bekleidungsstücken und Änderungen der optimalen operativen Temperatur

Bekleidungsstück	I_{clu}		Änderung der optimalen operativen Temperatur °C
	clo	m ² K/W	
Unterwäsche			
Slip	0,03	0,005	0,2
Unterhose mit langen Beinen	0,10	0,016	0,6
Ärmelloses Unterhemd	0,04	0,006	0,3
T-Shirt	0,09	0,014	0,6
Hemd mit langen Ärmeln	0,12	0,019	0,8
Slip und Büstenhalter	0,03	0,005	0,2
Hemden, Blusen			
Kurze Ärmel	0,15	0,023	0,9
Leicht, lange Ärmel	0,20	0,031	1,3
Normal, lange Ärmel	0,25	0,039	1,6
Flanellhemd, lange Ärmel	0,30	0,047	1,9
Leichte Bluse, lange Ärmel	0,15	0,023	0,9
Hosen			
Shorts	0,06	0,009	0,4
Leichte	0,20	0,031	1,3
Normale	0,25	0,039	1,6
Flanell	0,28	0,043	1,7
Kleider, Röcke			
Leichte Röcke (Sommer)	0,15	0,023	0,9
Schwerer Rock (Winter)	0,25	0,039	1,6
Leichtes Kleid, kurze Ärmel	0,20	0,031	1,3
Winterkleid, lange Ärmel	0,40	0,062	2,5
Latzhose	0,55	0,085	3,4
Pullover			
Ärmellose Weste	0,12	0,019	0,8
Dünner Pullover	0,20	0,031	1,3
Pullover	0,28	0,043	1,7
Dicker Pullover	0,35	0,054	2,2
Jacken			
Leicht, Sommerjacke	0,25	0,039	1,6
Jacke	0,35	0,054	2,2
Arbeitskittel	0,30	0,047	1,9
Hochwärmedämmendes Kunstfell			
Latzhose	0,90	0,140	5,6
Hose	0,35	0,054	2,2
Jacke	0,40	0,062	2,5
Weste	0,20	0,031	1,3

Tabelle C.2 (fortgesetzt)

Bekleidungsstück	I_{clu}		Änderung der optimalen operativen Temperatur °C
	clo	m ² K/W	
Straßenbekleidung			
Mantel	0,60	0,093	3,7
Lange Jacke	0,55	0,085	3,4
Parka	0,70	0,109	4,3
Kunstfell-Overall	0,55	0,085	3,4
Diverses			
Socken	0,02	0,003	0,1
Dicke, kurze Socken	0,05	0,008	0,3
Dicke, lange Socken	0,10	0,016	0,6
Nylonstrümpfe	0,03	0,005	0,2
Schuhe (dünn, besohlt)	0,02	0,003	0,1
Schuhe (dick, besohlt)	0,04	0,006	0,3
Stiefel	0,10	0,016	0,6
Handschuhe	0,05	0,008	0,3

Tabelle C.3 — Isolationswerte für Stühle

Stuhlart	I_{clu}	
	clo	m ² · K/W
Netzstuhl, Metallstuhl	0,00	0,00
Holzocker	0,01	0,002
Üblicher Bürostuhl	0,1	0,016
Chefsessel	0,15	0,023

Die Werte aus der Tabelle C.3 dürfen zu den Isolationswerten der einzelnen Bekleidungsstücke aus Tabelle C.2 oder den Bekleidungskombinationswerten aus Tabelle C.1 addiert werden.

C.2 Bestimmung der dynamischen Isolationsmerkmale von Bekleidung

Die Isolationsmerkmale der Bekleidung und der angrenzenden Luftschicht werden sowohl durch die körperliche Tätigkeit als auch durch die Lüftung geändert. Wind und Bewegung des Körpers verringern den Isolationswert, der daher korrigiert werden muss. Der Korrekturfaktor für die statische gesamte Bekleidungsisolations- und die Isolation durch die äußere Luftschicht kann mit den Gleichungen (B.1) bis (B.3) bestimmt werden:

Für eine bekleidete Person mit üblicher oder leichter Bekleidung ($0,6 < I_{cl} < 1,4$ clo oder $1,2 < I_T < 2,0$ clo):

$$I_{T,r} = I_T \cdot \text{Corr}, \quad I_T = I_T \exp \left(-0,281(v_{ar} - 0,15) + 0,44(v_{ar} - 0,15)^2 - 0,492 \cdot v_W + 0,176 \cdot v_W^2 \right) \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

- $I_{T,r}$ die sich ergebende gesamte Bekleidungsisolation in Quadratmeter Kelvin je Watt oder Bekleidungseinheit ($m^2 \cdot K/W$ oder clo);
- I_T die gesamte Bekleidungsisolation in Quadratmeter Kelvin durch Watt oder Bekleidungseinheit ($m^2 K/W$ oder clo);
- Corr, I_T der Korrekturfaktor für die gesamte Bekleidungsisolation;
- v_{ar} die Luftgeschwindigkeit relativ zur Person in Meter durch Sekunde;
- v_w die Schrittgeschwindigkeit in Meter durch Sekunde.

Für eine unbedeckte Person ($I_{cl} = 0$ clo):

$$I_{a,r} = I_a \cdot \text{Corr}, I_a = I_a \exp \left(-0,533(v_{ar} - 0,15) + 0,069(v_{ar} - 0,15)^2 - 0,462 \cdot v_w + 0,201 \cdot v_w^2 \right) \quad (\text{B.2})$$

Dabei ist

- $I_{a,r}$ die sich ergebende Isolation durch die äußere Luftschicht unter den gegebenen Bedingungen in Quadratmeter Kelvin durch Watt oder Bekleidungseinheit ($m^2 \cdot K/W$ oder clo);
- I_a die Isolation durch die äußere Luftschicht in Quadratmeter Kelvin durch Watt oder Bekleidungseinheit ($m^2 \cdot K/W$ oder clo);
- Corr, I_a der Korrekturfaktor für I_a .

Die sich ergebende dynamische Bekleidungsisolation darf wie folgt bestimmt werden:

$$L_{cl,r} = I_{T,r} - \frac{I_{a,r}}{f_{cl}}$$

Dabei ist

- f_{cl} der Bekleidungsflächenfaktor, das Verhältnis der Oberfläche des bekleideten Körpers zur Oberfläche des nackten Körpers und $v_{a,r}$ sollte auf 3,5 m/s und v_w auf 1,2 m/s beschränkt werden.

Wenn die Schrittgeschwindigkeit nicht definiert ist oder die Person sich nicht fortbewegt, kann der Wert für v_w wie folgt berechnet werden:

$$v_w = 0,005 \cdot 2(M - 58) \text{ mit } v_w \leq 0,7 \text{ m/s}$$

Für sehr geringe Kleidungsisolation, z. B. für $0 \text{ clo} \leq I_{cl} \leq 0,6 \text{ clo}$, ergibt eine Interpolation zwischen den Gleichungen (B.1) und (B.2):

$$\frac{I_{T,r}}{I_T} = \frac{[(0,6 - I_{cl}) \cdot I_{T,r,nude} + I_{cl} \cdot I_{T,r,dressed}]}{0,6} \quad (\text{B.3})$$

Dabei ist

- $I_{T,r,dressed} = I_T$ bestimmt nach Gleichung (B.1) in Kleidungseinheiten (clo);
- $I_{T,r,nude} = I_a$ bestimmt nach Gleichung (B.2) in Kleidungseinheiten (clo).

Anhang D (normativ)

Computerprogramm zur Berechnung von PMV und PPD

Das folgende BASIC-Programm berechnet PMV und PPD für einen gegebenen Satz von Eingangsparametern. Es dürfen auch andere Programmiersprachen verwendet werden, die Ergebnisse sollten jedoch mit dem gegebenen BASIC-Code oder mit beispielhaften Werten in Tabelle D.1 überprüft werden.

Dynamische Wirkungen auf den Isolationswert der Bekleidung müssen vorgenommen werden, bevor der sich ergebene thermische Isolationswert für die Bekleidung ($I_{cl,r}$) in dieser Gleichung eingesetzt wird.

Parameter	Symbole im Programm
Bekleidung, in clo	CLO
Energieumsatz, in met	MET
Mechanische Leistung, in met	WME
Lufttemperatur, in °C	TA
Mittlere Strahlungstemperatur, in °C	TR
Relative Luftgeschwindigkeit, in m/s	VEL
Relative Luftfeuchte, in %	RH
Wasserdampfpartialdruck, in Pa	PA

10	'Computer program (BASIC) for calculation of	
20	'Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)	
30	'in accordance with International Standard, ISO 7730	
40	CLS: PRINT "DATA ENTRY"	: 'data entry
50	INPUT " Clothing	(clo)"; CLO
60	INPUT " Metabolic rate	(met)"; MET
70	INPUT " External work, normally around 0	(met)"; WME
80	INPUT " Air temperature	(°C)"; TA
90	INPUT " Mean radiant temperature	(°C)"; TR
100	INPUT " Relative air velocity	(m/s)"; VEL
110	PRINT " ENTER EITHER RH OR WATER VAPOUR PRESSURE BUT NOT BOTH"	
120	INPUT " Relative humidity	(%)"; RH
130	INPUT " Water vapour pressure	(Pa)"; PA
140	DEF FNPS (T)=EXP(16.6536-4030.183/(T+235))	: 'saturated vapour pressure, KPa
150	IF PA=0 THEN PA=RH*10*FNPS(TA)	: 'water vapour pressure, Pa
160	ICL = .155 * CLO	: 'thermal insulation of the clothing in M2K/W
170	M = MET * 58.15	: 'metabolic rate in W/m ²
180	W = WME * 58.15	: 'external work in W/m ²
190	MW = M - W	: 'internal heat production in the human body
200	IF ICL ≤ .078 THEN FCL = 1 + 1.29 * ICL	
	ELSE FCL=1.05 +1.645*ICL	: 'clothing area factor
210	HCF=12.1*SQR(VEL)	: 'heat transf. coeff. by forced convection
220	TAA = TA + 273	: 'air temperature in Kelvin
230	TRA = TR + 273	: 'mean radiant temperature in Kelvin
240	'----- CALCULATE SURFACE TEMPERATURE OF CLOTHING BY ITERATION -----	
250	TCLA = TAA + (35.5-TA) / (3.5*(6.45*(ICL+.1))	: 'first guess for surface temperature of clothing
260	P1 = ICL * FCL	: 'calculation term
270	P2 = P1 * 3.96	: 'calculation term
280	P3 = P1 * 100	: 'calculation term
290	P4 = P1 * TAA	: 'calculation term
300	P5 = 308.7 - .028 * MW + P2 * (TRA/100)^4	: 'calculation term
310	XN = TCLA / 100	


```

320 XF      = XN
330 N=0
340 EPS      = .00015                                :'N: number of iterations
350 XF=(XF+XN) / 2                                    :'stop criteria in iteration
360 HCN=2.38*ABS(100*XF-TAA)^.25                      :'heat transf. coeff. by natural convection
370 IF HCF>HCN THEN HC=HCF ELSE HC=HCN
380 XN=(P5+P4*HC-P2*XF^F) / (100+P3*HC)
390 N=N+1
400 IF N > 150 THEN GOTO 550
410 IF ABS (XN-XF)>EPS GOTO 350
420 TCL=100*XN-273                                    :'surface temperature of the clothing
430 '----- HEAT LOSS COMPONENTS -----
440 HL1      = 3.05*.001*(5733-6.99-MW-PA)             :'heat loss diff. through skin
450 IF MW > 58.15 THEN HL2 = .42 * (MW-58.15)
   ELSE HL2 = 0!                                       :'heat loss by sweating (comfort)
460 HL3      = 1.7 * .00001 * M * (5867-PA)           :'latent respiration heat loss
470 HL4      = .0014 * M * (34-TA)                   :'dry respiration heat loss
480 HL5=3.96*FCL*(XN^4-(TRA/100)^4)                  :'heat loss by radiation
490 HL6      = FCL * HC * (TCL-TA)                   :'heat loss by convection
500 '----- CALCULATE PMV AND PPD -----
510 TS      = .303 * EXP(-.036*M) + .028             :'thermal sensation trans coeff
520 PMV      = TS * (MW-HL1-HL2-HL3-HL4-HL5-HL6)      :'predicted mean vote
530 PPD=100-95*EXP(-.03353*PMV^4-.2179*PMV^2)        :'predicted percentage dissat.
540 GOTO 570
550 PMV =999999!
560 PPD=100
570 PRINT: PRINT"OUTPUT"                             :'output
580 PRINT    " Predicted Mean Vote                    (PMV) : "
   ;; PRINT USING " ## . # "; PMV
590 PRINT    " Predicted Percent of Dissatisfied      (PPD) : "
   ;; PRINT USING " ### . # "; PPD
600 PRINT: INPUT "NEXT RUN" (Y/N); RS
610 IF (RS="Y" OR RS="y") THEN RETURN
620 END

```

Beispiel:

DATENEINGABE

Bekleidung	(clo)	?	1.0
körper eigener Energieumsatz	(met)	?	1.2
External work, normally around 0	(met)	?	0
Lufttemperatur	(C)	?	19.0
mittlere Strahlungstemperatur	(C)	?	18.0
Mittlere Luftgeschwindigkeit	(m/s)	?	0.1
ENTWEDER RELATIVE LUFTFEUCHTE ODER WASSERDAMPFDRUCK EINSETZEN, ABER NICHT BEIDES			
Relative Luftfeuchte	(%)	?	40
Wasserdampfdruck	(Pa)?	?	

AUSGABE

vorausgesagtes mittleres Votum	(PMV):	-0.7
vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen	(PPD):	15.3

Tabelle D.1 — Beispielhafte Ergebnisse

Versuch Nr.	Lufttemperatur °C	Mittlere Strahlungstemp- eratur °C	Luftge- schwindig- keit m/s	Relative Luft- feuchte %	Energie- umsatz met	Beklei- dungsiso- lation clo	PMV	PPD
1	22,0	22,0	0,10	60	1,2	0,5	– 0,75	17
2	27,0	27,0	0,10	60	1,2	0,5	0,77	17
3	27,0	27,0	0,30	60	1,2	0,5	0,44	9
4	23,5	25,5	0,10	60	1,2	0,5	– 0,01	5
5	23,5	25,5	0,30	60	1,2	0,5	– 0,55	11
6	19,0	19,0	0,10	40	1,2	1,0	– 0,60	13
7	23,5	23,5	0,10	40	1,2	1,0	0,50	10
8	23,5	23,5	0,30	40	1,2	1,0	0,12	5
9	23,0	21,0	0,10	40	1,2	1,0	0,05	5
10	23,0	21,0	0,30	40	1,2	1,0	– 0,16	6
11	22,0	22,0	0,10	60	1,6	0,5	0,05	5
12	27,0	27,0	0,10	60	1,6	0,5	1,17	34
13	27,0	27,0	0,30	60	1,6	0,5	0,95	24

Anhang E (normativ)

Tabellen zur Bestimmung des vorausgesagten mittleren Votums (PMV)

Unter der Voraussetzung, dass der Unterschied zwischen der Lufttemperatur und der operativen Temperatur weniger als 5 °C beträgt, ist die Unsicherheit der Tabellen in diesem Anhang besser als 0,1 PMV. Die Tabellen gelten für eine relative Luftfeuchte von 50 %.

Die relative Luftgeschwindigkeit ist bezogen auf den menschlichen Körper und wird in Meter durch Sekunde angegeben.

ANMERKUNG 1 Einheit des Energieumsatzes = 1 met = 58,15 Wm⁻²; 1 Einheit der Bekleidung = 1 clo = 0,155 m² · K/W.

Die dynamische Bekleidungsisolations sollte bei der Verwendung der Tabellen korrigiert werden.

Tabelle E.1 — Grad der körperlichen Tätigkeit: 46,4 W/m² (0,8 met)

Kleidung		Operative Temperatur	Relative Luftgeschwindigkeit							
			m/s							
clo	m ² · K/W	°C	< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	27	– 2,55	– 2,55						
		28	– 1,74	– 1,76	– 2,23	– 2,62				
		29	– 0,93	– 1,02	– 1,42	– 1,75				
		30	– 0,14	– 0,28	– 0,60	– 0,88				
		31	0,63	0,46	0,21	0,01				
		32	1,39	1,21	1,04	0,89				
		33	2,12	1,97	1,87	1,78				
		34		2,73	2,71	2,68				
0,25	0,039	26	– 1,92	– 1,94	– 2,29	– 2,57				
		27	– 1,30	– 1,36	– 1,67	– 1,92	– 2,31	– 2,62		
		28	– 0,69	– 0,78	– 1,05	– 1,26	– 1,60	– 1,87	– 2,10	– 2,89
		29	– 0,08	– 0,20	– 0,42	– 0,60	– 0,89	– 1,12	– 1,31	– 1,97
		30	0,53	0,39	0,21	0,06	– 0,17	– 0,36	– 0,51	– 1,05
		31	1,12	0,99	0,84	0,73	0,55	0,41	0,29	– 0,13
		32	1,71	1,58	1,49	1,41	1,28	1,18	1,09	0,80
		33	2,29	2,19	2,13	2,08	2,01	1,95	1,90	1,73
0,5	0,078	25	– 1,54	– 1,59	– 1,84	– 2,04	– 2,34	– 2,57		
		26	– 1,04	– 1,12	– 1,34	– 1,51	– 1,78	– 1,98	– 2,15	
		27	– 0,55	– 0,64	– 0,83	– 0,98	– 1,22	– 1,40	– 1,54	– 2,03
		28	– 0,05	– 0,15	– 0,32	– 0,45	– 0,65	– 0,81	– 0,93	– 1,35
		29	0,45	0,34	0,20	0,09	– 0,09	– 0,22	– 0,32	– 0,67
		30	0,94	0,83	0,72	0,63	0,49	0,38	0,29	0,01
		31	1,44	1,33	1,24	1,17	1,06	0,98	0,91	0,69
		32	1,92	1,83	1,76	1,71	1,64	1,58	1,54	1,38

Tabelle E.1 (fortgesetzt)

Kleidung		Operative Temperatur	Relative Luftgeschwindigkeit							
			m/s							
clo	m ² · K/W	°C	< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0,75	0,116	24	1,26	1,31	– 1,51	– 1,65	– 1,87	– 2,03	– 2,17	
		25	– 0,84	– 0,91	– 1,08	– 1,21	– 1,41	1,56	– 1,67	– 2,05
		26	– 0,42	– 0,51	– 0,66	– 0,77	– 0,95	– 1,08	– 1,18	– 1,52
		27	– 0,01	– 0,10	– 0,23	– 0,33	– 0,49	– 0,60	– 0,69	– 0,98
		28	0,41	0,32	0,20	0,11	– 0,02	– 0,12	– 0,19	– 0,45
		29	0,83	0,73	0,63	0,56	0,45	0,37	0,30	0,09
		30	1,25	1,15	1,07	1,01	0,93	0,86	0,81	0,63
		31	1,66	1,57	1,51	1,47	1,40	1,35	1,31	1,18
1,00	0,155	23	– 1,06	– 1,12	– 1,28	– 1,39	– 1,56	– 1,68	– 1,78	– 2,08
		24	– 0,71	– 0,77	– 0,91	– 1,02	– 1,17	– 1,28	– 1,37	– 1,65
		25	– 0,35	– 0,42	– 0,54	– 0,64	– 0,78	– 0,88	– 0,96	– 1,21
		26	0,01	– 0,06	– 0,17	– 0,26	– 0,38	– 0,47	– 0,55	– 0,76
		27	0,37	0,29	0,20	0,12	0,01	– 0,06	– 0,13	– 0,32
		28	0,74	0,66	0,57	0,51	0,41	0,35	0,30	0,13
		29	1,10	1,02	0,95	0,90	0,82	0,76	0,72	0,58
		30	1,46	1,39	1,33	1,29	1,22	1,18	1,14	1,03
1,50	0,233	18	– 1,67	– 1,70	– 1,84	– 1,93	– 2,07	– 2,17	– 2,25	– 2,49
		20	– 1,11	– 1,16	– 1,27	– 1,36	– 1,48	– 1,57	– 1,63	– 1,84
		22	– 0,55	– 0,60	– 0,70	– 0,77	– 0,88	– 0,95	– 1,01	– 1,18
		24	0,02	– 0,04	– 0,12	– 0,18	– 0,27	– 0,33	– 0,38	– 0,52
		26	0,60	0,53	0,46	0,42	0,35	0,30	0,26	0,15
		28	1,17	1,11	1,06	1,02	0,97	0,94	0,91	0,82
		30	1,76	1,70	1,67	1,64	1,61	1,58	1,57	1,51
		32	2,34	2,30	2,28	2,27	2,26	2,24	2,23	2,20
2,00	0,310	14	– 1,84	– 1,87	– 1,98	– 2,06	– 2,18	– 2,26	– 2,32	– 2,49
		16	– 1,39	– 1,43	– 1,52	– 1,59	– 1,69	– 1,77	– 1,82	– 1,98
		18	– 0,93	– 0,97	– 1,06	– 1,12	– 1,21	– 1,27	– 1,32	– 1,46
		20	– 0,46	– 0,52	– 0,59	– 0,64	– 0,72	– 0,77	– 0,82	– 0,94
		22	0,01	– 0,05	– 0,11	– 0,15	– 0,22	– 0,27	– 0,30	– 0,41
		24	0,48	0,43	0,38	0,34	0,28	0,24	0,22	0,13
		26	0,97	0,91	0,87	0,84	0,80	0,76	0,74	0,67
		28	1,45	1,40	1,37	1,35	1,32	1,29	1,27	1,23

Tabelle E.2 — Grad der körperlichen Tätigkeit: 58 W/m² (1 met)

Kleidung		Operative Temperatur °C	Relative Luftgeschwindigkeit							
clo	m ² · K/W		m/s							
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	26	– 1,62	– 1,62	– 1,96	– 2,34				
		27	– 1,00	– 1,00	– 1,36	– 1,69				
		28	– 0,39	– 0,42	– 0,76	– 1,05				
		29	0,21	0,13	– 0,15	– 0,39				
		30	0,80	0,68	0,45	0,26				
		31	1,39	1,25	1,08	0,94				
		32	1,96	1,83	1,71	1,61				
		33	2,50	2,41	2,34	2,29				
0,25	0,039	24	– 1,52	– 1,52	– 1,80	– 2,06	– 2,47			
		25	– 1,05	– 1,05	– 1,33	– 1,57	– 1,94	– 2,24	– 2,48	
		26	– 0,58	– 0,61	– 0,87	– 1,08	– 1,41	– 1,67	– 1,89	– 2,66
		27	– 0,12	– 0,17	– 0,40	– 0,58	– 0,87	– 1,10	– 1,29	– 1,97
		28	0,34	0,27	0,07	– 0,09	– 0,34	– 0,53	– 0,70	– 1,28
		29	0,80	0,71	0,54	0,41	0,20	0,04	– 0,10	– 0,58
		30	1,25	1,15	1,02	0,91	0,74	0,61	0,50	0,11
		31	1,71	1,61	1,51	1,43	1,30	1,20	1,12	0,83
0,50	0,078	23	– 1,10	– 1,10	– 1,33	– 1,51	– 1,78	– 1,99	– 2,16	
		24	– 0,72	– 0,74	– 0,95	– 1,11	– 1,36	– 1,55	– 1,70	– 2,22
		25	– 0,34	– 0,38	– 0,56	– 0,71	– 0,94	– 1,11	– 1,25	– 1,71
		26	0,04	– 0,01	– 0,18	– 0,31	– 0,51	– 0,66	– 0,79	– 1,19
		27	0,42	0,35	0,20	0,09	– 0,08	– 0,22	– 0,33	– 0,68
		28	0,80	0,72	0,59	0,49	0,34	0,23	0,14	– 0,17
		29	1,17	1,08	0,98	0,90	0,77	0,68	0,60	0,34
		30	1,54	1,45	1,37	1,30	1,20	1,13	1,06	0,86
0,75	0,116	21	– 1,11	– 1,11	– 1,30	– 1,44	– 1,66	– 1,82	– 1,95	– 2,36
		22	– 0,79	– 0,81	– 0,98	– 1,11	– 1,31	– 1,46	– 1,58	– 1,95
		23	– 0,47	– 0,50	– 0,66	– 0,78	– 0,96	– 1,09	– 1,20	– 1,55
		24	– 0,15	– 0,19	– 0,33	– 0,44	– 0,61	– 0,73	– 0,83	– 1,14
		25	0,17	0,12	– 0,01	– 0,11	– 0,26	– 0,37	– 0,46	– 0,74
		26	0,49	0,43	0,31	0,23	0,09	0,00	– 0,08	– 0,33
		27	0,81	0,74	0,64	0,56	0,45	0,36	0,29	0,08
		28	1,12	1,05	0,96	0,90	0,80	0,73	0,67	0,48

Tabelle E.2 (fortgesetzt)

Kleidung		Operative Temperatur	Relative Luftgeschwindigkeit							
			m/s							
clo	m ² · K/W	°C	< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,00	0,155	20	– 0,85	– 0,87	– 1,02	– 1,13	– 1,29	– 1,41	– 1,51	– 1,81
		21	– 0,57	– 0,60	– 0,74	– 0,84	– 0,99	– 1,11	– 1,19	– 1,47
		22	– 0,30	– 0,33	– 0,46	– 0,55	– 0,69	– 0,80	– 0,88	– 1,13
		23	0,02	– 0,07	– 0,18	0,27	– 0,39	– 0,49	– 0,56	– 0,79
		24	0,26	0,20	0,10	0,02	– 0,09	– 0,18	– 0,25	– 0,46
		25	– 0,53	0,48	0,38	0,31	0,21	0,13	0,07	– 0,12
		26	0,81	0,75	0,66	0,60	0,51	0,44	0,39	0,22
		27	1,08	1,02	0,95	0,89	0,81	0,75	0,71	0,56
1,50	0,233	14	– 1,36	– 1,36	– 1,49	– 1,58	– 1,72	– 1,82	– 1,89	– 2,12
		16	– 0,94	– 0,95	– 1,07	– 1,15	– 1,27	– 1,36	– 1,43	– 1,63
		18	– 0,52	– 0,54	– 0,64	– 0,72	– 0,82	– 0,90	– 0,96	– 1,14
		20	– 0,09	– 0,13	– 0,22	– 0,28	– 0,37	– 0,44	– 0,49	– 0,65
		22	0,35	0,30	0,23	0,18	0,10	0,04	0,00	– 0,14
		24	0,79	0,74	0,68	0,63	0,57	0,52	0,49	0,37
		26	1,23	1,18	1,13	1,09	1,04	1,01	0,98	0,89
		28	1,67	1,62	1,58	1,56	1,52	1,49	1,47	1,40
2,00	0,310	10	– 1,38	– 1,39	– 1,49	– 1,56	– 1,67	– 1,74	– 1,80	– 1,96
		12	– 1,03	– 1,05	– 1,14	– 1,21	– 1,30	– 1,37	– 1,42	– 1,57
		14	– 0,68	– 0,70	– 0,79	– 0,85	– 0,93	– 0,99	– 1,04	– 1,17
		16	– 0,32	– 0,35	– 0,43	– 0,48	– 0,56	– 0,61	– 0,65	– 0,77
		18	0,03	– 0,00	– 0,07	– 0,11	– 0,18	– 0,23	– 0,26	– 0,37
		20	0,40	0,36	0,30	0,26	0,20	0,16	0,13	0,04
		22	0,76	0,72	0,67	0,64	0,59	0,55	0,53	0,45
		24	1,13	1,09	1,05	1,02	0,98	0,95	0,93	0,87

Tabelle E.3 — Grad der körperlichen Tätigkeit: 69,6 W/m² (1,2 met)

Kleidung		Operative Temperatur °C	Relative Luftgeschwindigkeit							
clo	m ² · K/W		m/s							
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	25	– 1,33	– 1,33	– 1,59	– 1,92				
		26	– 0,83	– 0,83	– 1,11	– 1,40				
		27	– 0,33	– 0,33	– 0,63	– 0,88				
		28	0,15	0,12	– 0,14	– 0,36				
		29	0,63	0,56	0,35	0,17				
		30	1,10	1,01	0,84	0,69				
		31	1,57	1,47	1,34	1,24				
		32	2,03	1,93	1,85	1,78				
0,25	0,039	23	– 1,18	– 1,18	– 1,39	– 1,61	– 1,97	– 2,25		
		24	– 0,79	– 0,79	– 1,02	– 1,22	– 1,54	– 1,80	– 2,01	
		25	– 0,42	– 0,42	– 0,64	– 0,83	– 1,11	– 1,34	– 1,54	– 2,21
		26	– 0,04	– 0,07	– 0,27	– 0,43	– 0,68	– 0,89	– 1,06	– 1,65
		27	0,33	0,29	0,11	– 0,03	– 0,25	– 0,43	– 0,58	– 1,09
		28	0,71	0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	– 0,10	– 0,54
		29	1,07	0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,03
		30	1,43	1,35	1,25	1,17	1,05	0,95	0,87	0,58
0,50	0,078	18	– 2,01	– 2,01	– 2,17	– 2,38	– 2,70			
		20	– 1,41	– 1,41	– 1,58	– 1,76	– 2,04	– 2,25	– 2,42	
		22	– 0,79	– 0,79	– 0,97	– 1,13	– 1,36	– 1,54	– 1,69	– 2,17
		24	– 0,17	– 0,20	– 0,36	– 0,48	– 0,68	– 0,83	– 0,95	– 1,35
		26	0,44	0,39	0,26	0,16	– 0,01	– 0,11	– 0,21	– 0,52
		28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	– 0,31
		30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14
		32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99
0,75	0,116	16	– 1,77	– 1,77	– 1,91	– 2,07	– 2,31	– 2,49		
		18	– 1,27	– 1,27	– 1,42	– 1,56	1,77	– 1,93	– 2,05	– 2,45
		20	– 0,77	– 0,77	– 0,92	– 1,04	– 1,23	– 1,36	– 1,47	– 1,82
		22	– 0,25	– 0,27	– 0,40	– 0,51	– 0,66	– 0,78	– 0,87	– 1,17
		24	0,27	0,23	0,12	0,03	– 0,10	– 0,19	– 0,27	– 0,51
		26	– 0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	0,14
		28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,80
		30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46

Tabelle E.3 (fortgesetzt)

Kleidung		Operative Temperatur	Relative Luftgeschwindigkeit							
			m/s							
clo	m ² · K/W	°C	< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,00	0,155	16	– 1,18	– 1,18	– 1,31	– 1,43	– 1,59	– 1,72	– 1,82	– 2,12
		18	– 0,75	– 0,75	– 0,88	– 0,98	– 1,13	– 1,24	– 1,33	– 1,59
		20	– 0,32	– 0,33	– 0,45	– 0,54	– 0,67	– 0,76	– 0,83	– 1,07
		22	0,13	0,10	0,00	– 0,07	– 0,18	– 0,26	– 0,32	– 0,52
		24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02
		26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,58
		28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12
		30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67
1,50	0,233	12	– 1,09	– 1,09	– 1,19	– 1,27	– 1,39	– 1,48	– 1,55	– 1,75
		14	– 0,75	– 0,75	– 0,85	– 0,93	– 1,03	– 1,11	– 1,17	– 1,35
		16	– 0,41	– 0,42	– 0,51	– 0,58	– 0,67	– 0,74	– 0,79	– 0,96
		18	– 0,06	– 0,09	– 0,17	– 0,22	– 0,31	– 0,37	– 0,42	– 0,56
		20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	– 0,04	– 0,16
		22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25
		24	0,99	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67
		26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08
2,00	0,310	10	– 0,77	– 0,78	– 0,86	– 0,96	– 1,01	– 1,06	– 1,11	– 1,24
		12	– 0,49	– 0,51	– 0,58	– 0,63	– 0,71	– 0,76	– 0,80	– 0,92
		14	– 0,21	– 0,23	– 0,29	– 0,34	– 0,41	– 0,46	– 0,49	– 0,60
		16	0,08	0,06	– 0,00	– 0,04	– 0,10	– 0,15	– 0,18	– 0,27
		18	0,37	0,34	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,05
		20	0,67	0,63	0,59	0,56	0,52	0,48	0,46	0,39
		22	0,97	0,93	0,89	0,87	0,83	0,80	0,78	0,72
		24	1,27	1,23	1,20	1,18	1,15	1,13	1,11	1,06

Tabelle E.4 — Grad der körperlichen Tätigkeit: 81,2 W/m² (1,4 met)

Kleidung		Operative Temperatur °C	Relative Luftgeschwindigkeit							
clo	m ² · K/W		m/s							
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	24	– 1,14	– 1,14	– 1,35	– 1,65				
		25	– 0,72	– 0,72	– 0,95	– 1,21				
		26	– 0,30	– 0,30	– 0,54	– 0,78				
		27	0,11	0,11	– 0,14	– 0,34				
		28	0,52	0,48	0,27	0,10				
		29	0,92	0,85	0,69	0,54				
		30	1,31	1,23	1,10	0,99				
		31	1,71	1,62	1,52	1,45				
0,25	0,039	22	– 0,95	– 0,95	– 1,12	– 1,33	– 1,64	– 1,90	– 2,11	
		23	– 0,63	– 0,63	– 0,81	– 0,99	– 1,28	– 1,51	– 1,71	– 2,38
		24	– 0,31	– 0,31	– 0,50	– 0,66	– 0,92	– 1,13	– 1,31	– 1,91
		25	0,01	0,00	– 0,18	– 0,33	– 0,56	– 0,75	– 0,90	– 1,45
		26	0,33	0,30	0,14	0,01	– 0,20	– 0,36	– 0,50	– 0,98
		27	0,64	0,59	0,45	0,34	0,16	0,02	– 0,10	– 0,51
		28	0,95	0,89	0,77	0,68	0,53	0,41	0,31	– 0,04
		29	1,26	1,19	1,09	1,02	0,89	0,80	0,72	0,43
0,50	0,078	18	– 1,36	– 1,36	– 1,49	– 1,66	– 1,93	– 2,12	– 2,29	
		20	– 0,85	– 0,85	– 1,00	– 1,14	– 1,37	– 1,54	– 1,68	– 2,15
		22	– 0,33	– 0,33	– 0,48	– 0,61	– 0,80	– 0,95	– 1,06	– 1,46
		24	0,19	0,17	0,04	– 0,07	– 0,22	– 0,34	– 0,44	– 0,76
		26	0,71	0,66	0,56	0,48	0,35	0,26	0,18	– 0,07
		28	1,22	1,16	1,09	1,03	0,94	0,87	0,81	0,63
		30	1,72	1,66	1,62	1,58	1,52	1,48	1,44	1,33
		32	2,23	2,19	2,17	1,16	2,13	2,11	2,10	2,05
0,75	0,116	16	– 1,17	– 1,17	1,29	– 1,42	1,62	– 1,77	– 1,88	– 2,26
		18	– 0,75	– 0,75	– 0,87	– 0,99	– 1,16	– 1,29	– 1,39	– 1,72
		20	– 0,33	– 0,33	– 0,45	– 0,55	– 0,70	– 0,82	– 0,91	– 1,19
		22	0,11	0,09	– 0,02	– 0,10	– 0,23	– 0,32	– 0,40	– 0,64
		24	0,55	0,51	0,42	0,35	0,25	0,17	0,11	– 0,09
		26	0,98	0,94	0,87	0,81	0,73	0,67	0,62	0,47
		28	1,41	1,36	1,31	1,27	1,21	1,17	1,13	1,02
		30	1,84	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,65	1,58

Tabelle E.4 (fortgesetzt)

Kleidung		Operative Temperatur	Relative Luftgeschwindigkeit							
			m/s							
clo	m ² · K/W	°C	< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,00	0,155	14	– 1,05	– 1,05	– 1,16	– 1,26	– 1,42	– 1,53	– 1,62	– 1,91
		16	– 0,69	– 0,69	– 0,80	– 0,89	– 1,03	– 1,13	– 1,21	– 1,46
		18	– 0,32	– 0,32	– 0,43	– 0,52	– 0,64	– 0,73	– 0,80	– 1,02
		20	0,04	0,03	– 0,07	– 0,14	– 0,25	– 0,32	– 0,38	– 0,58
		22	0,42	0,39	0,31	0,25	0,16	0,10	0,05	– 0,12
		24	0,80	0,76	0,70	0,65	0,57	0,52	0,48	0,35
		26	1,18	1,13	1,08	1,04	0,99	0,95	0,91	0,81
		28	1,55	1,51	1,47	1,44	1,40	1,37	1,35	1,27
1,50	0,233	10	– 0,91	– 0,91	– 1,00	– 1,08	– 1,18	– 1,26	– 1,32	– 1,51
		12	– 0,63	– 0,63	– 0,71	– 0,78	– 0,88	– 0,95	– 1,01	– 1,17
		14	– 0,34	– 0,34	– 0,43	– 0,49	– 0,58	– 0,64	– 0,69	– 0,84
		16	– 0,05	– 0,06	– 0,14	– 0,19	– 0,27	– 0,33	– 0,37	– 0,50
		18	0,24	0,22	0,15	0,11	0,04	– 0,01	– 0,05	– 0,17
		20	0,53	0,50	0,45	0,40	0,34	0,30	0,27	0,17
		22	0,83	0,80	0,75	0,72	0,67	0,63	0,60	0,52
		24	1,13	1,10	1,06	1,03	0,99	0,96	0,94	0,87
2,00	0,310	10	– 0,37	– 0,38	– 0,44	– 0,49	– 0,56	– 0,61	– 0,65	– 0,76
		12	– 0,13	– 0,14	– 0,20	– 0,25	– 0,31	– 0,35	– 0,39	– 0,49
		14	0,11	0,09	0,04	0,00	– 0,05	– 0,09	– 0,12	– 0,21
		16	0,36	0,34	0,29	0,25	0,20	0,17	0,14	0,06
		18	0,60	0,58	0,54	0,51	0,46	0,43	0,41	0,34
		20	0,85	0,83	0,79	0,77	0,73	0,70	0,68	0,62
		22	1,11	1,08	1,05	1,03	0,99	0,97	0,95	0,91
		24	1,36	1,34	1,31	1,29	1,27	1,25	1,23	1,19

Tabelle E.5 — Grad der körperlichen Tätigkeit: 92,8 W/m² (1,6 met)

Kleidung		Operative Temperatur °C	Relative Luftgeschwindigkeit							
clo	m ² · K/W		m/s							
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	23	– 1,12	– 1,12	– 1,29	– 1,57				
		24	– 0,74	– 0,74	– 0,93	– 1,18				
		25	– 0,36	– 0,36	– 0,57	– 0,79				
		26	0,01	0,01	– 0,20	– 0,40				
		27	0,38	0,37	0,17	0,00				
		28	0,75	0,70	0,53	0,39				
		29	1,11	1,04	0,90	0,79				
		30	1,46	1,38	1,27	1,19				
0,25	0,039	16	– 2,29	– 2,29	– 2,36	– 2,62				
		18	– 1,72	– 1,72	– 1,83	– 2,06	– 2,42			
		20	– 1,15	– 1,15	– 1,29	– 1,49	– 1,80	– 2,05	– 2,26	
		22	– 0,58	– 0,58	– 0,73	– 0,90	– 1,17	– 1,38	– 1,55	– 2,17
		24	– 0,01	– 0,01	– 0,17	– 0,31	– 0,53	– 0,70	– 0,84	– 1,35
		26	0,56	0,53	0,39	0,29	0,12	– 0,02	– 0,13	– 0,51
		28	1,12	1,06	0,96	0,89	0,77	0,67	0,59	0,33
		30	1,66	1,60	1,54	1,49	1,42	1,36	1,31	1,14
0,50	0,078	14	– 1,85	– 1,85	– 1,94	– 2,12	– 2,40			
		16	– 1,40	– 1,40	– 1,50	– 1,67	– 1,92	– 2,11	– 2,26	
		18	– 0,95	– 0,95	– 1,07	– 1,21	– 1,43	– 1,59	– 1,73	– 2,18
		20	– 0,49	– 0,49	– 0,62	– 0,75	– 0,94	– 1,08	– 1,20	– 1,59
		22	– 0,03	– 0,03	– 0,16	– 0,27	– 0,43	– 0,55	– 0,65	– 0,98
		24	0,43	0,41	0,30	0,21	0,08	– 0,02	– 0,10	– 0,37
		26	– 0,89	0,85	0,76	0,70	0,60	0,52	0,46	0,25
		28	1,34	1,29	1,23	1,18	1,11	1,06	1,01	0,86
0,75	0,116	14	– 1,16	– 1,16	– 1,26	– 1,38	– 1,57	– 1,71	– 1,82	– 2,17
		16	– 0,79	– 0,79	– 0,89	– 1,00	– 1,17	– 1,29	– 1,39	– 1,70
		18	– 0,41	– 0,41	– 0,52	– 0,62	– 0,76	– 0,87	– 0,96	– 1,23
		20	– 0,04	– 0,04	– 0,15	– 0,23	– 0,36	– 0,45	– 0,52	– 0,76
		22	0,35	0,33	0,24	0,17	0,07	– 0,01	– 0,07	– 0,27
		24	0,74	0,71	0,63	0,58	0,49	0,43	0,38	0,21
		26	1,12	1,08	1,03	0,98	0,92	0,87	0,83	0,70
		28	1,51	1,46	1,42	1,39	1,34	1,31	1,28	1,19

Tabelle E.5 (fortgesetzt)

Kleidung		Operative Temperatur	Relative Luftgeschwindigkeit							
			m/s							
clo	m ² · K/W	°C	< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,00	0,155	12	– 1,01	– 1,01	– 1,10	– 1,19	– 1,34	– 1,45	– 1,53	– 1,79
		14	– 0,68	– 0,68	– 0,78	– 0,87	– 1,00	– 1,09	– 1,17	– 1,40
		16	– 0,36	– 0,36	– 0,46	– 0,53	– 0,65	– 0,74	– 0,80	– 1,01
		18	– 0,04	– 0,04	– 0,13	– 0,20	– 0,30	– 0,38	– 0,44	– 0,62
		20	0,28	0,27	0,19	0,13	0,04	– 0,02	– 0,07	– 0,21
		22	0,62	0,59	0,53	0,48	0,41	0,35	0,31	0,17
		24	0,96	0,92	0,87	0,83	0,77	0,73	0,69	0,58
		26	1,29	1,25	1,21	1,18	1,14	1,10	1,07	0,99
1,50	0,233	10	– 0,57	– 0,57	– 0,65	– 0,71	– 0,80	– 0,86	– 0,92	– 1,07
		12	– 0,32	– 0,32	– 0,39	– 0,45	– 0,53	– 0,59	– 0,64	– 0,78
		14	– 0,06	– 0,07	– 0,14	– 0,19	– 0,26	– 0,31	– 0,36	– 0,48
		16	0,19	0,18	0,12	0,07	0,01	– 0,04	– 0,07	– 0,19
		18	0,45	0,43	0,38	0,34	0,28	0,24	0,21	0,11
		20	0,71	0,68	0,64	0,60	0,55	0,52	0,49	0,41
		22	0,97	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81	0,79	0,72
2,00	0,310	10	– 0,08	– 0,08	– 0,14	– 0,18	– 0,24	– 0,29	– 0,32	– 0,41
		12	0,14	0,12	0,07	0,03	– 0,02	– 0,06	– 0,09	– 0,17
		14	0,35	0,33	0,29	0,25	0,20	0,17	0,14	0,07
		16	0,57	0,54	0,50	0,47	0,43	0,40	0,38	0,31
		18	0,78	0,76	0,73	0,70	0,66	0,63	0,61	0,56
		20	1,00	0,98	0,95	0,93	0,89	0,87	0,85	0,80
		22	1,23	1,20	1,18	1,16	1,13	1,11	1,10	1,06

Tabelle E.6 — Grad der körperlichen Tätigkeit: 104,4 W/m² (1,8 met)

Kleidung		Operative Temperatur °C	Relative Luftgeschwindigkeit							
clo	m ² · K/W		m/s							
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	22	– 1,05	– 1,05	– 1,19	– 1,46				
		23	– 0,70	– 0,70	– 0,86	– 1,11				
		24	– 0,36	– 0,36	– 0,53	– 0,75				
		25	– 0,01	– 0,01	– 0,20	– 0,40				
		26	0,32	0,32	0,13	– 0,04				
		27	0,66	0,63	0,46	0,32				
		28	0,99	0,94	0,80	0,68				
		29	1,31	1,25	1,13	1,04				
0,25	0,039	16	– 1,79	– 1,79	– 1,86	– 2,09	– 2,46			
		18	– 1,28	– 1,28	– 1,38	– 1,58	– 1,90	– 2,16	– 2,37	
		20	– 0,76	– 0,76	– 0,89	– 1,06	– 1,34	– 1,56	– 1,75	– 2,39
		22	– 0,24	– 0,24	– 0,38	– 0,53	– 0,76	– 0,95	– 1,10	– 1,65
		24	0,28	0,28	0,13	0,01	– 0,18	– 0,33	– 0,46	– 0,90
		26	0,79	0,76	0,64	0,55	0,40	0,29	0,19	– 0,15
		28	1,29	1,24	1,16	1,10	0,99	0,91	0,84	0,60
		30	1,79	1,73	1,68	1,65	1,59	1,54	1,50	1,36
0,50	0,078	14	– 1,42	– 1,42	– 1,50	– 1,66	– 1,91	– 2,10	– 2,25	
		16	– 1,01	– 1,01	– 1,10	– 1,25	– 1,47	– 1,64	– 1,77	– 2,23
		18	– 0,59	– 0,59	– 0,70	– 0,83	– 1,02	– 1,17	– 1,29	– 1,69
		20	– 0,18	– 0,18	– 0,30	– 0,41	– 0,58	– 0,71	– 0,81	– 1,15
		22	0,24	0,23	0,12	0,02	– 0,12	– 0,22	– 0,31	– 0,60
		24	0,66	0,63	0,54	0,46	0,35	0,26	0,19	– 0,04
		26	1,07	1,03	0,96	0,90	0,82	0,75	0,69	0,51
		28	1,48	1,44	1,39	1,35	1,29	1,24	1,20	1,07
0,75	0,116	12	– 1,15	– 1,15	– 1,23	– 1,35	– 1,53	1,67	– 1,78	– 2,13
		14	– 0,81	– 0,81	– 0,89	– 1,00	– 1,17	– 1,29	– 1,39	– 1,70
		16	– 0,46	– 0,46	– 0,56	– 0,66	– 0,80	– 0,91	– 1,00	– 1,28
		18	– 0,12	– 0,12	– 0,22	– 0,31	– 0,43	– 0,53	– 0,61	– 0,85
		20	0,22	0,21	0,12	0,04	– 0,07	– 0,15	– 0,21	– 0,42
		22	0,57	0,55	0,47	0,41	0,32	0,25	0,20	0,02
		24	0,92	0,89	0,83	0,78	0,71	0,65	0,60	0,46
		26	1,28	1,24	1,19	1,15	1,09	1,05	1,02	0,91

Tabelle E. 6 (fortgesetzt)

Kleidung		Operative Temperatur °C	Relative Luftgeschwindigkeit							
clo	m ² · K/W		m/s							
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,00	0,155	10	– 0,97	– 0,97	– 1,04	– 1,14	– 1,28	– 1,39	– 1,47	– 1,73
		12	– 0,68	– 0,68	– 0,76	– 0,84	– 0,97	– 1,07	– 1,14	– 1,38
		14	0,38	– 0,38	– 0,46	– 0,54	– 0,66	– 0,74	– 0,81	– 1,02
		16	– 0,09	– 0,09	– 0,17	– 0,24	– 0,35	– 0,42	– 0,48	– 0,67
		18	0,21	0,20	0,12	0,06	– 0,03	– 0,10	– 0,15	– 0,31
		20	0,50	0,48	0,42	0,36	0,29	0,23	0,18	0,04
		22	0,81	0,78	0,73	0,68	0,62	0,57	0,53	0,41
		24	1,11	1,08	1,04	1,00	0,95	0,91	0,88	0,78
1,50	0,233	10	– 0,29	– 0,29	– 0,36	– 0,42	– 0,50	– 0,56	– 0,60	– 0,74
		14	0,17	0,17	0,11	0,06	– 0,01	– 0,05	– 0,09	– 0,20
		18	0,64	0,62	0,57	0,54	0,49	0,45	0,42	0,34
		22	1,12	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,95	0,89
		26	1,61	1,58	1,56	1,55	1,52	1,51	1,50	1,46
2,00	0,310	10	0,15	0,15	0,09	0,06	0,00	– 0,03	– 0,06	– 0,15
		14	0,54	0,53	0,49	0,46	0,41	0,38	0,36	0,29
		18	0,94	0,92	0,89	0,86	0,83	0,81	0,79	0,74
		22	1,35	1,32	1,30	1,28	1,26	1,24	1,23	1,19
		26	1,76	1,74	1,73	1,72	1,70	1,70	1,69	1,66

Tabelle E.7 — Grad der körperlichen Tätigkeit: 116 W/m² (2,0 met)

Kleidung		Operative Temperatur °C	Relative Luftgeschwindigkeit							
clo	m ² · K/W		m/s							
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	18		– 2,00	– 2,02	– 2,35				
		20		– 1,35	– 1,43	– 1,72				
		22		– 0,69	– 0,82	– 1,06				
		24		– 0,04	– 0,21	– 0,41				
		26		0,59	0,41	0,26				
		28		1,16	1,03	0,93				
		30		1,73	1,66	1,60				
		32		2,33	2,32	2,31				
0,25	0,039	16		– 1,41	– 1,48	– 1,69	– 2,02	– 2,29	– 2,51	
		18		– 0,93	– 1,03	– 1,21	– 1,50	– 1,74	– 1,93	– 2,61
		20		– 0,45	– 0,57	– 0,73	– 0,98	– 1,18	– 1,35	– 1,93
		22		0,04	– 0,09	– 0,23	– 0,44	– 0,61	– 0,75	– 1,24
		24		0,52	0,38	0,28	0,10	– 0,03	– 0,14	– 0,54
		26		0,97	0,86	0,78	0,65	0,55	0,46	0,18
		28		1,42	1,35	1,29	1,20	1,13	1,07	0,90
		30		1,88	1,84	1,81	1,76	1,72	1,68	1,57
0,50	0,078	14		– 1,08	– 1,16	– 1,31	– 1,53	– 1,71	– 1,85	– 2,32
		16		– 0,69	– 0,79	– 0,92	– 1,12	– 1,27	– 1,40	– 1,82
		18		– 0,31	– 0,41	– 0,53	– 0,70	– 0,84	– 0,95	– 1,31
		20		0,07	– 0,04	– 0,14	– 0,29	– 0,40	– 0,50	– 0,81
		22		0,46	0,35	0,27	0,15	0,05	– 0,03	– 0,29
		24		0,83	0,75	0,68	0,58	0,50	0,44	0,23
		26		1,21	1,15	1,10	1,02	0,96	0,91	0,75
		28		1,59	1,55	1,51	1,46	1,42	1,38	1,27
0,75	0,116	10		– 1,16	– 1,23	– 1,35	– 1,54	– 1,67	– 1,78	– 2,14
		12		– 0,84	– 0,92	– 1,03	– 1,20	– 1,32	– 1,42	– 1,74
		14		– 0,52	– 0,60	– 0,70	– 0,85	– 0,97	– 1,06	– 1,34
		16		– 0,20	– 0,29	– 0,38	– 0,51	– 0,61	– 0,69	– 0,95
		18		0,12	0,03	– 0,05	– 0,17	– 0,26	– 0,32	– 0,55
		20		0,43	0,34	0,28	0,18	0,10	0,04	– 0,15
		22		0,75	0,68	0,62	0,54	0,48	0,43	0,27
		24		1,07	1,01	0,97	0,90	0,85	0,81	0,68

Tabelle E.7 (fortgesetzt)

Kleidung		Operative Temperatur	Relative Luftgeschwindigkeit							
			m/s							
clo	m ² · K/W	°C	< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,00	0,155	10		– 0,68	– 0,75	– 0,84	– 0,97	– 1,07	– 1,15	– 1,38
		12		– 0,41	– 0,48	– 0,56	– 0,68	– 0,77	– 0,84	– 1,05
		14		– 0,13	– 0,21	– 0,28	– 0,39	– 0,47	– 0,53	– 0,72
		16		0,14	0,06	0,00	– 0,10	– 0,16	– 0,22	– 0,39
		18		0,41	0,34	0,28	0,20	0,14	0,09	– 0,04
		20		0,68	0,61	0,57	0,50	0,44	0,40	0,28
		22		0,96	0,91	0,87	0,81	0,76	0,73	0,62
1,50	0,233	10		– 0,04	– 0,11	– 0,16	– 0,24	– 0,29	– 0,33	– 0,46
		14		0,39	0,33	0,29	0,23	0,18	0,15	0,04
		18		0,82	0,78	0,75	0,70	0,66	0,64	0,56
		22		1,27	1,24	1,22	1,18	1,16	1,14	1,08
2,00	0,310	10		0,34	0,30	0,26	0,21	0,18	0,15	0,07
		14		0,70	0,66	0,64	0,60	0,57	0,55	0,49
		18		1,07	1,04	1,02	0,99	0,97	0,95	0,90
		22		1,45	1,42	1,42	1,39	1,38	1,37	1,33

Tabelle E.8 — Grad der körperlichen Tätigkeit: 174 W/m² (3,0 met)

Kleidung		Operative Temperatur °C	Relative Luftgeschwindigkeit							
clo	m ² · K/W		m/s							
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	14				– 1,92	– 2,49			
		16				– 1,36	– 1,87			
		18				– 0,80	– 1,24			
		20				– 0,24	– 0,61			
		22				0,34	0,04			
		24				0,93	0,70			
		26				1,52	1,36			
		28				2,12	2,02			
0,25	0,039	12				– 1,19	– 1,53	– 1,80	– 2,02	
		14				– 0,77	– 1,07	– 1,31	– 1,51	– 2,21
		16				– 0,35	– 0,61	– 0,82	– 1,00	– 1,61
		18				0,08	– 0,15	– 0,33	– 0,48	– 1,01
		20				0,51	0,32	0,17	0,04	– 0,41
		22				0,96	0,80	0,68	0,57	0,24
		24				1,41	1,29	1,19	1,11	0,87
		26				1,87	1,78	1,71	1,65	1,45
0,50	0,078	10				– 0,78	– 1,00	– 1,18	– 1,32	– 1,79
		12				– 0,43	– 0,64	– 0,79	– 0,92	– 1,34
		14				– 0,09	– 0,27	– 0,41	– 0,52	– 0,90
		16				0,26	0,10	– 0,02	– 0,12	– 0,45
		18				0,61	0,47	0,37	0,28	0,00
		20				0,96	0,85	0,76	0,68	0,45
		22				1,33	1,24	1,16	1,10	0,91
		24				1,70	1,63	1,57	1,53	1,38
0,75	0,116	10				– 0,19	– 0,34	– 0,45	– 0,54	– 0,83
		12				0,10	– 0,03	– 0,14	– 0,22	– 0,48
		14				0,39	0,27	0,18	0,11	– 0,12
		16				0,69	0,58	0,50	0,44	0,24
		18				0,98	0,89	0,82	0,77	0,59
		20				1,28	1,20	1,14	1,10	0,95

Tabelle E.8 (fortgesetzt)

Kleidung		Operative Temperatur	Relative Luftgeschwindigkeit							
			m/s							
clo	m ² · K/W	°C	< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
1,00	0,155	10				0,22	0,12	0,04	– 0,02	– 0,22
		14				0,73	0,64	0,58	0,53	0,38
		18				1,24	1,18	1,13	1,09	0,97
		22				1,77	1,73	1,69	1,67	1,59
1,50	0,233	10				0,76	0,70	0,66	0,62	0,52
		14				1,17	1,12	1,09	1,06	0,98
		18				1,58	1,54	1,52	1,50	1,44
2,00	0,310	10				1,14	1,10	1,07	1,05	0,99
		14				1,48	1,45	1,43	1,41	1,36
		18				1,84	1,81	1,80	1,79	1,75

Tabelle E.9 — Grad der körperlichen Tätigkeit: 232 W/m² (4,0 met)

Kleidung		Operative Temperatur °C	Relative Luftgeschwindigkeit							
clo	m ² · K/W		m/s							
			< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
0	0	12						– 2,22	– 2,66	
		14						– 1,55	– 1,93	
		16						– 0,86	– 1,20	– 2,51
		18						– 0,18	– 0,46	– 1,57
		20						0,52	0,29	– 0,63
		22						1,22	1,04	0,33
		24						1,94	1,81	1,29
		26						2,66	2,58	2,26
0,25	0,039	10						– 1,06	– 1,29	– 2,09
		12						– 0,57	– 0,78	– 1,50
		14						– 0,08	– 0,27	– 0,90
		16						0,41	0,25	– 0,29
		18						0,91	0,78	0,31
		20						1,42	1,31	0,93
		22						1,93	1,84	1,55
		24						2,45	2,39	2,17
0,50	0,078	10						– 0,06	– 0,19	– 0,62
		12						0,33	0,21	– 0,18
		14						0,72	0,61	0,27
		16						1,11	1,02	0,73
		18						1,51	1,43	1,18
		20						1,91	1,85	1,64
		22						2,32	2,27	2,11
0,75	0,116	10						0,60	0,52	0,25
		12						0,92	0,84	0,61
		14						1,24	1,18	0,97
		16						1,57	1,51	1,33
		18						1,90	1,85	1,70
		20						2,23	2,19	2,07
1,00	0,155	10						1,04	0,99	0,81
		14						1,60	1,55	1,41
		18						2,16	2,13	2,03
1,50	0,233	10						1,61	1,58	1,48
		14						2,05	2,02	1,95
2,00	0,310	10						1,95	1,94	1,88
		14						2,32	2,31	2,26

Anhang F (informativ)

Luftfeuchte

Die Luftfeuchte kann als relative oder absolute Luftfeuchte angegeben werden (siehe ISO 7726). Der Wärmeverlust durch Verdunstung bei einer Person wird durch die absolute Luftfeuchte beeinflusst, die als Wasserdampfdruck in der Luft angegeben wird. Dadurch wird die allgemeine körperliche thermische Behaglichkeit (Wärmebilanz) beeinflusst. Bei gemäßigten Temperaturen ($< 26\text{ °C}$) und bei mäßiger körperlicher Tätigkeit ($< 2\text{ met}$) ist dieser Einfluss jedoch sehr begrenzt. In einem gemäßigten Umgebungsklima hat die Luftfeuchte nur eine geringe Auswirkung auf das Wärmeempfinden. Üblicherweise wird eine um 10 % höhere relative Luftfeuchte als genauso warm empfunden wie eine um $0,3\text{ °C}$ höhere operative Temperatur. Bei höheren Temperaturen und Graden der körperlichen Tätigkeit ist der Einfluss größer. Unter Übergangsbedingungen kann die Luftfeuchte ebenfalls von großem Einfluss sein.

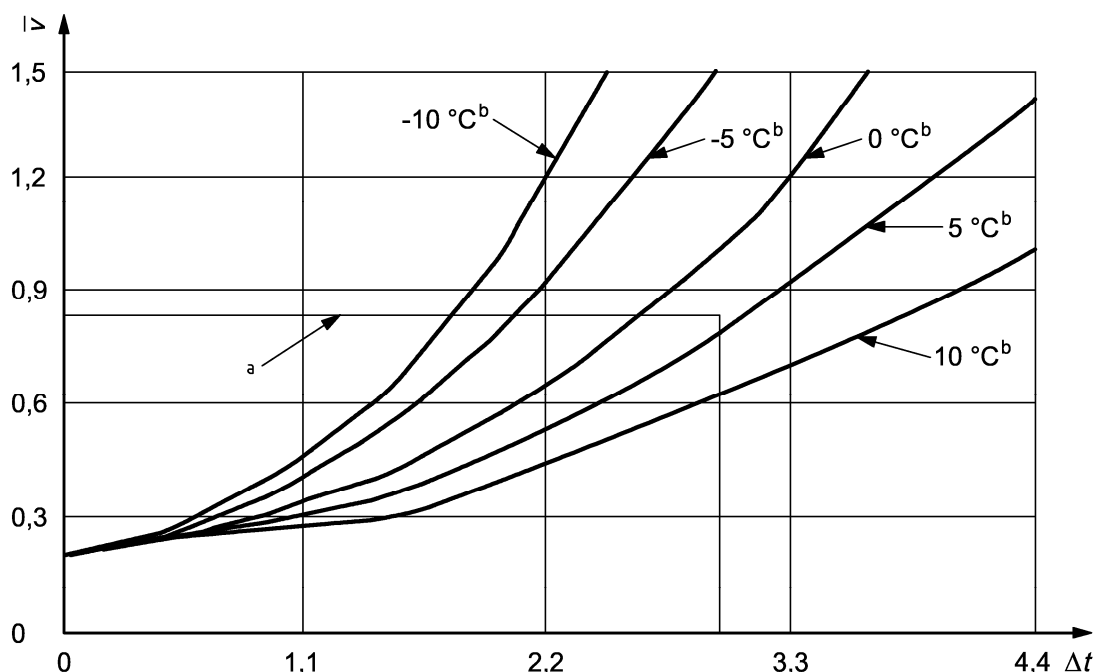
Falls den Grenzwerten der Luftfeuchte das Aufrechterhalten annehmbarer thermischer Bedingungen zugrunde liegt, welche lediglich auf Überlegungen hinsichtlich der Behaglichkeit, einschließlich Wärmeempfinden, Feuchtigkeit und Trockenheit der Haut sowie Reizung der Augen, basieren, ist ein weiterer Bereich für die Luftfeuchte annehmbar.

Anhang G (informativ)

Luftgeschwindigkeit

Die Luftgeschwindigkeit in einem Raum beeinflusst den konvektiven Wärmeaustausch zwischen einer Person und der Umgebung. Dadurch wird die allgemeine körperliche thermische Behaglichkeit (Wärmeverlust) beeinflusst, die durch PMV und PPD angegeben wird (siehe Abschnitte 4 und 5), sowie die lokale thermische Unbehaglichkeit auf Grund von Zugluft (Abschnitt 6). Es gibt keine Mindestluftgeschwindigkeit, die für die thermische Behaglichkeit erforderlich ist. Eine erhöhte Luftgeschwindigkeit kann jedoch genutzt werden, um das Wärmeempfinden durch eine erhöhten Temperatur auszugleichen.

Die Luftgeschwindigkeit wird oft durch Öffnen eines Fensters oder durch Verwendung von Lüftern erhöht, um eine Anpassung an wärmere Umgebungen zu erreichen. Im Sommer kann die Temperatur über den Grad hinaus erhöht werden, der für den Behaglichkeitsbereich zulässig ist, wenn zugleich die Möglichkeit besteht, die Luftgeschwindigkeit zu erhöhen. In Bild G.1 wird gezeigt, um wie viel die Temperatur steigen darf. Die Kombinationen von Luftgeschwindigkeit und Temperatur sind in diesem Bild als Linien dargestellt, die den gleichen gesamten Wärmeübergang von der Haut haben. Der Referenzpunkt dieser Kurven ist 26 °C und 0,20 m/s Luftgeschwindigkeit. Die Vorteile, die durch eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit erreicht werden, hängen von der Bekleidung, der körperlichen Tätigkeit und dem Unterschied zwischen der Oberflächentemperatur der Bekleidung/Haut und der Lufttemperatur ab. Bild G.1 zeigt die Luftgeschwindigkeit, die für eine übliche Sommerbekleidung (0,5 clo) und bei sitzenden Tätigkeiten (1,2 met) erforderlich ist, um der Behaglichkeit im Sommer zu entsprechen.



Für leichte, überwiegend sitzende Tätigkeit sollte $\Delta t < 3 \text{ °C}$ und $\bar{v} < 0,82 \text{ m/s}$ sein.

Legende

- Δt Temperaturanstieg über 26 °C ;
 \bar{v} mittlere Luftgeschwindigkeit, m/s;
 a Grenze für leichte, überwiegend sitzende Tätigkeit.
 b $(\bar{t}_r - t_a)$, $^{\circ}\text{C}$ (t_a , Lufttemperatur, $^{\circ}\text{C}$; \bar{t}_r , mittlere Strahlungstemperatur, $^{\circ}\text{C}$).

Bild G.1 — Erforderliche Luftgeschwindigkeit, um eine erhöhte Temperatur auszugleichen

Bild G.1 gilt für eine Erhöhung der Temperatur, die über 26 °C hinausgeht, wobei sich sowohl t_r als auch t_a gleichmäßig erhöhen. Wenn die mittlere Strahlungstemperatur niedrig und die Lufttemperatur hoch ist, ist eine erhöhte Luftgeschwindigkeit bei steigendem Wärmeverlust weniger wirksam. Demgegenüber ist eine erhöhte Luftgeschwindigkeit bei steigendem Wärmeverlust wirksamer, wenn die mittlere Strahlungstemperatur hoch und die Lufttemperatur niedrig ist. Deshalb muss die Kurve in Bild G.1, die dem relativen Unterschied zwischen der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur entspricht, verwendet werden. Im Hinblick auf die bevorzugte Luftgeschwindigkeit bestehen große individuelle Unterschiede zwischen den Personen. Deshalb muss die erhöhte Luftgeschwindigkeit unter direkter Kontrolle der betroffenen Personen und in Stufen von nicht mehr als $0,15 \text{ m/s}$ einstellbar sein.

Anhang H (informativ)

Langzeitbewertung der allgemeinen thermischen Behaglichkeit

Um die Komfortbedingungen über einen längeren Zeitraum (Jahreszeit, Jahr) zu ermitteln, müssen die Parameter auf der Basis der gemessenen Daten in realen Gebäuden oder einer dynamischen Computersimulation zusammengefasst werden. Dieser Anhang enthält fünf Verfahren, von denen jedes zu diesem Zweck angewendet werden kann.

a) Verfahren A

Die Anzahl bzw. der prozentuale Anteil der Stunden, von den Stunden, in denen das Gebäude benutzt wird, in denen das PMV oder die operative Temperatur außerhalb des festgelegten Bereiches liegt, ist zu berechnen.

b) Verfahren B

Die Zeit, während der die tatsächliche operative Temperatur den festgelegten Bereich während der benutzten Stunden überschreitet, wird mit einem Faktor gewichtet, der davon abhängig ist, um wie viel Grad der Bereich überschritten wurde.

- 1) Gewichtungsfaktor, wf , ist gleich 1 für

$$t_o = t_{o, \text{limit}}$$

Dabei ist $t_{o, \text{limit}}$ die untere oder obere Temperaturgrenze des festgelegten Behaglichkeitsbereiches (z. B. $23,5^\circ\text{C} < t_o < 25,5^\circ\text{C}$ entspricht – $0,2 < \text{PMV} < 0,2$ für Einzelbüros, Kategorie A im Sommer wie im Anhang A festgelegt).

- 2) Gewichtungsfaktor, wf , wird berechnet als

$$wf = 1 + \frac{|t_o - t_{o, \text{limit}}|}{|t_{o, \text{optimal}} - t_{o, \text{limit}}|}$$

$$\text{Dabei ist } |t_o| > |t_{o, \text{limit}}|$$

- 3) Für eine charakteristische Periode während eines Jahres werden das Produkt der Gewichtungsfaktoren, wf , und Zeit, t , zusammengerechnet und das Ergebnis wird in Stunden angegeben.

- i) Wärmeperiode:

$$\Sigma wf \cdot t \quad \text{für } t_o > t_{o, \text{limit}}$$

- ii) Kälteperiode:

$$\Sigma wf \cdot t \quad \text{für } t_o < t_{o, \text{limit}}$$

c) Verfahren C

Die Zeit, während der das tatsächliche PMV die Behaglichkeitsgrenzen überschreitet, wird mit einem Faktor gewichtet, der eine Funktion des PPD ist. Ausgehend von einer PMV-Verteilung auf Jahresbasis und der Beziehung zwischen PMV und PPD (siehe Abschnitt 5) wird folgende Berechnung durchgeführt:

- 1) Gewichtungsfaktor, wf , ist gleich 1 für

$$PMV = PMV_{limit}$$

Dabei wird PMV_{limit} durch den nach dieser Internationalen Norm festgelegten Behaglichkeitsbereich bestimmt.

- 2) Gewichtungsfaktor, wf , wird berechnet als

$$wf = \frac{PPD_{actualPMV}}{PPD_{PMV_{limit}}}$$

Dabei ist $|PMV| > |PMV_{limit}|$

wobei

$PPD_{actualPMV}$ = PPD entsprechend zum aktuellen PMV;

$PPD_{PMV_{limit}}$ = PPD entsprechend zu PMV_{limit} .

- 3) Für eine charakteristische Periode während eines Jahres werden das Produkt der Gewichtungsfaktoren, wf , und Zeit, t , zusammengerechnet und das Ergebnis wird in Stunden angegeben.

- i) Wärmeperiode:

$$\sum wf \cdot t \quad \text{für } PMV > PMV_{limit}$$

- ii) Kälteperiode:

$$\sum wf \cdot t \quad \text{für } PMV < PMV_{limit}$$

d) Verfahren D

Es wird der mittlere PPD über eine Zeitspanne während der benutzten Zeiten hinweg berechnet.

e) Verfahren E

Summierung des PPD über eine Zeitspanne während der benutzten Zeiten hinweg.

Literaturhinweise

- [1] ISO 7243, *Hot environments — Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*
- [2] ISO 7726, *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*
- [3] ISO 7933, *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain*
- [4] ISO 8996, *Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate*
- [5] ISO 9920, *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble*
- [6] ISO 10551, *Ergonomics of the thermal environment — Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*
- [7] ISO 11399, *Ergonomics of the thermal environment — Principles and application of relevant International Standards*
- [8] ISO/TR 11079, *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of cold stress using calculation of the required clothing insulation (IREQ) and the assessment of local cooling effects*
- [9] Alfano, G., Cannistraro, G., d'Ambrosio, F. R. and Rizzo, G.: *Notes on the use of the tables of standard ISO 7730 for the evaluation of the PMV index*. Indoor Built Environment 1996, 5, 355– 357
- [10] Anderson, I., G. R. Lundquist, and D. F. Proctor (1973): *Human perception of humidity under four controlled conditions*. Achieves of Environmental Health 26, 22– 27
- [11] ASHRAE Standard 55, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*
- [12] Berglund, L. G., and R. R. Gonzalez: *Application of Acceptable Temperature Drifts to Built Environments as a Mode of Energy Conservation*. ASHRAE Transactions 84, 110–121, 1978
- [13] Berglund, L. G., and R. R. Gonzalez: *Occupant Acceptability of Eight Hour Long Temperature Ramps in the Summer at Low and High Humidities*. ASHRAE Transactions 84, 278–284, 1978
- [14] Berglund, L. G.: *Thermal Acceptability*. ASHRAE Transactions 85, 825– 834, 1979
- [15] Berglund, L. G., and A. P. R. Fobelets: *Subjective Human Response to Low-Level Air Current and Asymmetric Radiation*. ASHRAE Transactions 93, 497– 523, 1987
- [16] Berglund, L. G. (1998): *Comfort and Humidity*. ASHRAE Journal, V. 40(8)
- [17] Berglund, L. G. (1989): *Comfort criteria in a low-humidity environment*. RP2732– 10, Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute
- [18] Brager, G. S. and R. de Dear (2000): *A standard for natural ventilation*. ASHRAE Journal, V. 42(10), S. 21–27
- [19] Breunis, K., and J. P. deGroot: *Relative Humidity of the Air and Ocular Discomfort in a Group of Susceptible Office Workers*. Proceedings of the Fourth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 2, 625–629, 1987

- [20] de Dear, R., and Brager, G. S. (1998): *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. ASHRAE Transactions, V. 104(1a), S. 145–167
- [21] Fanger, P.O., Ostergaard, J., Olesen, O., Madsen, Th., Lund (1974): *The effect on man's comfort of a uniform air flow from different directions*. ASHRAE Transactions, vol. 80, 2, pp.142–157
- [22] Fanger, P. O., B. W. Olesen, G. Langkilde and L. Banhidi: *Comfort Limits for Heated Ceilings*. ASHRAE Transactions 86, 141– 156, 1980
- [23] Fanger, P. O.: *Thermal Comfort*. Robert E. Krieger, Malabar, FL, 1982
- [24] Fanger P. O., B. M. Ipsen, G. Langkilde., B. W. Olesen, N. K. Christensen, and S. Tanabe. (1985): *Comfort limits for asymmetric thermal radiation*. Energy and Buildings. V. 8, 225 226
- [25] Fanger, P. O., and N. K. Christensen: *Perception of Draught in Ventilated Spaces*. Ergonomics, 29, 215–235, 1986
- [26] Fanger, P. O., A. K. Melikov, H. Hanzawa and J. Ring: *Air Turbulence and Sensation of Draught*. Energy and Buildings, 12, 21– 39, 1988
- [27] Fountain M., E. Arens, R. de Dear, F. Bauman, and K. Miura. (1994): *Locally controlled air movement preferred in warm isothermal environments*. ASHRAE Transactions, vol. 100, pt. 2, S. 937–952
- [28] Gagge, A.P., Y. Nishi and R. G. Nevins: *The Role of Clothing in Meeting*, FEA Energy Conservation Guidelines. ASHRAE Transactions 82, 234–247, 1976
- [29] Gagge, A. P. and R. G. Nevins: *Effect of Energy Conservation Guidelines on Comfort, Acceptability and Health*. Final Report of Contract #CO–04–51891–00, Federal Energy Administration, 1976
- [30] Goldman, R. F.: *The Role of Clothing in Achieving Acceptability of Environmental Temperatures Between 65 °F and 85 °F (18 °C and 30 °C)*, Energy Conservation Strategies in Buildings. J. A. J. Stolwijk, (Ed.) Yale University Press, New Haven, 1978
- [31] Green, G. H.: *The Effect of Indoor Relative Humidity on Colds*. ASHRAE Transactions 85, 747–757, 1979
- [32] Griefahn, B. (1999): *Bewertung von Zugluft am Arbeitsplatz*. Fb 828, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
- [33] Griffiths, I. D. and D. A. McIntyre: *Sensitivity to Temporal Variations in Thermal Conditions*, Ergonomics. 17, 499–507, 1974
- [34] Isoda, N., K. Tsuzuki, and M. Yoshioka: *Importance of floor surface temperature in maintaining thermal comfort for people sitting directly on the floor*. 10th ICEE S. 821–824, Sept. 2002, Fukuoka, Japan
- [35] Jones, B. W., K. Hsieh and M. Hashinaga: *The Effect of Air Velocity on Thermal Comfort at Moderate Activity Levels*. ASHRAE Transactions 92, Part 2B, 761–769, 1986
- [36] Langkilde, G., L. Gunnarsen und N. Mortensen (1985): *Comfort limits during infrared radiant heating of industrial spaces*. Proceedings of CLIMA 2000, Copenhagen
- [37] Laviana, J. E., F. H. Rohles and P. E. Bullock: *Humidity, Comfort and Contact Lenses*. ASHRAE Transactions 94, 3–11, 1988
- [38] McCullough, E. A. and D. P. Wyon: *Insulation Characteristics of Winter and Summer Indoor Clothing*. ASHRAE Transactions 89, 614–633, 1983

- [39] McCullough, E. A., B. W. Jones and J. Huck: *A Comprehensive Data Base for Estimating Clothing Insulation*. ASHRAE Transactions 92, 29–47, 1985
- [40] McIntyre, D. A.: *Overhead Radiation and Comfort*. The Building Services Engineer 44, 226–232, 1976
- [41] McIntyre, D. A.: *Preferred Air Speeds for Comfort in Warm Conditions*. ASHRAE Transactions 84, 264–277, 1978
- [42] McNall, P. E., Jr., J. Jaax, F. H. Rohles, R. G. Nevins and W. Springer: *Thermal Comfort (Thermally Neutral) Conditions for Three Levels of Activity*. ASHRAE Transactions 73 (Part I), I.3.1–I.3.14, 1967
- [43] McNall, P. E., Jr. und R. E. Biddison: Thermal and Comfort Sensations of Sedentary Persons Exposed to Asymmetric Radiant Fields. ASHRAE Transactions 76, 123–136, 1970
- [44] Nagano, K., A. Takaki, M. Hirakawa, M. Fujiwara, and Y. Tochiwara: *Thermal responses to temperature steps in summer*. Kyushu Institute of Design, 2003
- [45] Nevins, R. G. and A. M. Feyerherm: *Effect of Floor Surface Temperature on Comfort. Part IV: Cold Floors*. ASHRAE Transactions 73 (Part II), III.2.1–III.2.8, 1967
- [46] Nevins, R. G., K. B. Michaels and A. M. Feyerherm: *The Effect of Floor Surface Temperature on Comfort. Part II: College Age Females*. ASHRAE Transactions 70, 37–43, 1964
- [47] Nevins, R. G. and P. E. McNall, Jr.: *ASHRAE Thermal Comfort Standards as Performance Criteria for Buildings*, CIB Commission W 45 Symposium, Thermal Comfort and Moderate Heat Stress. Watford, U.K. 1972 (Published by HMSO London 1973)
- [48] Nielsen, B., I. Oddershede, A. Torp and P. O. Fanger: *Thermal Comfort During Continuous and Intermittent Work, Indoor Climate*, P. O. Fanger and O. Valbjorn, eds., Danish Building Research Institute, Copenhagen, 1979, S. 477–490
- [49] Nilsson, S. E. und L. Andersson: *Contact Lens Wear in Dry Environments*. ACTA Ophthalmologica 64, 221–225, 1986
- [50] Olesen, S., P. O. Fanger, P. B. Jemsen, O. J. Nielsen: *Comfort limits for man exposed to asymmetric thermal radiation*. Proc. of CIB Commission W45 (Human Requirements) Symposium: Thermal comfort and Moderate Heat Stress, Building Research Station, London, September 1971, HMSO, 1973, pp. 133–148.
- [51] Olesen, B. W.: *Thermal Comfort Requirements for Floors*. Proceedings of The Meeting of Commissions B1, B2, E1 of IIR Belgrade. 1977, pp 307–313
- [52] Olesen, B. W.: *Thermal Comfort Requirements for Floors Occupied by People with Bare Feet*. ASHRAE Transactions 83, 41–57, 1977
- [53] Olesen, B. W., M. Scholer and P. O. Fanger: *Discomfort Caused by Vertical Air Temperature Differences*, Indoor Climate. P. O. Fanger and O. Valbjorn, eds., Danish Building Research Institute, Copenhagen, 1979
- [54] Olesen, B. W.: *A New and Simpler Method for Estimating the Thermal Insulation of a Clothing Ensemble*. ASHRAE Transactions 92, 478–492, 1985
- [55] Olesen, B. W., E. Sliwiska, T. L. Madsen and P. O. Fanger: *Effect of Body Posture and Activity on the Thermal Insulation of Clothing. Measurements by a Movable Thermal Manikin*. ASHRAE Transactions 88, 791–805, 1987
- [56] Rohles, F. H., Jr., J. E. Woods and R. G. Nevins: *The Influence of Clothing and Temperature on Sedentary Comfort*. ASHRAE Transactions 79, 71–80, 1973

- [57] Rohles, F. H., J. E. Woods and R. G. Nevins: *The Effect of Air Speed and Temperature on the Thermal Sensations of Sedentary Man*. ASHRAE Transactions 80; 101–119, 1974
- [58] Rohles, F. H., G. A. Milliken, D. E. Skipton, and I. Krstic: *Thermal Comfort During Cyclical Temperature Fluctuations*. ASHRAE Transactions 86, 125–140, 1980
- [59] Rohles, F. H., S. A. Konz and B. W. Jones: *Ceiling Fans as Extenders of the Summer Comfort Envelope*. ASHRAE Transactions 89: 245–263, 1983
- [60] Scheatzle, D. G., H. Wu. and J. Yellott: *Extending The Summer Comfort Envelope with Ceiling Fans in Hot, Arid Climates*. ASHRAE Transactions 95, Part 1, 269–280, 1989
- [61] Sprague, C. H. and P. E. McNall, Jr.: *Effects of Fluctuating Temperature and Relative Humidity on the Thermal Sensation (Thermal Comfort) of Sedentary Subjects*. ASHRAE Transactions 77, 183–199, 1971
- [62] Tanabe, S., K. Kimura, and T. Hara (1987): *Thermal comfort requirements during the summer season in Japan*. ASHRAE Transactions 93 (1), 564–577
- [63] Tanabe and Kimura, 1994: *Effects of air temperature, humidity, and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions*. ASHRAE Transactions, Vol. 100 Part 2, 16 pp.
- [64] Toftum, J., R. Nielsen (1996a): *Draught sensitivity is influenced by general thermal sensation*. International Journal of Industrial Ergonomics, 18 (4), 295–305
- [65] Toftum, J., R. Nielsen (1996b): *Impact of metabolic rate on human response to air movements during work in cool environments*. International Journal of Industrial Ergonomics, 18 (4), 307–316
- [66] Toftum, J., G. Zhou, A. Melikov (1997): *Airflow direction and human sensitivity to draught*. Proceedings of CLIMA 2000, Brussels
- [67] Toftum, J., A. Melikov, A. Tynel, M. Bruzda, and P. O. Fanger (2003): *Human response to Air Movement — Evaluation of ASHRAE's Draft Criteria (RP–843)*. HVAC&R Research, vol. 9 no. 2, April 2003
- [68] Tsuzuki, K. and T. Ohfuku: *Thermal comfort and thermoregulation in elderly compared to young people in Japanese winter season*. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, Japan
- [69] Wyon, D. P., Th. Asgeirsdottir, P. Kjerulf-Jensen and P. O. Fanger: *The Effects of Ambient Temperature Swings on Comfort, Performance and Behavior*. Arch. Sci. Physiol. 27