

DIN EN ISO 7730

ICS 13.040.20; 13.180

Ersatz für
DIN EN ISO 7730:1995-09

**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 57 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.

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.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 7730: 1995-09

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 unstetigen 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.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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:

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

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

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

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

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

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 ($^{\circ}\text{C}$);
$\bar{t}_{\text{r}}$	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 = $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

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_{clo}	$0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ bis $0,310 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (0 clo bis 2 clo);
t_{a}	10°C bis 30°C ;
$\bar{t}_{\text{r}}$	10°C bis 40°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.

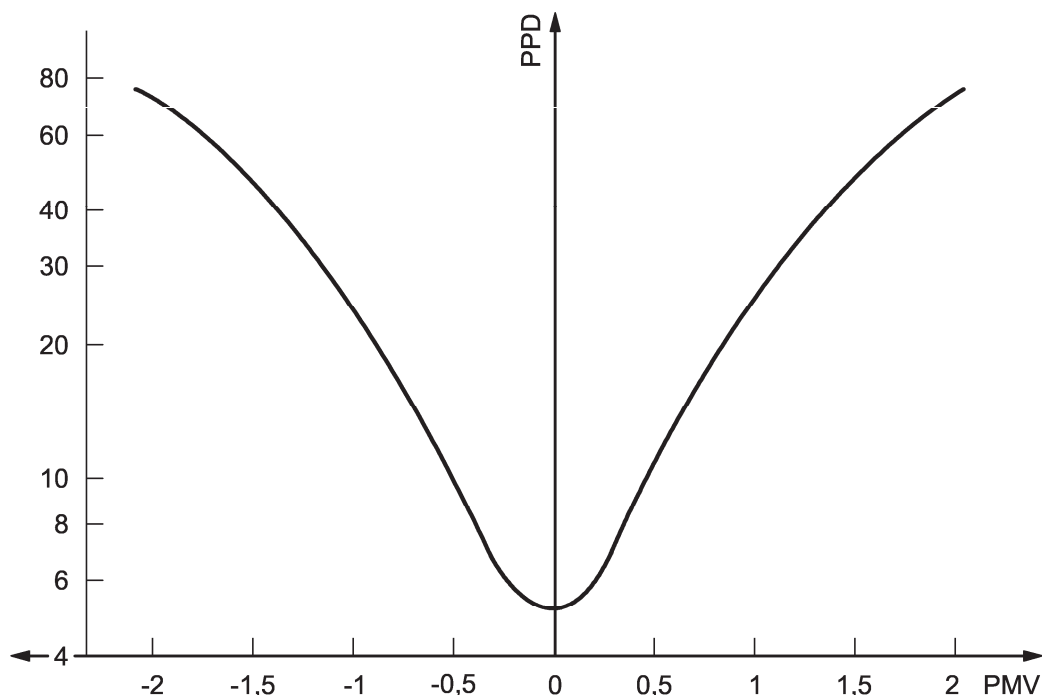
5 Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)

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;
- $\bar{v}_a$ 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.

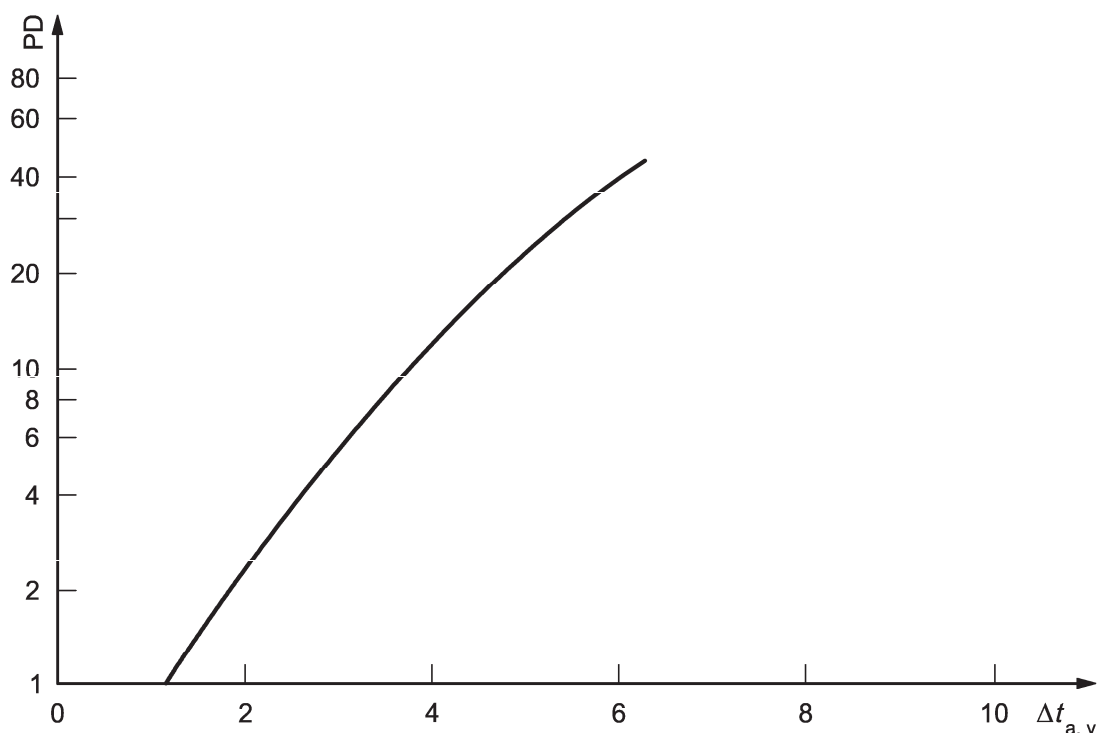
Das Modell ist anwendbar auf Menschen mit einer leichten, hauptsächlich sitzenden Tätigkeit und einem nahezu neutralen thermischen Empfinden des gesamten Körpers sowie vorausgesagter Zugluft am Nacken. In Höhe der Arme und Beine könnte das Modell die vorausgesagte Zuglufrate überbewerten. Die Beeinträchtigung 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

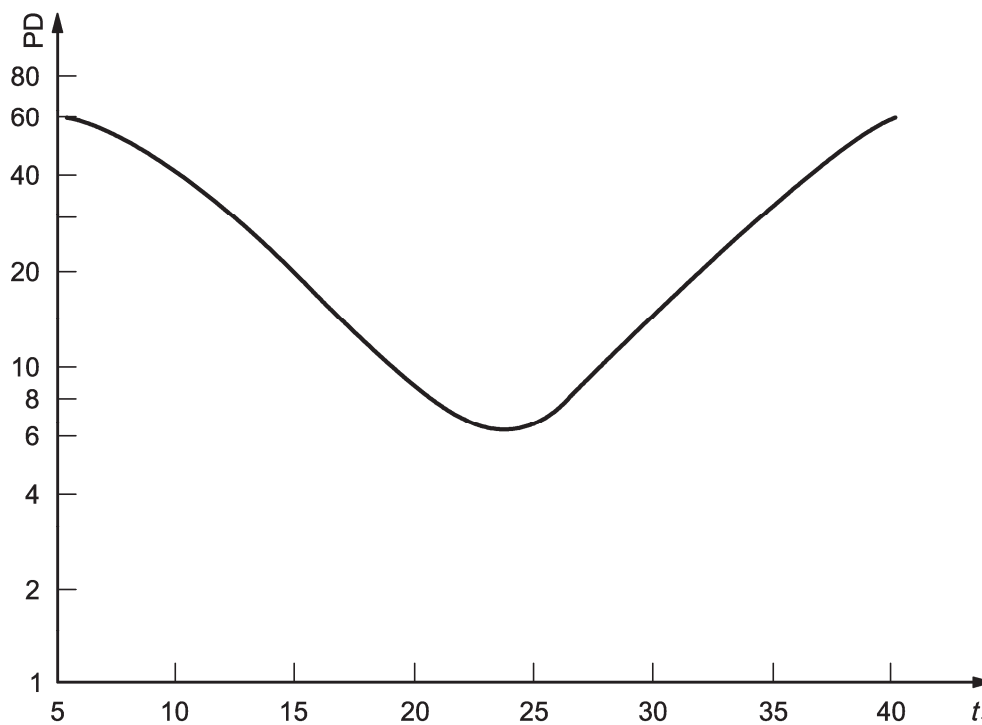
PD Prozentsatz an Unzufriedenen, %

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

Bild 2 — Lokale Unbehaglichkeit durch vertikale Lufttemperaturunterschiede

6.4 Warme 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

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

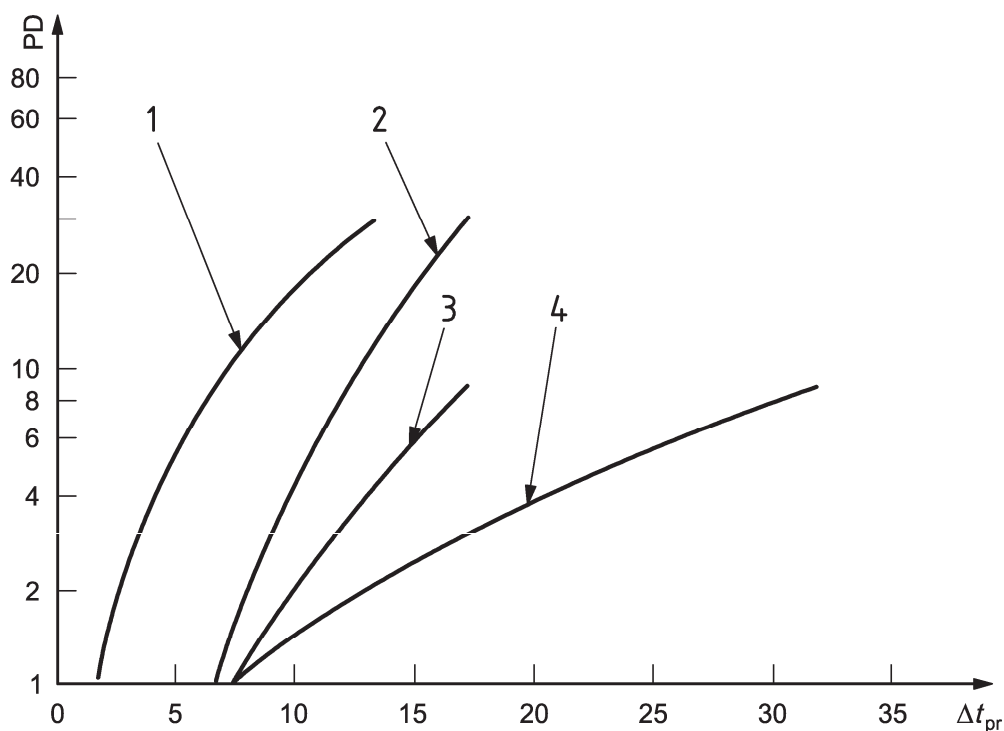
$$\Delta t_{pr} < 15 \text{ °C}$$

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 vorauszugesagt, 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 Bekleidungsgewohnheiten 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.