

DIN EN ISO 7730



ICS 13.040.20; 13.180

Entwurf

Einsprüche bis 2023-05-24
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 7730:2006-05 und
DIN EN ISO 7730
Berichtigung 1:2007-06

**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/DIS 7730:2023);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 7730:2023**

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/DIS 7730:2023);
German and English version prEN ISO 7730:2023

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/DIS 7730:2023);
Version allemande et anglaise prEN ISO 7730:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-03-24 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an naerg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Ergonomie (NAErg), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 84 Seiten

DIN-Normenausschuss Ergonomie (NAErg)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 7730:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 159 „Ergonomics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 122 „Ergonomie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Gemeinschaftsarbeitsausschuss NA 023-00-05 GA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NAErg/NAM: Ergonomie der physikalischen Umgebung, ErgPhysU“ im DIN-Normenausschuss Ergonomie (NAErg).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 7243	siehe	DIN EN ISO 7243
ISO 7726	siehe	DIN EN ISO 7726
ISO 7933	siehe	DIN EN ISO 7933
ISO 8996	siehe	DIN EN ISO 8996
ISO 9920	siehe	DIN EN ISO 9920
ISO 10551	siehe	DIN EN ISO 10551
ISO 11079	siehe	DIN EN ISO 11079
ISO 11399	siehe	DIN EN ISO 11399
ISO 13731	siehe	DIN EN ISO 13731
ISO 28803	siehe	DIN EN ISO 28803

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 7730:2006-05 und DIN EN ISO 7730 Berichtigung 1:2007-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Teile der Norm (Langzeitbewertungen, Anpassung und Diversität) wurden in den technischen Leitfaden DTR XXXXX verschoben;
- b) die Fehler im Berechnungsprogramm wurden berichtigt;
- c) die Tabellen zur Bestimmung des vorausgesagten mittleren Votums wurden gelöscht, da heute in den meisten Fällen das Berechnungsprogramm verwendet wird;
- d) das Dokument wurde redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7243, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index (wet bulb globe temperature)*

DIN EN ISO 7726, *Umgebungsklima — Instrumente zur Messung physikalischer Größen*

DIN EN ISO 7933, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung*

DIN EN ISO 8996, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes*

DIN EN ISO 9920, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Abschätzung der Wärmeisolation und des Verdunstungswiderstandes einer Bekleidungskombination*

DIN EN ISO 10551, *Ergonomie des Umgebungsklimas — Subjektive Bewertungsskalen für die Beurteilung der physikalischen Umgebung*

DIN EN ISO 11079, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Bestimmung und Interpretation der Kältebelastung bei Verwendung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) und lokalen Kühlwirkungen*

DIN EN ISO 11399, *Ergonomie des Umgebungsklimas — Grundlagen und Anwendung relevanter Internationaler Normen*

DIN EN ISO 13731, *Ergonomie des Umgebungsklimas — Begriffe und Symbole*

DIN EN ISO 28803, *Ergonomie der physikalischen Umgebung — Anwendung Internationaler Normen für Personen mit speziellen Anforderungen*

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO 7730:2023-04

– Leerseite –

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/DIS 7730:2023)

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/DIS 7730:2023)

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/DIS 7730:2023)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV) für thermische Behaglichkeit am ganzen Körper	8
4.1 Bestimmung	8
4.2 Anwendungen	10
5 Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)	10
6 Lokale thermische Behaglichkeit	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Zugluft	12
6.3 Vertikaler Lufttemperaturunterschied	12
6.4 Warme und kalte Fußböden	13
6.5 Asymmetrie der Strahlungstemperatur	14
7 Umgebungen für thermische Behaglichkeit	15
8 Umgebungsklimate mit unsteten Bedingungen	16
8.1 Allgemeines	16
8.2 Zyklische Temperaturen	16
8.3 Temperaturdriften oder -gefälle	16
8.4 Übergänge	16
Anhang A (informativ) Beispiele für Anforderungen an die thermische Behaglichkeit für unterschiedliche Umgebungskategorien und Raumarten	17
A.1 Kategorien des Umgebungsklimas	17
A.2 Bereich der operativen Temperatur	18
A.3 Lokale thermische Behaglichkeit	18
A.4 Gestaltungskriterien für unterschiedliche Raumarten — Beispiele	22
Anhang B (informativ) Energieumsätze bei verschiedenen körperlichen Tätigkeiten	23
Anhang C (informativ) Abschätzung des Wärmeisulationswertes von Bekleidungskombinationen	24
C.1 Allgemeines	24
C.2 Bestimmung der dynamischen Isolationsmerkmale von Bekleidung (ISO 9920)	27
Anhang D (normativ) Computerprogramm zur Berechnung von PMV und PPD	29
Anhang E (informativ) Diagramme zur Bestimmung des vorausgesagten mittleren Votums (PMV)	33
Anhang F (informativ) Luftfeuchte	36
Anhang G (informativ) Luftgeschwindigkeit	37
Literaturhinweise	39

Bilder

Bild 1 — PPD als Funktion des PMV	11
Bild 2 — Lokale Unbehaglichkeit durch vertikale Lufttemperaturunterschiede	13
Bild 3 — Lokale thermische Unbehaglichkeit durch warme oder kalte Fußböden	14
Bild 4 — Lokale thermische Unbehaglichkeit durch asymmetrische Strahlungstemperatur	15
Bild A.1 — Die optimale operative Temperatur als Funktion der Bekleidung und der Aktivität	20
Bild A.2 — Höchstzulässige mittlere Luftgeschwindigkeit als Funktion der Lufttemperatur und des Turbulenzgrades vor Ort	21
Bild G.1 — Erforderliche Luftgeschwindigkeit, um eine erhöhte Temperatur auszugleichen	37

Tabellen

Tabelle 1 — Siebenstufige Klimabeurteilungsskala	8
Tabelle 2 — Verteilung der individuellen Klimabeurteilung für verschiedene Werte des mittleren Votums	11
Tabelle 3 — In Gleichung (9) einzusetzende Konstanten für unterschiedliche Arten von Strahlungsasymmetrie	15
Tabelle A.1 — Kategorien des Umgebungsklimas	17
Tabelle A.2 — Vertikaler Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fußgelenken	21
Tabelle A.3 — Fußbodentemperaturbereich	21
Tabelle A.4 — Asymmetrie der Strahlungstemperatur	22
Tabelle A.5 — Beispiele für Gestaltungskriterien für Räume in unterschiedlichen Gebäudetypen	22
Tabelle B.1 — Beispiele für Energieumsätze	23
Tabelle C.1 — Wärmeisolationswerte für typische Bekleidungskombinationen	24
Tabelle C.2 — Wärmeisolationswert von Kleidungsstücken und Änderungen der optimalen operativen Temperatur	25
Tabelle C.3 — Wärmeisolationswerte für Stühle	26
Tabelle D.1 — Ausgabebeispiel	31

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 7730:2023) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 159 „Ergonomics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 122 „Ergonomie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 7730:2005 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 7730:2023 wurde von CEN als prEN ISO 7730:2023 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Directives, Teil 2 erarbeitet.

Die Hauptaufgabe der Technischen Komitees besteht in dem Erarbeiten von Internationalen Normen. Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der Mitgliedsländer, die abgestimmt haben, benötigt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ISO 7730 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 159, *Ergonomics*, Unterkomitee SC 5, *Ergonomics of the physical environment*, erarbeitet.

Diese vierte Fassung ersetzt die dritte Fassung (ISO 7730:2005), die technisch überarbeitet wurde. Teile der Norm (Langzeitbewertungen, Anpassung und Diversität) wurden in den technischen Leitfaden DTR xxxxx verschoben. Die Fehler im Berechnungsprogramm wurden berichtigt. Die Tabellen zur Bestimmung des vorausgesagten mittleren Votums wurden gelöscht, da heute in den meisten Fällen das Berechnungsprogramm verwendet wird.

Einleitung

Diese Internationale Norm gilt für die Bewertung eines gemäßigten Umgebungsklimas 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 11079, die alle drei extreme Umgebungsbedingungen behandeln).

Das menschliche Temperaturempfinden hängt im Wesentlichen vom thermischen Gleichgewicht (Wärmebilanz) des Körpers insgesamt ab. Dieses Gleichgewicht wird durch körperliche Tätigkeit und Bekleidung sowie durch die Parameter des Umgebungsklimas, d.h. Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte, beeinflusst. Sofern diese Faktoren geschätzt oder gemessen wurden, kann der Index für die thermische Behaglichkeit, das vorausgesagte mittlere Votum (PMV, en: predicted mean vote), berechnet werden, siehe Abschnitt 4.

Der vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD, en: predicted percentage of dissatisfied) liefert Angaben zur thermischen Unbehaglichkeit oder Unzufriedenheit und wird ausgedrückt als Prozentsatz an Menschen, 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 aufgrund von lokaler Unbehaglichkeit vorausgesagt werden kann.

Unzufriedenheit kann durch Unbehagen aufgrund eines Kälte- oder Wärmeempfindens am ganzen Körper 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 für die Behaglichkeit annehmbar sind.

Die Abschnitte 6 und 7 beruhen hauptsächlich auf gleichbleibenden Bedingungen. Verfahren zur Bewertung von unsteten 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 unter Umständen nicht immer möglich, die Bedingungen innerhalb der empfohlenen Grenzen zu halten.

Diese Norm soll in Verbindung mit dem technischen Leitfaden DTR xxxxx: „Guidance for design, control and evaluation of moderate indoor thermal environment“ verwendet werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt ein standardisiertes Verfahren fest, mit dem sich die allgemeine thermische Behaglichkeit von Personen in einem Raum sowie der Grad der Unbehaglichkeit (thermischen Unzufriedenheit) von Personen, die einem gemäßigten Umgebungsklima ausgesetzt sind, bewerten lassen. Sie trifft Festlegungen zur analytischen Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit mithilfe der Berechnung von PMV (en: predicted mean vote) und PPD (en: predicted percentage of dissatisfied) und anhand von Kriterien für die lokale thermische Behaglichkeit, wobei die Umgebungsbedingungen angegeben werden, die für die allgemeine thermische Behaglichkeit als annehmbar gelten, und die Umgebungsbedingungen, bei denen lokale Unbehaglichkeit auftritt. Die Internationale Norm gilt für gesunde Männer und Frauen, die einem Innenraumklima ausgesetzt sind, das thermische Behaglichkeit hervorrufen soll, wo es jedoch bei der Gestaltung neuer bzw. der Bewertung existierender Umgebungen zu moderaten Abweichungen vom Zustand der thermischen Behaglichkeit kommt. Obwohl diese Norm speziell für die Arbeitsumgebung erstellt wurde, kann sie auch für andere Arten der Umgebung angewendet werden. Für Personen mit besonderen Anforderungen, zum Beispiel mit physischen Einschränkungen, sollte ISO 28803 angewendet werden. Ethnische, nationale oder geografische Unterschiede sind ebenfalls zu berücksichtigen, insbesondere wenn es um nicht klimatisierte Räume geht. Leitlinien sind in Abschnitt 8 und Abschnitt 10 des Leitfadens ISO DTR XXXXX angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 7726, *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*

ISO 8996, *Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate*

ISO 9920, *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*

ISO 10551, *Ergonomics of the physical environment — Subjective judgement scales for assessing physical environments*

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 28803, *Ergonomics of the physical 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, gleichbleibende, stabile, nicht zyklische Änderung der operativen Temperatur in einem geschlossenen Raum

3.3

Temperaturgefälle

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

3.4

operative Temperatur

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) für thermische Behaglichkeit am ganzen Körper

4.1 Bestimmung

Das PMV ist ein Index, der den Durchschnittswert für die Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe anhand der 7-stufigen 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 Umgebungs-klima ändert das Thermoregulationssystem des Menschen automatisch die Hauttemperatur und die Schweißabsonderung, um das Wärmegleichgewicht zu erhalten.

Tabelle 1 — Siebenstufige Klimabeurteilungsskala

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

Das PMV wird mithilfe von Gleichung (1) bis Gleichung (4) berechnet:

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

$$\left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5\,733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5\,867 - p_a) - 0,001\,4 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl}$$

$$\left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (2)$$

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

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

Dabei ist

M der Energieumsatz, in Watt je Quadratmeter (W/m^2);

W die wirksame mechanische Leistung, in Watt je Quadratmeter (W/m^2);

I_{cl} die Bekleidungsisolation, in Quadratmeter Kelvin je Watt ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$);

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 je Sekunde (m/s);

p_a der Wasserdampfpartialdruck, in Pascal (Pa);

h_c der konvektive Wärmeübergangskoeffizient, in Watt je Quadratmeter und Kelvin [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];

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 gleichbleibende 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 W/m^2 bis 232 W/m^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°C bis 30°C ;

$\bar{t}_r$ 10°C bis 40°C ;

v_{ar} 0 m/s bis 1 m/s ;

p_a 0 Pa bis 2 700 Pa.

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

Der Energieumsatz wird nach ISO 8996 oder nach Anhang B abgeschätzt, wobei die Art der Tätigkeit zu berücksichtigen ist. Bei veränderlichen Energieumsätzen sollte ein zeitgewichteter Mittelwert für die letzte Stunde veranschlagt 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) mithilfe eines Digitalrechners nach Gleichung (1). Ein BASIC-Programm hierfür ist in Anhang D angegeben. Zur Überprüfung anderer Computerprogramme enthält Anhang D beispielhafte Ausgabewerte;
- b) nach Anhang E, in dem Diagramme 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).

Der Einfluss der Luftfeuchte auf das Temperaturempfinden ist bei gemäßigten Temperaturen nahe der Behaglichkeit gering und darf bei der Bestimmung des PMV-Wertes in der Regel außer Acht gelassen werden (siehe Anhang F).

4.2 Anwendungen

Das PMV kann angewendet werden, um zu prüfen, ob ein gegebenes Umgebungsklima den Behaglichkeitskriterien entspricht (siehe Abschnitt 7 und Anhang A), und um Anforderungen für unterschiedliche Kategorien der Annehmbarkeit festzulegen.

Setzt man $PMV = 0$, ergibt sich eine Gleichung, die Kombinationen aus körperlicher Tätigkeit, Bekleidung und Umgebungsparametern vorhersagt, die im Durchschnitt ein neutrales Temperaturempfinden hervorrufen.

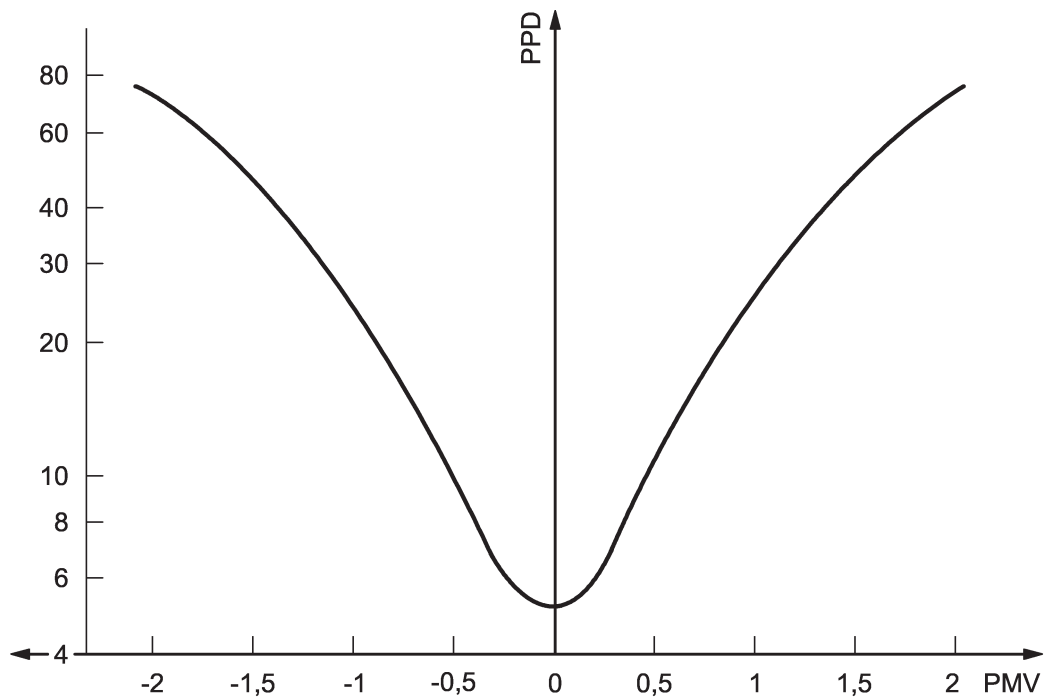
5 Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD)

Der PMV-Index wird in Bezug auf die durchschnittliche Klimabeurteilung einer großen Gruppe von Personen definiert, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind. Einzelne Beurteilungen sind jedoch um diesen Mittelwert herum gestreut und es ist nützlich, die Anzahl der Personen voraussagen zu können, die das Umgebungsklima wahrscheinlich als unbehaglich warm oder kalt empfinden.

Der PPD stellt einen quantitativen Index in Bezug auf den Prozentsatz der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedenen Personen dar, denen zu kalt oder zu warm ist. Für die Zwecke dieser Internationalen Norm sind mit dem Umgebungsklima unzufriedene Personen diejenigen, die in der 7-stufigen Klimabeurteilungsskala in Tabelle 1 *heiß*, *warm*, *kühl* oder *kalt* auswählen.

Nachdem der PMV-Wert bestimmt wurde, wird der PPD mithilfe von Gleichung (5) berechnet, siehe Bild 1:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,033\,53 \cdot PMV^4 - 0,217\,9 \cdot PMV^2) \quad (5)$$



Legende

PMV vorausgesagtes mittleres Votum

PPD vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, in %

Bild 1 — PPD als Funktion des PMV

Der PPD bezieht sich auf die Anzahl der Personen innerhalb einer großen Personengruppe, die mit dem Umgebungsklima unzufrieden sind. Der Rest der Gruppe wird das Umgebungsklima bezüglich der Temperatur als neutral, etwas warm oder etwas kühl empfinden. Das Verhältnis zwischen der PMV- und der PPD-Verteilung ist in Tabelle 2 angegeben.

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

PMV	PPD	Personen, die voraussichtlich die genannte Klimabeurteilung abgeben ^a		
		%		
		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 Basierend auf Versuchen mit 1 300 Personen.

6 Lokale thermische Behaglichkeit

6.1 Allgemeines

PMV und PPD sind Indizes, die sich auf ein Unbehaglichkeitsempfinden am ganzen Körper aufgrund von Wärme oder Kälte beziehen. Thermische Unzufriedenheit kann jedoch auch durch ein unerwünschtes Empfinden von Kälte oder Wärme an einem bestimmten Körperteil entstehen. Dies ist als *lokale Unbehaglichkeit* bekannt. Die häufigste Ursache für lokale Unbehaglichkeit ist Zugluft (6.2). Lokale Unbehaglichkeit kann aber auch durch ungewöhnlich große vertikale Temperaturunterschiede zwischen Kopf und Fußgelenken (6.3), durch zu warme oder zu kalte Fußböden (6.4) oder durch eine Asymmetrie der Strahlungstemperatur (6.5) hervorgerufen werden. 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 neutrales Temperaturempfinden am ganzen Körper. Bei einem höheren Aktivitätsgrad sind Personen in der Regel weniger temperaturempfindlich und infolgedessen ist das Risiko einer lokalen Unbehaglichkeit geringer.

6.2 Zugluft

Die Unbehaglichkeit durch Zugluft kann als der vorausgesagte Prozentsatz an Personen angegeben werden, die sich durch Zugluft beeinträchtigt fühlen. Die Zuglufrate (*DR*, en: draught rate,) wird mithilfe von Gleichung (6) berechnet (Zugluftmodell):

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

Wenn $\bar{v}_{a,l} < 0,05$ m/s: $\bar{v}_{a,l} = 0,05$ m/s einsetzen

Wenn $DR > 100$ %: $DR = 100$ % einsetzen

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 m/s;

Tu der lokale Turbulenzgrad, in Prozent, 10 % bis 60 % (falls der Wert nicht bekannt ist, darf 40 % verwendet werden).

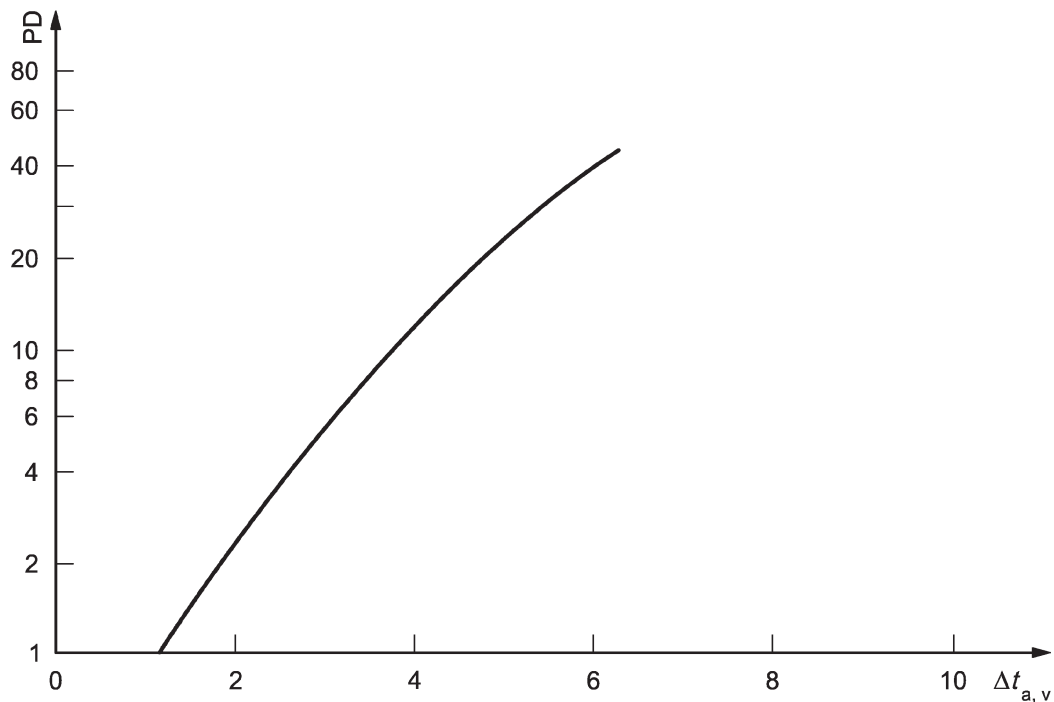
Das Modell ist anwendbar auf Menschen bei leichter, hauptsächlich sitzender Tätigkeit und einem nahezu neutralen Temperaturempfinden am ganzen Körper sowie vorausgesagter Zugluft am Nacken. In Höhe der Arme und Beine könnte das Modell die vorausgesagte Zuglufrate überbewerten. Das Zugluftempfinden ist geringer bei einem gegenüber sitzender Tätigkeit höheren Aktivitätsgrad (> 1,2 met) und bei Personen, die die Temperatur wärmer als neutral empfinden. Anhang G enthält zusätzliche Informationen zum Einfluss der Luftgeschwindigkeit.

6.3 Vertikaler Lufttemperaturunterschied

Ein großer vertikaler Lufttemperaturunterschied 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. Bei abfallenden Temperaturen reagiert der Mensch weniger empfindlich. PD wird mithilfe von Gleichung (7) bestimmt:

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

Gleichung (7), die aus den Originaldaten mittels logistischer Regressionsanalyse abgeleitet wurde, sollte nur angewendet werden, wenn $\Delta t_{a,v} < 8\text{ °C}$ ist.



Legende

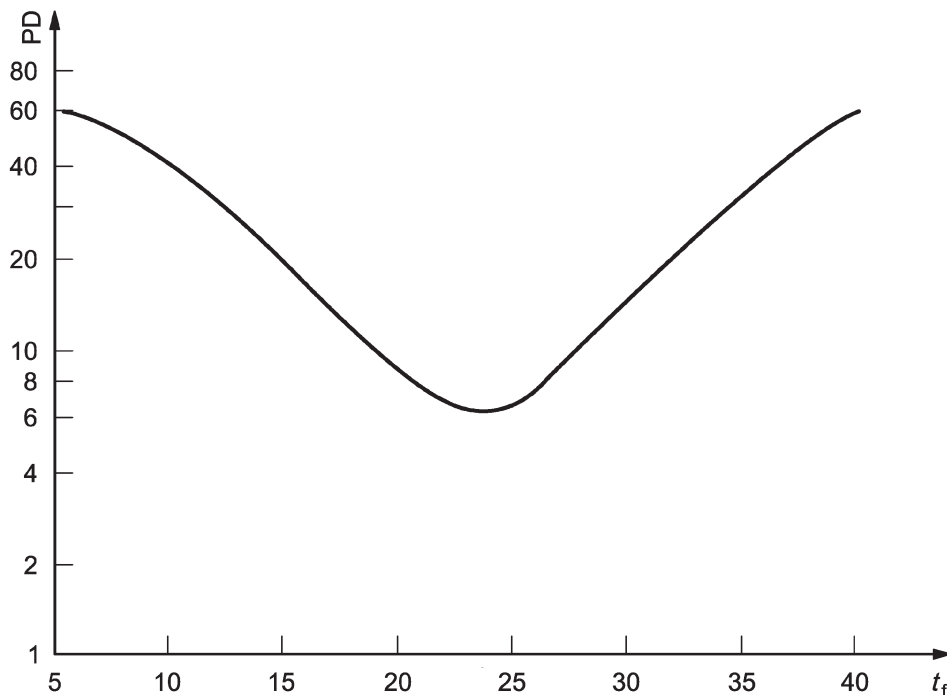
PD Prozentsatz an Unzufriedenen, in %

$\Delta t_{a,v}$ vertikaler Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Füßen, in °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 aufgrund des Temperaturempfindens an ihren Füßen unbehaglich fühlen. Bei Personen, die leichte, für Innenräume geeignete Schuhe tragen, ist nicht das Material des Bodenbelags, sondern die Fußbodentemperatur für das Wohlbefinden 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, in %

t_f Fußbodentemperatur, in °C

Bild 3 — Lokale thermische Unbehaglichkeit durch warme oder kalte Fußböden

Für Personen, die auf dem Fußboden sitzen oder liegen, dürfen ähnliche Werte eingesetzt werden. PD wird mit der Gleichung (8) bestimmt, die aus den Originaldaten mittels nicht-linearer Regressionsanalyse abgeleitet wurde:

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

Bei längerem Aufenthalt gelten die Werte nicht für elektrisch beheizte Fußböden.

ANMERKUNG Bei elektrischer Beheizung erfolgt ein gewisser Wärmeeintrag unabhängig von der Oberflächentemperatur. Ein wasserbasiertes 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 Strahlungstemperatur

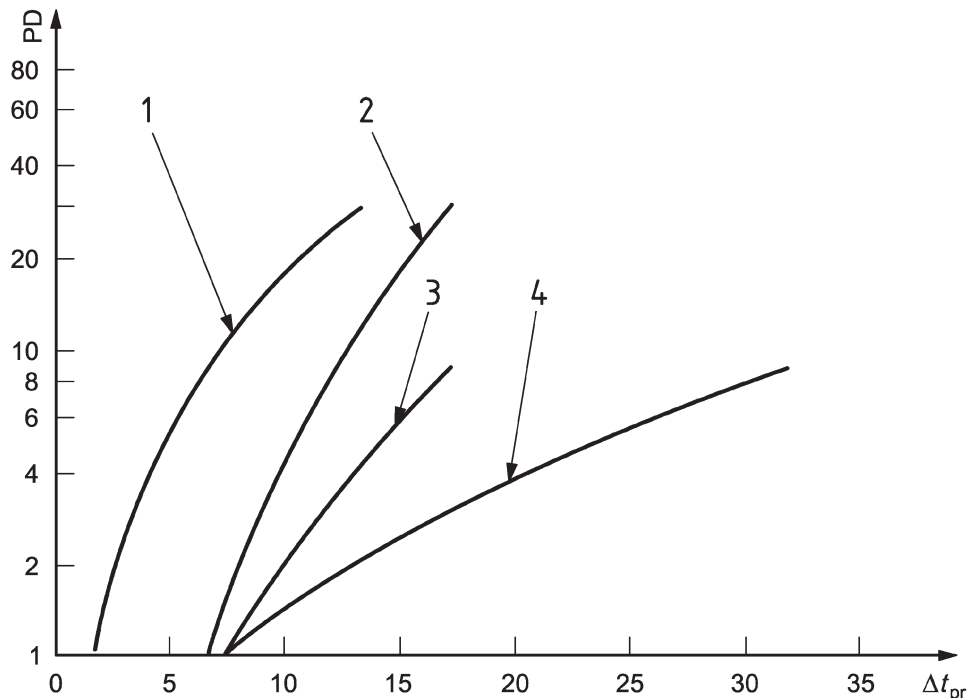
Eine Asymmetrie der Strahlungstemperatur (Δt_{pr}) kann ebenfalls zu Unbehaglichkeit führen. Besonders empfindlich ist der Mensch gegenüber asymmetrischer Strahlung, die durch warme Decken oder kühle Wände (Fenster) verursacht wird. In Bild 4 ist der Prozentsatz an Unzufriedenen als Funktion einer asymmetrischen Strahlungstemperatur aufgrund einer warmen Decke, einer kühlen Wand, einer kühlen Decke bzw. einer warmen Wand dargestellt. Für die horizontale Strahlungsasymmetrie gilt Bild 4 für die Asymmetrie von einer zur anderen Seite (links/rechts oder rechts/links). Die Kurven geben eine konservative Abschätzung der Unbehaglichkeit an: keine anderen Positionen des Körpers im Verhältnis zur Oberfläche (z. B. vorne/hinten) ergeben eine höhere Unbehaglichkeit durch Asymmetrie. PD wird, je nach Anwendungsfall, mithilfe von Gleichung (9) bestimmt.

$$PD = 100 / (1 + \exp(K1 - K2 \cdot \Delta t_{pr})) - K3 \quad (9)$$

Tabelle 3 — In Gleichung (9) einzusetzende Konstanten für unterschiedliche Arten von Strahlungsasymmetrie

Asymmetrie	Grenze Δt_{pr}	K1	K2	K3
1 warme Decke	< 23 K	2,94	0,166	5,5
2 kühle Wand	< 15 K	5,89	0,297	0
3 kühle Decke	< 15 K	5,19	0,173	0
4 warme Wand	< 35 K	3,41	0,044	3,5

Gleichung (9) wurde aus den Originaldaten mittels nicht-linearer Regressionsanalyse abgeleitet und sollte nicht außerhalb des oben angegebenen Bereichs angewendet werden. Die Kurven für a) (warme Decke) und d) (warme Wand) wurden angepasst, um die Unbehaglichkeit, die nicht durch Strahlungsasymmetrie verursacht wird, zu berücksichtigen, siehe Bild 4.



Legende

- PD Prozentsatz an Unzufriedenen, in %
 Δt_{pr} asymmetrische Strahlungstemperatur, in °C
 1 warme Decke
 2 kühle Wand
 3 kühle Decke
 4 warme Wand

Bild 4 — Lokale thermische Unbehaglichkeit durch asymmetrische Strahlungstemperatur

7 Umgebungen für thermische Behaglichkeit

Thermische Behaglichkeit ist der mentale Zustand, der sich bei Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima einstellt. Unzufriedenheit kann durch ein unbehagliches Wärme- oder Kälteempfinden am ganzen Körper, ausgedrückt durch PMV und PPD, oder durch ein Wärme- oder Kälteempfinden an einem bestimmten Körperteil verursacht werden.

Aufgrund individueller Unterschiede ist es unmöglich, ein Umgebungsklima festzulegen, das alle zufriedenstellt. Es wird immer einen Prozentsatz an Unzufriedenen geben.

Oft sind dieselben Personen gegenüber mehreren Arten von lokaler Unbehaglichkeit empfindlich. Z. B. kann eine Person, die empfindlich auf Zugluft reagiert, auch gegenüber örtlicher Abkühlung durch asymmetrische Strahlung oder einem kalten Fußboden empfindlich sein. Eine solche kälteempfindliche Person könnte auch leichter eine kältebedingte Unbehaglichkeit am ganzen Körper empfinden. Deshalb sollten die aus unterschiedlichen Arten der lokalen Unbehaglichkeit resultierenden PPD, DR oder PD nicht addiert werden.

Je nach den lokalen oder nationalen Prioritäten, technischen Entwicklungen und Klimaregionen wird unter Umständen eine höhere thermische Qualität (weniger Unzufriedene) oder eine geringere Qualität (mehr Unzufriedene) in einigen Fällen als annehmbar betrachtet. In diesen Fällen dürfen PMV und PPD, das Zugluftmodell, das Verhältnis der Parameter der lokalen thermischen Unbehaglichkeit untereinander (siehe Abschnitt 6) und der vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen angewendet werden, um unterschiedliche Bereiche von Umgebungsparametern für die Bewertung und Gestaltung des Umgebungsklimas zu bestimmen.

Anhang A enthält Beispiele für unterschiedliche Anforderungskategorien.

8 Umgebungsklimate mit unsteten Bedingungen

8.1 Allgemeines

Die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Verfahren gelten für gleichbleibende Bedingungen. Beim Umgebungsklima herrschen jedoch häufig unstete Bedingungen vor, und es stellt sich die Frage, ob die Verfahren auch dann gültig sind. Es können drei Arten von unsteten Bedingungen auftreten: zyklische Temperaturen, Temperaturdriften oder -gefälle sowie Übergänge.

8.2 Zyklische Temperaturen

Zyklische Temperaturen 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 gleichbleibende Bedingungen dürfen angewendet werden. Höhere Spitzenschwankungen können die Behaglichkeit vermindern.

8.3 Temperaturdriften oder -gefälle

Wenn bei Temperaturdriften oder -gefällen die Änderungsrate unter 4,0 K/h liegt, gelten die Verfahren für gleichbleibende Bedingungen.

8.4 Übergänge

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

- Eine markante Änderung der operativen Temperatur wird unmittelbar empfunden.
- Nach einer markanten Veränderung der operativen Temperatur nach oben wird das neue gleichbleibende Umgebungsklima sofort wahrgenommen, d. h. die PMV- und PPD-Indizes können angewendet werden.
- Nach einer markanten Veränderung der operativen Temperatur nach unten sinkt das Temperaturempfinden zunächst unter das vom PMV-Index vorgegebene Niveau, danach steigt es und erreicht unter gleichbleibenden Bedingungen nach etwa 30 min das konstante Niveau, d. h. der PMV- und der PPD-Index geben für die ersten 30 min zu hohe Werte an. Die Dauer bis zur Einstellung neuer gleichbleibender Bedingungen hängt von den Ausgangsbedingungen ab.

Anhang A (informativ)

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

A.1 Kategorien des Umgebungsklimas

Das gewünschte Umgebungsklima für einen Raum darf aus den vier in Tabelle A.1 angegebenen Kategorien I, II, III und IV ausgewählt werden. Für lokale Unbehaglichkeit gelten nur drei Kategorien. Für jede Kategorie sollten alle Kriterien gleichzeitig erfüllt sein.

Tabelle A.1 — Kategorien des Umgebungsklimas

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		Lokale Unbehaglichkeit			
	PPD %	PMV	DR %	PD %		
				vertikaler Lufttemperatur- unterschied	warmer oder kalter Fußboden	asymmetrische Strahlung
I	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
II	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
III	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10
IV	< 25	$-1,0 < PMV < +1,0$				

Jede Kategorie gibt einen maximalen Prozentsatz an Unzufriedenen für den gesamten Körper (PPD) und einen PD für jede der vier Arten der lokalen Unbehaglichkeit vor. Einige Anforderungen sind in der Praxis nur schwer umzusetzen, andere hingegen sind relativ leicht zu erfüllen. Die unterschiedlichen Prozentsätze sind Ausdruck des angestrebten Gleichgewichts zwischen dem Ziel, wenige Unzufriedene zu erhalten, und dem mit der vorhandenen Technik Möglichen.

Aufgrund der Fehlergrenzen der Geräte zur Messung der Eingangsparameter nach ISO 7726 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 vier Kategorien in Tabelle A.1 gelten für Räume, in denen alle Personen demselben Umgebungsklima ausgesetzt sind. Es ist von Vorteil, wenn für jede einzelne Person eine individuelle Regelungsmöglichkeit für das Umgebungsklima vorgesehen werden kann. Eine individuelle Regelung der lokalen Lufttemperatur, der mittleren Strahlungstemperatur oder der Luftgeschwindigkeit kann dazu beitragen, die relativ großen Unterschiede zwischen individuellen Anforderungen auszugleichen, und so zu weniger Unzufriedenen führen.

Eine Anpassung der Bekleidung kann ebenfalls zum Ausgleichen individueller Unterschiede beitragen. Die Wirkung, die ein Hinzufügen (oder Entfernen) von verschiedenen 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, die sich im Raum aufhalten, abhängig ist. Bild A.1 zeigt für drei der vier Kategorien die optimale operative Temperatur und den zulässigen Temperaturbereich als eine Funktion der Bekleidung und der Aktivität. Die optimale operative Temperatur ist für die drei Kategorien gleich, während der zulässige Bereich um die optimale operative Temperatur herum variiert.

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 verursacht werden.

Bild A.1 gilt für eine relative Luftfeuchte von 50 %; bei einem gemäßigten Umgebungsklima hat die Luftfeuchte jedoch nur einen geringen Einfluss auf das Temperaturempfinden. In der Regel wird bei einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte um 10 % der gleiche Wärmeanstieg wahrgenommen wie bei einer Erhöhung der operativen Temperatur um 0,3 °C.

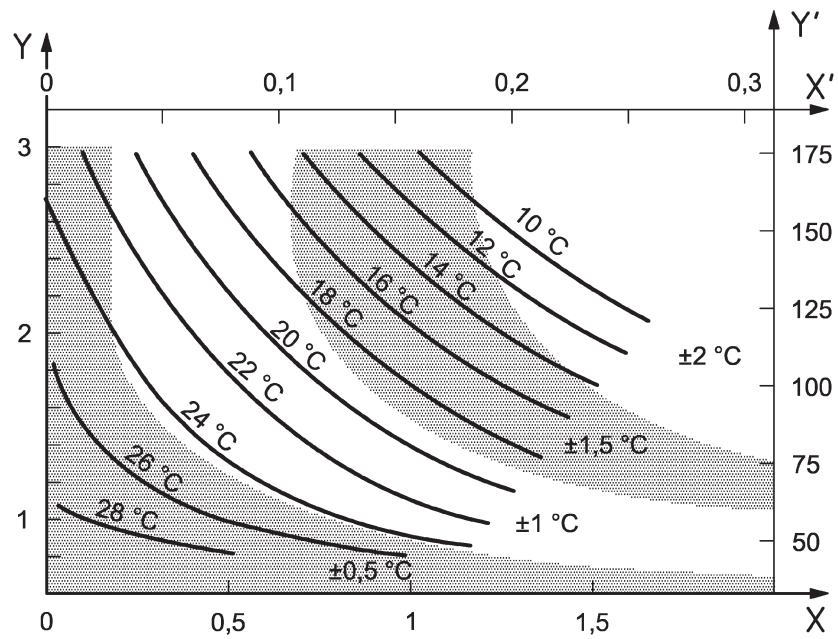
Die PD in Tabelle A.1 sind nicht additiv. In der Praxis kann eine höhere oder geringere Anzahl an Unzufriedenen auftreten, wenn in Feldstudien subjektive Fragebögen genutzt werden (siehe ISO 10551).

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

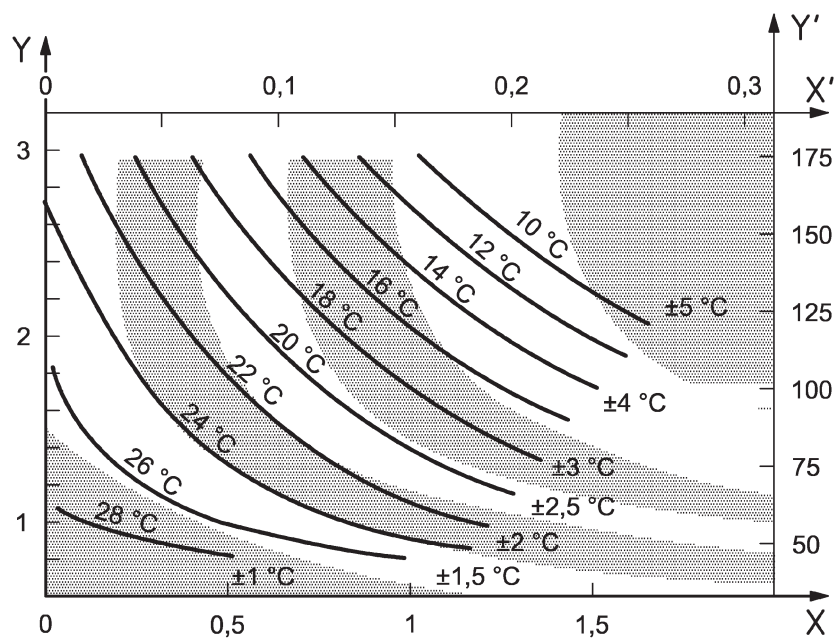
A.3 Lokale thermische Behaglichkeit

Bild A.2 zeigt für die drei Kategorien nach Tabelle A.1 Bereiche für die thermische Behaglichkeit im Zusammenhang mit dem Luftzug an.

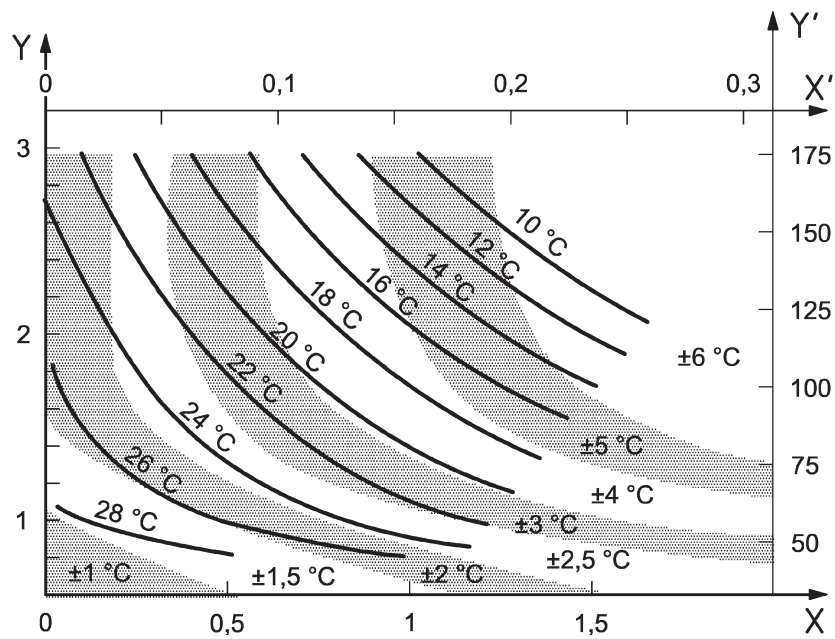
Die höchstzulässige mittlere Luftgeschwindigkeit ist eine Funktion der lokalen Lufttemperatur und des Turbulenzgrades. Der Turbulenzgrad darf in Räumen mit Mischstrom-Luftverteilung zwischen 30 % und 60 % schwanken. In Räumen mit Verdrängungslüftung oder ohne mechanische Belüftung darf der Turbulenzgrad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



Kategorie I: PPD < 6 %



Kategorie II: PPD < 10 %



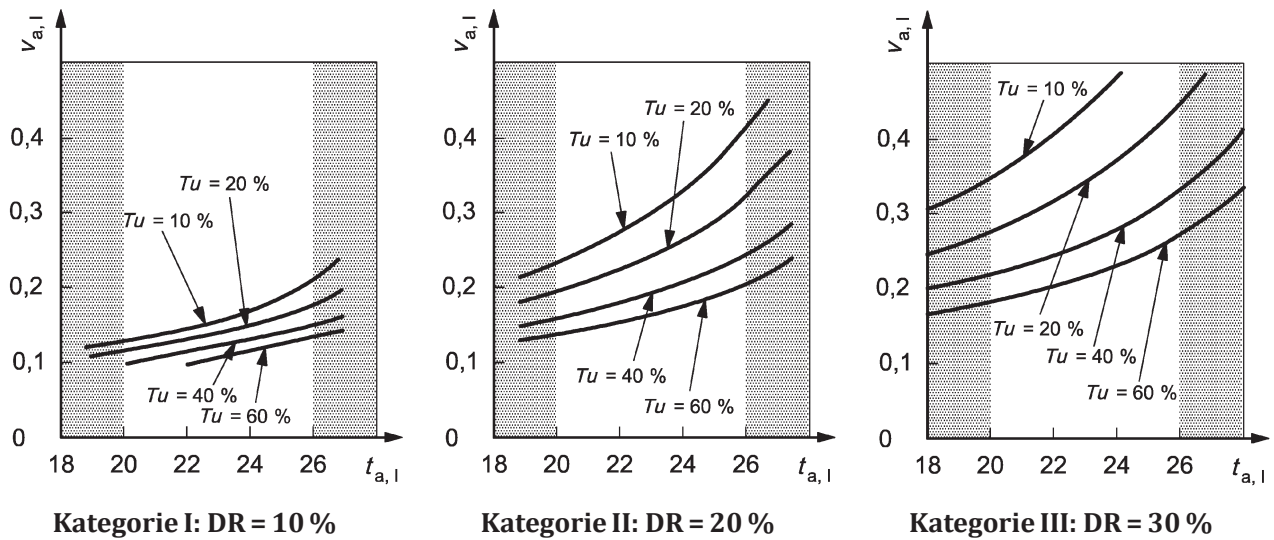
Kategorie III: PPD < 15 %

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

Legende

- X Grundwert der Bekleidungsisolations, in Bekleidungseinheiten (clo)
- X' Grundwert der Bekleidungsisolations, in Bekleidungseinheiten, $m^2 \cdot ^\circ C/W$
- Y Energieumsatz, in metabolischen Einheiten (met)
- Y' Energieumsatz, in metabolischen Einheiten, W/m^2
- PPD vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, in %

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



Legende

$t_{a,l}$ lokale Lufttemperatur, in °C
 $\bar{v}_{a,l}$ mittlere Luftgeschwindigkeit, in m/s
 Tu Turbulenzen, %

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

Tabelle A.2, Tabelle A.3 und Tabelle A.4 enthalten Werte für die lokale thermische Behaglichkeit bezogen auf den vertikalen Temperaturunterschied, den warmen/kalten Fußboden und die Asymmetrie der Strahlungstemperatur.

Tabelle A.2 — Vertikaler Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fußgelenken

Kategorie	Vertikaler Lufttemperaturunterschied ^a °C
I	< 2
II	< 3
III	< 4

^a 1,1 m und 0,1 m über dem Fußboden.

Tabelle A.3 — Fußbodentemperaturbereich

Kategorie	Temperaturbereich der Fußbodenoberfläche °C
I	19 bis 29
II	19 bis 29
III	17 bis 31

Tabelle A.4 — Asymmetrie der Strahlungstemperatur

Kategorie	Asymmetrie der Strahlungstemperatur			
	°C			
	Warme Decke	Kühle Wand	Kühle Decke	Warme Wand
I	< 5	< 10	< 14	< 23
II	< 5	< 10	< 14	< 23
III	< 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 Aktivitätsgraden bei einer Bekleidung von 0,5 clo im Sommer (Kühlperiode) und 1,0 clo im Winter (Heizperiode). Die Kriterien für die mittlere Luftgeschwindigkeit gelten für einen Turbulenzgrad von etwa 40 % (Mischlüftung). Die Gestaltungskriterien gelten für die angegebenen Belegungsbedingungen, könnten aber auch für weitere Raumarten mit ähnlicher Nutzung anwendbar sein.

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

Gebäude-/ Raumtyp	Aktivität	Kategorie	Operative Temperatur		Maximale mittlere Luftgeschwindigkeit ^a	
			°C		m/s	
			Sommer (Kühlperiode)	Winter (Heizperiode)	Sommer (Kühlperiode)	Winter (Heizperiode)
Einzelbüro	1,2 met 70 W/m ²	I	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
Bürolandschaft		II	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
Konferenzraum		III	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21 ^b
Vortragssaal		IV	24,5 ± 3,5	22,0 ± 4,0		
Cafeteria/ Restaurant	1,4 met 81 W/m ²	I	23,5 ± 1,5	20,5 ± 2,0	0,11	0,10 ^b
Klassenzimmer		II	23,5 ± 2,0	20,5 ± 3,0	0,18	0,15 ^b
		III	23,5 ± 3,0	20,5 ± 4,0	0,23	0,19 ^b
		IV	23,5 ± 4,0	20,5 ± 5,0		
Kaufhaus	1,6 met 93 W/m ²	I	23,0 ± 1,5	20,0 ± 2,0	0,16	0,13 ^b
stehend/gehend		II	23,0 ± 2,0	20,0 ± 3,0	0,20	0,15 ^b
		III	23,0 ± 3,0	20,0 ± 4,0	0,23	0,18 ^b
		IV	23,0 ± 4,0	20,0 ± 5,0		

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

^b Unterhalb der Grenze von 20 °C (siehe Bild A.2).