

DIN EN ISO 7726

ICS 13.040.20

Ersatz für
DIN EN ISO 7726:2002-04**Umgebungsklima –
Instrumente zur Messung physikalischer Größen (ISO 7726:1998);
Deutsche Fassung EN ISO 7726:2001**

Ergonomics of the thermal environment –
Instruments for measuring physical quantities (ISO 7726:1998);
German version EN ISO 7726:2001

Ergonomie des ambiances thermiques –
Appareils de mesure des grandeurs physiques (ISO 7726:1998);
Version allemande EN ISO 7726:2001

Gesamtumfang 69 Seiten

DIN-Normenausschuss Ergonomie (NAErg)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 7726:2001) 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 deutsche Normungsgremium ist der Gemeinschaftsarbeitskreis NA 023-00-05 GA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NAErg/NAM: Ergonomie der physikalischen Umgebung“ im DIN-Normenausschuss Ergonomie (NAErg).

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

ISO 7730:1994	siehe	DIN EN ISO 7730:1995-09
ISO/TR 11979:1993	siehe	DIN V ENV ISO 11079:1998-05

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 27726:1993-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Norm wurde vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN ISO 7726:2002-04 wurden folgende Korrekturen vorgenommen:

- a) in 4.1.5 wurde im ersten Absatz die interne Verweisung geändert in Anhang E;
- b) für die Gleichungen (2), (10), (11), (14) bis (16), (20) sowie für die Gleichung in B.5.2 wurde die Erläuterung zu σ korrigiert;
- c) die Gleichungen (5), (25), (27) sowie die Gleichungen in B.2.2 nach der Gleichung (9) und die Gleichungen in B.5.3 wurden korrigiert;
- d) in B.4.2 wurde im 4. Absatz die interne Verweisung geändert in Tabelle B.1;
- e) umfassende Überarbeitung der deutschen Sprachfassung.

Frühere Ausgaben

DIN EN 27726: 1993-12
DIN EN ISO 7726: 2002-04

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7730:1995-09, *Gemäßigtes Umgebungsklima — Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit (ISO 7730:1994); Deutsche Fassung EN ISO 7730:1995*

DIN V ENV ISO 11079:1998-05, *Bewertung von Kälteumgebungen — Bestimmung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) (ISO/TR 11079:1993); Deutsche Fassung ENV ISO 11079:1998*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Umgebungsklima —
Instrumente zur Messung physikalischer Größen
(ISO 7726:1998)

Ergonomics of the thermal environment —
Instruments for measuring physical quantities
(ISO 7726:1998)

Ergonomie des ambiances thermiques —
Appareils de mesure des grandeurs physiques
(ISO 7726:1998)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 10. Mai 2001 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, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Allgemeines	6
3.1 Behaglichkeits- und Belastungsbedingungen	6
3.2 Physikalische Größen zur Beschreibung der Umgebung	7
3.2.1 Einführung	7
3.2.2 Physikalische Grundgrößen	7
3.2.3 Abgeleitete physikalische Größen	7
4 Messinstrumente	8
4.1 Messgrößen	8
4.2 Eigenschaften von Messinstrumenten	10
4.2.1 Eigenschaften von Instrumenten zur Messung von Grundgrößen	10
4.2.2 Eigenschaften integrierender Messinstrumente	11
5 Festlegungen zu Messverfahren	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Festlegungen zu Schwankungen der physikalischen Größen in der räumlichen Umgebung des Messobjekts	11
5.3 Festlegungen zu zeitlichen Schwankungen der physikalischen Größen	12
Anhang A (informativ) Messung der Lufttemperatur	18
A.1 Einleitung	18
A.2 Grundsätze für die Temperaturmessung	18
A.3 Anwendungshinweise für Messung mit einem Thermometer	18
A.3.1 Minderung des Strahlungseinflusses	18
A.3.2 Thermische Trägheit des Messwertaufnehmers	19
A.4 Arten von Temperaturmesswertaufnehmern	20
Anhang B (informativ) Messung der mittleren Strahlungstemperatur	21
B.1 Einleitung	21
B.2 Messung der mittleren Globe-Temperatur	21
B.2.1 Beschreibung des Globe-Thermometers	21
B.2.2 Grundsätze für die Messung	22
B.2.3 Besondere Hinweise bei Anwendung eines Globe Thermometers	25
B.3 Andere Messverfahren	27
B.3.1 Zweikugelradiometer	27
B.3.2 Konstantlufttemperatur-Messwertaufnehmer	27
B.4 Verfahren zur Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur	28
B.4.1 Berechnung aus der Temperatur der umgebenden Flächen	28
B.4.2 Berechnung auf der Grundlage der Flächenstrahlungstemperatur	29
B.5 Andere Größen zur Beschreibung des Wärmestrahlungsaustausches	30
B.5.1 Allgemeines	30
B.5.2 Absolute Bestrahlungsstärke	30
B.5.3 Effektive Bestrahlungsstärke	30
Anhang C (informativ) Messung der Flächenstrahlungstemperatur	37

C.1	Einleitung	37
C.2	Messung der Flächenstrahlungstemperatur	37
C.2.1	Aus einer reflektierenden und einer absorbierenden Scheibe bestehender erwärmter Messwertaufnehmer	37
C.2.2	Konstantlufttemperaturscheibe	38
C.3	Verfahren zur Messung der Flächenstrahlungstemperatur und der Asymmetrie unter Einsatz des Effektivradiometers	38
C.3.1	Beschreibung des Effektivradiometers	38
C.3.2	Messung	38
C.4	Verfahren zur Berechnung der Flächenstrahlungstemperatur	40
Anhang D (informativ) Messung der absoluten Luftfeuchte		46
D.1	Einleitung	46
D.2	Thermohygrometrische Eigenschaften feuchter Luft	46
D.2.1	Allgemeines	46
D.2.2	Absolute Luftfeuchte	46
D.2.3	Relative Luftfeuchte	47
D.2.4	Direkte Bestimmung der thermohygrometrischen Eigenschaften feuchter Luft mit Hilfe eines psychometrischen Diagramms	48
D.3	Bauarten von Hygrometern	49
D.3.1	Taupunkthygrometer — Funktionsprinzip	49
D.3.2	Leitfähigkeitshygrometer	49
D.3.3	Absorptionshygrometer (Haarhygrometer) — Funktionsprinzip	49
D.3.4	Psychrometer — Funktionsprinzip	49
D.4	Messung der absoluten Luftfeuchte mittels Psychrometrie	49
D.4.1	Beschreibung und Grundsätze des Verfahrens	49
D.4.2	Direkte Bestimmung der absoluten Luftfeuchte mit Hilfe eines Psychrometer- Diagramms	51
D.4.3	Anwendungshinweise	52
D.5	Messung der Feuchte mittels Lithiumchloridhygrometer	53
D.5.1	Beschreibung und Grundsätze des Verfahrens	53
D.5.2	Anwendungshinweise	55
Anhang E (informativ) Messung der Luftgeschwindigkeit		56
E.1	Einleitung	56
E.2	Genauigkeit von Luftgeschwindigkeitsmessungen	56
E.3	Anemometerarten	56
E.4	Heißkugelanemometer	57
E.4.1	Allgemeines	57
E.4.2	Beschreibung und Messprinzip	57
E.4.3	Anwendungshinweise	58
Anhang F (informativ) Messung der Oberflächentemperatur		60
F.1	Einleitung	60
F.2	Kontaktthermometer	60
F.3	Infrarot-Radiometer	60
Anhang G (informativ) Messung der operativen Raumtemperatur		62
G.1	Einleitung	62
G.2	Direkte Messung der operativen Raumtemperatur	62
G.3	Berechnung der operativen Raumtemperatur auf der Grundlage der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur	63
Anhang H (informativ) Literaturhinweise		64
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen		65

Vorwort

Der Text dieser Internationalen Norm vom Technischen Komitees ISO/TC 159 „Ergonomics“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 122 „Ergonomie“ als Europäische Norm übernommen, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 27726:1993.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2002, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2002 zurückgezogen werden.

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

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, Tschechische Republik, und das Vereinigte Königreich.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm ISO 7726:1998 wurde von CEN als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

ANMERKUNG Die normativen Verweisungen auf Internationale Normen sind im Anhang ZA (normativ) aufgeführt.

Einleitung

Diese Norm ist Teil einer Reihe Internationaler Normen zur Untersuchung von thermischen Umgebungen.

Diese Reihe Internationaler Normen behandeln insbesondere:

- die Erarbeitung von Definitionen für die zu benutzenden Begriffe für die Messverfahren, die Prüfung oder die Auswertung, wobei bereits bestehende oder in Erarbeitung befindliche Normen berücksichtigt werden;
- das Festlegen von Verfahren zur Messung der physikalischer Größen, die thermische Umgebungen bestimmen;
- die Auswahl eines oder mehrerer Verfahren zur Auswertung der Parameter;
- die Festlegung empfohlener Werte oder Höchstwerte für Expositionszeiten in thermischen Umgebungen in Behaglichkeits- oder extremen (heißen oder kalten) Bereichen;
- die Festlegung von Verfahren zur Messung der Wirksamkeit von Vorrichtungen oder Prozessen zum individuellen oder kollektiven Schutz gegen Wärme oder Kälte.

Es dürfen Messinstrumente mit einer in dieser Internationalen Norm festgelegten oder höheren Genauigkeit verwendet werden.

Die Beschreibung oder Nennung bestimmter Instrumente in den Anhängen stellt lediglich eine Empfehlung dar, da ihre Eigenschaften vom Messprinzip, von ihrem Aufbau und von der Art ihrer Anwendung abhängen können. Ein Vergleich der Qualität der aktuell marktüblichen Instrumente obliegt den Anwendern, ebenso wie die Prüfung auf Übereinstimmung der Instrumente mit den Festlegungen dieser Internationalen Norm.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt die Mindestanforderungen an Instrumente zur Messung physikalischer Größen zur Beschreibung einer thermischen Umgebung sowie Verfahren zur Messung der physikalischen Größen dieser Umgebung fest.

Zweck der Norm ist es hingegen nicht, einen einheitlichen Index für die Behaglichkeit oder die thermische Belastung zu definieren, sondern lediglich das Verfahren zu normen, mit dem die Daten zur Bestimmung solcher Indizes erfasst werden können. In anderen Internationalen Normen werden die Verfahren detailliert beschrieben, die auf den mit dieser Norm ermittelten Daten basieren.

Diese Internationale Norm dient als Referenz bei der Erarbeitung

- a) von Festlegungen für Hersteller und Benutzer von Instrumenten zur Messung der physikalischen Größen der Umgebung;
- b) eines schriftlichen Vertrags zwischen zwei Parteien für die Messung dieser Größen.

Sie gilt für die Auswirkung heißer, neutraler, angenehmer oder kalter Umgebungen auf den Menschen.

2 Normative Verweisungen

Die folgende Norm enthält Festlegungen, die, durch Verweisung in diesem Text, Bestandteil dieser Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überprüfung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Norm angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

ISO 7730:1994, *Moderate thermal environments — Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*

3 Allgemeines

3.1 Behaglichkeits- und Belastungsbedingungen

Die Festlegungen und Verfahren in dieser Internationalen Norm wurden nach dem Grad des zu untersuchenden, durch die thermische Umgebung verursachten thermischen Empfindens in zwei Klassen unterteilt.

Die Festlegungen und Verfahren der Klasse C beziehen sich auf Messungen in neutralen Umgebungen, in dem annähernd Behaglichkeitsbedingungen vorherrschen (Behaglichkeitsbereich).

Die Festlegungen und Verfahren der Klasse S beziehen sich auf Messungen in Umgebungen mit erhöhter oder sogar extremer thermischer Belastung (Hitzebereich).

Die Festlegungen und Verfahren für jede dieser Klassen wurden unter Berücksichtigung der praktischen Umstände bei Messungen vor Ort und des Leistungsvermögens der aktuell handelsüblichen Messinstrumente festgelegt.

3.2 Physikalische Größen zur Beschreibung der Umgebung

3.2.1 Einführung

Die Bestimmung einheitlicher Indices für die Behaglichkeit oder die thermische Belastung setzt die Kenntnis der physikalischen Größen im Zusammenhang mit der Umgebung voraus. Diese lassen sich nach dem Grad der Abhängigkeit von der Umgebung in zwei Gruppen unterteilen.

3.2.2 Physikalische Grundgrößen

Jede der physikalischen Grundgrößen beschreibt einen der Aspekte der Umgebung, unabhängig von den anderen. Sie werden häufig zur Festlegung der Indices für die Behaglichkeit oder die thermische Belastung auf der Basis einer vereinfachten Erstellung der Wärmebilanz für einen Menschen in einer gegebenen thermischen Umgebung herangezogen. Diese Größen sind die folgenden:

- a) Lufttemperatur in Kelvin (T_a) oder Grad Celsius (t_a);
- b) mittlere Strahlungstemperatur in Kelvin ($\bar{T}_r$) oder Grad Celsius ($\bar{t}_r$); Flächenstrahlungstemperatur in Kelvin (T_{pr}) oder Grad Celsius (t_{pr}); Flächen-Bestrahlungsstärke in Watt je Quadratmeter;
- c) absolute Luftfeuchte, ausgedrückt als Partialdruck des Wasserdampfes (p_a) in Kilopascal;
- d) Luftgeschwindigkeit (v_a), in Meter je Sekunde;
- e) Oberflächentemperatur in Kelvin (T_s) oder Grad Celsius (t_s).

Die Beziehungen zwischen diesen Größen und den verschiedenen Wärmegewinnen und -verlusten in Bezug auf den menschlichen Körper zeigt Tabelle 1, die darüber hinaus vier weitere Größen angibt, die im weiteren Teil dieser Internationalen Norm nicht angewandt werden, da sie normalerweise nicht gemessen, sondern anhand von Tabellenwerten geschätzt werden.

ANMERKUNG Das Modell der mittleren Strahlungstemperatur ermöglicht die Untersuchung des Austausches von Strahlungen zwischen Mensch und Umgebung. Es basiert auf der Annahme, dass die Wirkungen der realen Umgebung, die im Allgemeinen heterogen ist, auf den Menschen und diejenigen einer gedachten, als homogen betrachteten Umgebung, identisch sind. Gilt diese Annahme nicht, besonders bei asymmetrischer Strahlung, sollten der Strahlungsaustausch, der durch thermisch unterschiedliche Bereiche entsteht, und deren Auswirkungen auf den Menschen mit Hilfe des Ansatzes der Flächenstrahlungstemperatur ebenfalls untersucht werden.

3.2.3 Abgeleitete physikalische Größen

Die abgeleiteten physikalischen Größen dienen zur Beschreibung einer Gruppe von Faktoren der Umgebung, die entsprechend den Eigenschaften der verwendeten Messwertaufnehmer gewichtet sind. Sie werden häufig zur Festlegung eines Index für die Behaglichkeit oder die thermische Belastung auf empirischer Grundlage herangezogen, ohne dass dabei ein vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung der verschiedenen Formen des Wärmeaustausches zwischen dem menschlichen Körper und den thermischen Umgebungen, dem sich daraus ergebenden thermischen Gleichgewicht und der physiologischen Beanspruchung zum Einsatz kommt. Einige dieser abgeleiteten Größen sind in gesonderten zutreffenden Normen beschrieben, die auch Anforderungen an die Messung beinhalten.

4 Messinstrumente

4.1 Messgrößen

4.1.1 Die Lufttemperatur ist die Temperatur der den Menschen umgebenden Luft (siehe Anhang A).

4.1.2 Die mittlere Strahlungstemperatur ist die gleichmäßige Temperatur eines gedachten Hüllraumes, in dem die strahlungsbedingte Wärmeübertragung vom menschlichen Körper weg ebenso groß ist wie die in dem realen inhomogenen Hüllraum.

Die mittlere Strahlungstemperatur kann mit Instrumenten gemessen werden, die die im Allgemeinen heterogene Strahlung der Wände eines realen Hüllraumes zu einem Mittelwert zusammenfassen (siehe Anhang B).

Das Globe-Thermometer ist ein Instrument, das häufig eingesetzt wird, um einen Näherungswert für die mittlere Strahlungstemperatur zu bestimmen. Grundlage bilden dabei die zeitgleich ermittelten Werte für die Kugeltemperatur, t_g , sowie die der Temperatur und Geschwindigkeit der die Kugel umgebenden Luft.

Die Messgenauigkeit bei der Anwendung dieses Instruments hängt stark vom Typ der betrachteten Umgebung und der Genauigkeit bei der Messung der Kugeltemperatur sowie der Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit ab. Weicht die ermittelte Messgenauigkeit von den in dieser Internationalen Norm angegebenen Grenzwerten ab, so ist diese anzugeben.

Die mittlere Strahlungstemperatur wird in Bezug auf den menschlichen Körper definiert. Die Kugelform des Globe-Thermometers stellt eine sinnvolle Näherung an die Umrisse einer sitzenden Person dar. Allerdings kommt ein Messwertaufnehmer in Form eines Ellipsoids den Umrissen des menschlichen Körpers sowohl in aufrechter als auch in sitzender Stellung näher.

Die mittlere Strahlungstemperatur kann auch aus den gemessenen Temperaturwerten der umgebenden Wände, deren Größe und ihrer Lage in Bezug auf den Menschen (Berechnung geometrischer Winkelfaktoren) errechnet werden (siehe Anhang B).

Die mittlere Strahlungstemperatur kann auch aus den Werten der Flächenstrahlungstemperatur abgeschätzt werden. Hierzu werden die Werte der sechs Raumrichtungen gemäß den Projektionsflächen einer Person gewichtet. In ähnlicher Weise kann sie durch Messung der Bestrahlungsstärke der verschiedenen Raumrichtungen abgeschätzt werden.

Es dürfen auch andere Messeinrichtungen oder Berechnungsverfahren angewendet werden, die eine Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur mit der in den folgenden Unterabschnitten festgelegten Genauigkeit erlauben.

4.1.3 Die Flächenstrahlungstemperatur ist die gleichmäßige Temperatur eines Hüllraumes, in dem die Bestrahlungsstärke auf einer Seite eines kleinen ebenen Elements gleich derjenigen in der tatsächlichen, heterogenen Umgebung ist.

Als Instrument zur Messung dieser Größe wird häufig das sogenannte Effektivradiometer angewandt (siehe Anhang C). Es ermöglicht die Bestimmung der Flächenstrahlungstemperatur aus der Effektivstrahlung, die zwischen Umgebung und Oberflächenelement ausgetauscht wird, und der Oberflächentemperatur des Radiometers.

Ein Radiometer mit einem Messwertaufnehmer mit je einer (polierten) reflektierenden und absorbierenden Scheibe (schwarz angestrichen) kann ebenfalls angewendet werden.

Die Flächenstrahlungstemperatur kann auch aus den Oberflächentemperaturen der Umgebung und den Winkelfaktoren zwischen Oberflächen und dem ebenen Element errechnet werden (siehe Anhang C).

Die Strahlungstemperaturasymmetrie ist der Unterschied zwischen der Flächenstrahlungstemperatur von zwei gegenüberliegenden Seiten eines kleinen ebenen Elements (siehe Definition der Flächenstrahlungstemperatur).

Das Konzept der Strahlungstemperaturasymmetrie wird angewendet, wenn die mittlere Strahlungstemperatur die Strahlungsverhältnisse in der Umgebung nicht vollständig beschreibt, z. B. wenn es sich um Strahlung aus entgegengesetzten Teilen eines Raumes mit deutlichen Temperaturunterschieden handelt.

Das asymmetrische Strahlungsfeld wird über seine Lage relativ zu der des ebenen Elementes beschrieben, das als Bezug dient. Es ist daher notwendig, die Lage dieses Elementes genau durch Angabe seiner Lage zu der Senkrechten zu beschreiben.

Die Strahlungstemperaturasymmetrie wird aus den in entgegengesetzten Richtungen gemessenen Werten der Flächenstrahlungstemperatur gemessen oder berechnet.

Es dürfen auch andere Messeinrichtungen oder Verfahren angewendet werden, die eine Messung oder Berechnung der Strahlungstemperaturasymmetrie bzw. der Flächenstrahlungstemperatur mit der in dieser Norm festgelegten Genauigkeit erlauben.

4.1.4 Die absolute Luftfeuchte macht eine Aussage über den tatsächlichen Wasserdampfgehalt der Luft. Demgegenüber beschreiben Größen wie die relative Luftfeuchte oder der Sättigungsgrad die Wasserdampfmenge in der Luft bezogen auf die maximale mögliche Wasserdampfmenge, die die Luft bei gegebener Temperatur und gegebenem Druck aufnehmen kann.

Für den Wärmeaustausch zwischen dem Menschen und der Umgebung über die Verdunstung ist die absolute Luftfeuchte zu berücksichtigen. Dieser Zusammenhang wird häufig über den Partialdruck des Wasserdampfes ausgedrückt.

Der Partialdruck des Wasserdampfes in einer Mischung aus feuchter Luft ist der Druck des Wasserdampfes in dieser Mischung, den dieser ausüben würde, wenn er allein bei gleicher Temperatur das Volumen der feuchten Luft einnähme.

Die absolute Luftfeuchte kann direkt (mit Taupunktinstrumenten, Elektrolytinstrumenten) oder indirekt durch gleichzeitige Messung mehrerer Größen (relative Luftfeuchte und Lufttemperatur; psychrometrische Feuchttemperatur und Lufttemperatur) bestimmt werden (siehe Anhang D).

Das Psychrometer ist ein häufig zur Messung der Luftfeuchte verwendetes Gerät. Mit ihm lässt sich die absolute Luftfeuchte aus den für die Lufttemperatur (t_a) und die Psychrometerfeuchttemperatur (t_w) gemessenen Werten bestimmen. Die Messgenauigkeit dürfte nur bei hoher Gerätegüte und bei strenger Einhaltung der beim Gebrauch notwendigen Vorkehrungen den in dieser Norm geforderten Festlegungen entsprechen.

Es dürfen auch andere Messeinrichtungen angewendet werden, die eine Bestimmung der absoluten Luftfeuchte mit der in dieser Norm festgelegten Genauigkeit erlauben.

4.1.5 Die Luftgeschwindigkeit ist eine Größe, die durch ihre Stärke und Richtung definiert ist. Die im Zusammenhang mit thermischen Umgebungen zu betrachtende Größe ist die Geschwindigkeit der Luft, d. h. die Stärke des Geschwindigkeitsvektors des Luftzugs am betrachteten Messpunkt (siehe Anhang E).

Die Luftgeschwindigkeit, v_a , verändert sich über der Zeit an jedem Punkt eines Raumes und es empfiehlt sich, auch die Geschwindigkeitsveränderungen aufzuzeichnen. Ein Luftzug kann über seine mittlere Geschwindigkeit, v_a , definiert als die durchschnittliche Geschwindigkeit über ein Zeitintervall (Messperiode), und über die Standardabweichung der Geschwindigkeit, SD, beschrieben werden. Diese bestimmt sich aus folgender Gleichung:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_{a_i} - v_a)^2}$$

Dabei ist

v_{a_i} die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt „i“ der Messperiode.

Der Turbulenzgrad, TU, des Luftzuges ist definiert als der Quotient aus der Standardabweichung und der mittleren Geschwindigkeit und wird in der Regel in Prozent angegeben.

$$TU = \frac{SD}{v_a} \times 100$$

4.1.6 Die Oberflächentemperatur ist die Temperatur einer gegebenen Oberfläche. Sie wird benötigt, um den Strahlungswärmeaustausch mit dem menschlichen Körper, beschrieben über die mittlere Strahlungstemperatur und/oder die Flächenstrahlungstemperatur, zu bewerten. Sie wird auch verwendet, um die Auswirkungen eines direkten Kontaktes zwischen dem menschlichen Körper und einer Oberfläche zu bewerten. Die Oberflächentemperatur kann nach dem Verfahren in Anhang F, gemessen werden; zu unterscheiden ist hier:

- das Kontaktthermometer, bei dem der Messwertaufnehmer in direktem Kontakt mit der Oberfläche steht. Der Messwertaufnehmer kann dabei den Wärmefluss an dem zu messenden Punkt ändern und so das Ergebnis beeinflussen;
- der Infrarot-Messwertaufnehmer, dabei wird der Wärmestrahlungsfluss an der Oberfläche gemessen und in eine Temperaturangabe umgesetzt. Dies kann jedoch vom Emissionsvermögen der Oberfläche beeinflusst werden.

4.2 Eigenschaften von Messinstrumenten

4.2.1 Eigenschaften von Instrumenten zur Messung von Grundgrößen

Messbereiche, Messgenauigkeit und 90-%-Einstellzeiten von Messwertaufnehmern zur Messung der jeweiligen Grundgrößen sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Diese Eigenschaften sind als Mindestanforderungen anzusehen. Je nach Bedarf und Fertigungsmöglichkeiten lassen sich höhere Anforderungen aufstellen. So können bei sehr genauen Messungen der thermischen Belastung für gewisse Größen Instrumente mit einem Messbereich der Klasse S und der Genauigkeit der Klasse C erforderlich sein.

Im Sinne dieser Internationalen Norm ist die Zeitkonstante eines Messwertaufnehmers diejenige Zeit, die bei einer stufenförmigen Änderung der Umgebungsgröße eine Messgröße am Ausgang des Messwertaufnehmers bis zum Erreichen von 63 % ihres stationären Endwertes (ohne Überspringen) benötigt. Aus der Zeitkonstante kann die Einstellzeit errechnet werden, die in der Praxis diejenige Zeit ist, nach der der gemessene Wert (z. B. Temperatur des Thermometers) als genügend nah am genauen Wert der zu messenden Größe (z. B. Lufttemperatur) anzusehen ist. Eine 90-%-Einstellzeit wird nach der 2,3fachen Zeitkonstante erreicht. Es muss mit der Messung mindestens so lange gewartet werden, bis die Einstellzeit verstrichen ist.

Da Zeitkonstante und Einstellzeit eines Messwertaufnehmers nicht allein vom Messwertaufnehmer (Masse, Fläche, Vorhandensein einer Schutzhülle) abhängen, sondern auch von der Umgebung und damit von den Umständen einer bestimmten Messung (Luftgeschwindigkeit, Strahlung usw.), müssen die Bedingungen angegeben werden, unter denen die Werte ermittelt wurden. Die Normbedingungen für die Umgebung sind in Tabelle 3 (Klassen C und S) festgelegt. Sie sind als Grundlage für die Messungen heranzuziehen, sofern dies nicht den bei der Messung bestimmter Größen zu beachtenden Prinzipien widerspricht.

Darüber hinaus hängt die Genauigkeit bei der Messung von Lufttemperatur, mittlerer Strahlungstemperatur, Strahlungstemperaturasymmetrie, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte noch von anderen Einflussgrößen ab. Folglich ist die in Tabelle 2 festgelegte Genauigkeit unter den in der Tabelle festgelegten Umgebungsbedingungen zu erreichen.

4.2.2 Eigenschaften integrierender Messinstrumente

Bei Messinstrumenten, die mehrere veränderliche Größen gleichzeitig messen, müssen der zeitliche Abstand der einzelnen Messungen, die Einstellzeit und Genauigkeit mindestens denjenigen für die einzelnen veränderlichen Größen entsprechen.

5 Festlegungen zu Messverfahren

5.1 Allgemeines

Die Verfahren zur Messung der physikalischen Größen der Umgebung müssen berücksichtigen, dass diese sowohl räumlich wie zeitlich schwanken.

Die thermische Umgebung kann sich in horizontaler Richtung verändern und es muss berücksichtigt werden, wie lange eine Person an verschiedenen Orten arbeitet. Die Umgebung kann auch in vertikaler Richtung veränderlich sein, wie dies in 5.2 behandelt wird.

5.2 Festlegungen zu Schwankungen der physikalischen Größen in der räumlichen Umgebung des Messobjekts

Eine Umgebung kann unter bioklimatischen Gesichtspunkten als homogen angesehen werden, wenn zu einem bestimmten Zeitpunkt Lufttemperatur, Strahlung, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte um das Messobjekt herum als praktisch gleich anzusehen sind, d. h. wenn die Abweichung jeder der Größen bezogen auf ihren ortsbezogenen Mittelwert, berechnet aus den Einzelwerten der Messorte, nicht größer ist als das X-fache der erforderlichen Messgenauigkeit wie sie in Tabelle 2 angegeben ist. Der Wert X ist dabei aus Tabelle 4 abzulesen. Diese Forderung lässt sich für Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte häufig einhalten, seltener jedoch für die Strahlung.

Bei zu heterogener Umgebung sind die Klimagrößen an verschiedenen Punkten am oder in der Nähe des Messobjektes zu messen und die Teilergebnisse zur Ermittlung der bei der Untersuchung der Behaglichkeitsbedingungen bzw. der Belastungsbedingungen betrachteten mittleren Größen heranzuziehen. Bereits vorliegende Analysen der thermischen Belastung an bestimmten oder vergleichbaren Arbeitsplätzen können wichtige Hinweise bezüglich der Gleichmäßigkeit der Verteilung bestimmter Größen geben. Üblicherweise wird bei Innenräumen oder Arbeitsplätzen, die nur unzureichend abgegrenzt sind, nur ein begrenzter Bereich betrachtet, in dem die Behaglichkeits- oder Belastungsbedingungen einzuhalten sind. In Streitfällen bei der Datenauswertung sind die Ergebnisse der Messungen, die unter der Prämisse einer heterogenen Umgebung durchgeführt wurden, zum Vergleich heranzuziehen.

In Tabelle 5 sind Höhen der Punkte genannt, an denen die Klimagrundgrößen zu messen sind. Ebenfalls angegeben sind die Wichtungsfaktoren zur Bestimmung der Mittelwerte dieser Größen in Abhängigkeit von der Art der Umgebung und der Klasse der Festlegungen bezüglich der Messungen.

Die Wahl der Messpunkthöhen für die abgeleiteten Größen muss sich dabei vorzugsweise an den Angaben in Tabelle 5 orientieren. Flächen- und mittlere Strahlungstemperatur sowie die absolute Feuchte werden in der Regel nur in der mittleren Höhe gemessen. Jedoch ist hierbei die Norm zu beachten, in der die Indizes für thermische Belastung oder Behaglichkeit definiert sind und die Vorrang vor dieser Internationalen Norm hat.

Die verschiedenen Messwertaufnehmer sind in den Höhen entsprechend Tabelle 5 anzuordnen, dort, wo die Person üblicherweise arbeitet. Ist eine Unterbrechung der ausgeführten Tätigkeit nicht möglich, so sind die Messwertaufnehmer so anzuordnen, dass der sich ergebende Wärmeaustausch mehr oder weniger demjenigen zwischen Person und Umgebung entspricht (diese Besonderheit der Messung ist im Prüfbericht zu vermerken).

5.3 Festlegungen zu zeitlichen Schwankungen der physikalischen Größen

Die Klimagrößen im Bereich der untersuchten Person können zeitlichen Schwankungen unterworfen sein, und zwar aus den folgenden beiden Gründen:

- a) bei einer bestimmten Tätigkeit können die Klimagrößen aufgrund äußerer Einflüsse schwanken, wie sie beispielsweise bei einer Tätigkeit in der Industrie vom Fertigungsprozess herrühren;
- b) die Klimagrößen können auch dadurch schwanken, dass sich eine Person in verschiedenen Umgebungen bewegt (z. B. eine warme Umgebung an einer Maschine und eine angenehme Umgebung in einem Ruhebereich).

Eine Umgebung gilt bezogen auf das Messobjekt als „stationär“, wenn die angewendeten physikalischen Größen zur Beschreibung der thermischen Belastung der Person praktisch unabhängig von der Zeit sind, d. h., wenn die zeitlichen Schwankungen dieser Größen bezogen auf deren Mittelwert nicht größer ist als das X-fache der erforderlichen Messgenauigkeit wie sie in Tabelle 2 angegeben ist. Der Wert X ist dabei aus Tabelle 4 abzulesen.

Es sollte in diesem Zusammenhang beachtet werden, dass auch die anderen zur Beschreibung der Wärmebelastung dienenden Größen (Stoffwechselrate, energetischer Wirkungsgrad, Isolationswert der Kleidung) zeitlich schwanken können.

Kann eine Umgebung bezogen auf das Messobjekt nicht als „stationär“ betrachtet werden, sollten die wesentlichen zeitlichen Schwankungen der Klimagrößen notiert werden. Diese Information wird in anderen Normen dieser Reihe benötigt, um einen allgemeinen Behaglichkeitsindex oder thermischen Belastungsindex zu bestimmen. Die Messdauer und die Auswertung der Daten ist abhängig von dem eingesetzten Index für die thermische Behaglichkeit bzw. für die thermische Belastung. Diese Information ist in der entsprechenden Norm zu finden.

Tabelle 1 — Wichtigste unabhängige Größen für die Untersuchung des thermischen Gleichgewichts zwischen dem Menschen und dem Umgebungsklima

In die Wärmebilanz eingehende Faktoren	Größen							
	t_a	$\bar{t}_r$	v_a	p_a	l_{cl}	R_{cl}	M	W
	Lufttemperatur	Mittlere Strahlungstemperatur	Luftgeschwindigkeit	Absolute Luftfeuchte (Partialdruck des Wasserdampfes)	Isolationswert der Bekleidung	Widerstand der Kleidung gegen Wasserdampfdurchtritt	Stoffwechselrate	Externe Arbeit
Wärmeproduktion des Körpers, $M - W$							X	X
Wärmeübertragung durch Strahlung, R		X			X			
Konvektive Wärmeübertragung, $C^{1)}$	X		X		X			
Wärmeverlust durch Verdunstung: — über die Haut, E — durch Atmung, E_{res}			X	X X		X	X	
Konvektion durch Atmung, C_{res}	X						X	
¹⁾ Wärmeübertragung durch Konvektion wird auch durch Körperbewegung beeinflusst. Die resultierende Luftgeschwindigkeit auf der Hautoberfläche wird als relative Luftgeschwindigkeit v_{ar} bezeichnet. Die Wärmeübertragung durch direkten Kontakt (Oberflächentemperatur) hat lediglich einen begrenzten Einfluss auf die Wärmebilanz.								

Tabelle 2 — Eigenschaften von Messinstrumenten

Klima- größe	Formel zeichen	Klasse C (Behaglichkeitsbedingungen)			Klasse S (Thermische Belastung)			Bemerkungen
		Mess- bereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	Messbereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	
Lufttem- peratur	t_a	10 °C bis 40 °C	Mindestwert: $\pm 0,5$ °C Idealwert: $\pm 0,2$ °C Diese Werte müssen mindestens für eine Differenz $ t_r - t_a $ von 10 °C eingehalten werden.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.	−40 °C bis +120 °C	Mindestwerte: −40 °C bis 0 °C: $\pm(0,5 + 0,01) t_a $ °C >0 °C bis 50 °C: $\pm 0,5$ °C >50 °C bis 120 °C: $\pm[0,5 + 0,04 (t_a - 50)]$ °C Idealwert = $\frac{\text{Mindestwert}}{2}$ Diese Werte müssen mindestens für eine Abweichung $ t_r - t_a $ von 20 °C eingehalten werden.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instru- ment ange- geben werden.	Der Temperatur- messwertaufneh- mer muss wirksam vor Strahlung von warmen oder kalten Wänden geschützt werden. Der Mittelwert über 1 min sollte ebenso angegeben werden.
Mittlere Strahlungs- temperatur	$\bar{t}_r$	10 °C bis 40 °C	Mindestwert: ± 2 °C Idealwert: $\pm 0,2$ °C In bestimmten Fällen sind mit den handelsüblichen Instrumenten diese Werte nur mit großen Schwierigkeiten oder sogar überhaupt nicht einzuhalten; im letzteren Fall ist die erreichte Messgenauigkeit anzugeben.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.	−40 °C bis +150 °C	Mindestwerte: −40 °C bis 0 °C: $\pm(5 + 0,02 t_a)$ °C > 0 °C bis 50 °C: ± 5 °C > 50 °C bis 150 °C: $\pm[5 + 0,08 (t_r - 50)]$ °C Idealwerte: −40 °C bis 0 °C: $\pm(0,5 + 0,01 t_r)$ °C > 0 °C bis 50 °C: ± 5 °C > 50 °C bis 150 °C: $\pm[0,5 + 0,04 (t_r - 50)]$ °C	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instru- ment ange- geben werden.	Bei Messung mit einer schwarzen Kugel kann je nach Umgebungs-klima und der Fehler- grenzen für v_a , t_a und t_g die Messun- genauigkeit ± 5 °C (Klasse C) bzw. ± 20 °C (Klasse S) betragen.

Klima- größe	Formel zeichen	Klasse C (Behaglichkeitsbedingungen)			Klasse S (Thermische Belastung)			Bemerkungen
		Mess- bereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	Messbereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	
Flächen- strahlungs- temperatur	t_{pr}	0 °C bis 50 °C	Mindestwert: $\pm 0,5$ °C Idealwert: $\pm 0,2$ °C Diese Werte müssen mindestens für eine Differenz $ t_{pr} - t_a < 10$ °C eingehalten werden.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.	0 °C bis 200 °C	Mindestwert: –60 °C bis 0 °C: $\pm(1 + 0,1 t_{pr})$ °C 0 °C bis 50 °C: ± 1 °C 50 °C bis 200 °C: $\pm[1 + 0,1 (t_{pr} - 50)]$ °C Idealwert = $\frac{\text{Mindestwert}}{2}$ Diese Werte müssen mindestens für eine Abweichung $ t_{pr} - t_a < 20$ °C eingehalten werden.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instru- ment angegeben werden.	
Luft- geschwin- digkeit	v_a	0,05 m/s bis 1 m/s	Mindestwert: $\pm(0,05 + 0,05 v_a)$ m/s Idealwert: $\pm(0,02 + 0,07 v_a)$ m/s Diese Werte sind unabhängig von der Strömungsrichtung für einen Raumwinkel von (:) = 3π sr einzuhalten.	Mindestwert: 0,5 s Idealwert: 0,2 s	0,2 m/s bis 20 m/s	Mindestwert: $\pm(0,1 + 0,05 v_a)$ m/s Idealwert: $\pm(0,05 + 0,05 v_a)$ m/s Diese Werte sind unabhängig von der Strömungsrichtung für einen Raumwinkel von (:) = 3π sr einzuhalten.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instru- ment angege- ben werden. Zur Messung des Turbulenz- grades ist eine möglichst geringe Einstellzeit erforderlich.	Außer bei einer gerichteten Luft- strömung muss der Messwertauf- nehmer unabhän- gig von der Strömungsrich- tung die Geschwindigkeit messen. Der Mittelwert und die Standardabwei- chung über ein Messintervall von 3 min sollte ebenfalls angegeben werden.

Klima- größe	Formel- zeichen	Klasse C (Behaglichkeitsbedingungen)			Klasse S (Thermische Belastung)			Bemerkungen
		Mess- bereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	Messbereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	
Absolute Luftfeuchte, ausgedrückt als Partial- druck des Wasser- dampfes	p_a	0,5 kPa bis 3,0 kPa	$\pm 0,15$ kPa Dieser Wert muss bei einer Differenz von $ t_r - t_a $ von mindestens 10 °C eingehalten werden.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.	0,5 kPa bis 6,0 kPa	$\pm 0,15$ kPa Dieser Wert muss bei einer Differenz von $ t_r - t_a $ von mindestens 20 °C einge- halten werden.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instru- ment angege- ben werden.	
Ober- flächen- temperatur	t_s	0 °C bis 50 °C	Mindestwert: ± 1 °C Idealwert: $\pm 0,5$ °C	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.	-40 °C bis + 120 °C	Mindestwert: < -10 °C: $\pm [1 + 0,05 (-t_s - 10)]$ -10 °C bis 50 °C: ± 1 °C > 50 °C: $\pm [1 + 0,05 (t_s - 50)]$ Idealwert = $\frac{\text{Mindestwert}}{2}$	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instru- ment angege- ben werden.	
Gerichtete Strahlung	r_d	-35 W/m ² bis 35 W/m ²	± 5 W/m ²	Mindestwert: 1,0 s Idealwert: 0,5 s	-300 W/m ² bis + 100 W/m ² 100 W/m ² bis 1 000 W/m ² 1 000 W/m ² bis 2 500 W/m ²	± 5 W/m ² ± 10 W/m ² ± 15 W/m ²	Mindestwert: 1,0 s Idealwert: 0,5 s	
ANMERKUNG An einigen Arbeitsplätzen in heißen Umgebungsklimata (Stahl-, Kohle-, Glasindustrie) kann es erforderlich sein, dass die Flächenstrahlungstemperatur und/oder die Oberflächentemperatur über dem hier angegebenen Messbereiches liegt. Die Hersteller von Messinstrumenten müssen die Messgenauigkeit auch in diesen erweiterten Bereichen angeben.								

Tabelle 3 — Standardumgebungsbedingungen zur Bestimmung der Zeitkonstanten der Messwertaufnehmer

Messung der Einstellzeit der Messwertaufnehmer	Standardumgebungsgröße			
	t_a	$\bar{t}_r$	p_a	v_a
Lufttemperatur		$= t_a$	irgendeine	$< 0,15 \text{ m/s}$
Mittlere Strahlungstemperatur	$= \bar{t}_r$		irgendeine	$< 0,15 \text{ m/s}$
Absolute Luftfeuchte	$= 20 \text{ °C}$	$= t_a$		Ist entsprechend dem Messverfahren vorzugeben
Luftgeschwindigkeit	$= 20 \text{ °C}$	$= t_a$	irgendeine	
Flächenstrahlungstemperatur	$= 20 \text{ °C}$	$= t_a$	irgendeine	$< 0,15 \text{ m/s}$
Oberflächentemperatur	$= 20 \text{ °C}$	$= t_a$	irgendeine	$< 0,15 \text{ m/s}$

Tabelle 4 — Kriterien für eine homogene und stabile Umgebung

Messgröße	Klasse C (Behaglichkeitsbedingungen) Faktor X	Klasse S (thermische Belastung) Faktor X
Lufttemperatur	3	4
Mittlere Strahlungstemperatur	2	2
Strahlungstemperaturasymmetrie	2	3
Mittlere Luftgeschwindigkeit	2	3
Wasserdampfdruck	2	3

ANMERKUNG Die Abweichung zwischen jeder Messgröße und ihrem Mittelwert muss geringer sein als der Wert, der sich durch Multiplikation der erforderlichen Messgenauigkeit (entsprechend Tabelle 2) und dem entsprechenden Faktor X dieser Tabelle ergibt.

Tabelle 5 — Anordnung der Messwertaufnehmer bei Messung der Größen einer Umgebung

Anordnung der Messwertaufnehmer	Gewichtungsfaktoren von Messungen zur Berechnung der Mittelwerte				Empfohlene Höhe (Anhaltswerte)	
	Homogene Umgebung		Heterogene Umgebung		Sitzend	Stehend
	Klasse C	Klasse S	Klasse C	Klasse S		
Kopfhöhe			1	1	1,1 m	1,7 m
Unterleibshöhe	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Knöchelhöhe			1	1	0,1 m	0,1 m