

	Umgebungsklima Instrumente zur Messung physikalischer Größen (ISO 7726:1998) Deutsche Fassung EN ISO 7726:2001	DIN EN ISO 7726
ICS 13.040.20	Ersatz für DIN EN 27726:1993-12 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 Die Europäische Norm EN ISO 7726:2001 hat den Status einer Deutschen Norm. Fortsetzung 60 Seiten EN Normenausschuss Ergonomie (FNErg) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.	

– 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	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Allgemeines	6
3.1 Behaglichkeits- und Belastungsbedingungen	6
3.2 Physikalische Größen zur Beschreibung des Umgebungsklimas (Klimagrößen)	6
3.2.1 Einführung	6
3.2.2 Klimagrundgrößen	6
3.2.3 Abgeleitete Klimagrößen	7
4 Messinstrumente	7
4.1 Messgrößen	7
4.2 Eigenschaften von Messinstrumenten	9
4.2.1 Eigenschaften von Instrumenten zur Messung von Grundgrößen	9
4.2.2 Eigenschaften integrierender Messinstrumente	10
5 Angaben zu Messverfahren	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Angaben zu Schwankungen der physikalischen Größen in der räumlichen Umgebung des Messobjekts	10
5.3 Angaben zu zeitlichen Schwankungen der physikalischen Größen	10
Anhang A (informativ) Messung der Lufttemperatur	17
A.1 Einleitung	17
A.2 Grundsätze für die Temperaturmessung	17
A.3 Anwendungshinweise für Messung mit einem Thermometer	17
A.3.1 Minderung des Strahlungseinflusses	17
A.3.2 Thermische Trägheit des Messwertaufnehmers	18
A.4 Arten von Temperaturmesswertaufnehmern	19
Anhang B (informativ) Messung der mittleren Strahlungstemperatur	20
B.1 Einleitung	20
B.2 Messung der mittleren Strahlungstemperatur mittels geschwärzter Hohlkugel	20
B.2.1 Beschreibung des Kugel-Thermometers	20
B.2.2 Grundsätze für die Messung	20
B.2.3 Besondere Hinweise bei Anwendung eines Kugel-Thermometers	24
B.3 Andere Messverfahren	25
B.3.1 Zweikugelradiometer	25
B.3.2 Konstantlufttemperatur-Messwertaufnehmer	26
B.4 Verfahren zur Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur	26
B.4.1 Berechnung aus der Temperatur der umgebenden Flächen	26
B.4.2 Berechnung auf der Grundlage der Flächenstrahlungstemperatur	27
B.5 Andere Größen zur Beschreibung des Wärmestrahlungsaustausches	28
B.5.1 Allgemeines	28
B.5.2 Absolute Bestrahlungsstärke	28
B.5.3 Effektive Bestrahlungsstärke	28
Anhang C (informativ) Messung der Flächenstrahlungstemperatur	34
C.1 Einleitung	34
C.2 Messung der Flächenstrahlungstemperatur	34
C.2.1 Aus einer reflektierenden und einer absorbierenden Scheibe bestehender erwärmter Messwertaufnehmer	34
C.2.2 Konstantlufttemperaturscheibe	35
C.3 Verfahren zur Messung der Flächenstrahlungstemperatur und der Asymmetrie unter Einsatz des Effektivradiometers	35
C.3.1 Beschreibung des Effektivradiometers	35
C.3.2 Messung	37
C.4 Verfahren zur Berechnung der Flächenstrahlungstemperatur	37

Anhang D (informativ) Messung der absoluten Luftfeuchte	41
D.1 Einleitung	41
D.2 Thermohygrometrische Eigenschaften feuchter Luft	41
D.2.1 Allgemeines	41
D.2.2 Absolute Luftfeuchte	41
D.2.3 Relative Luftfeuchte	42
D.2.4 Direkte Bestimmung der thermohygrometrischen Eigenschaften feuchter Luft mit Hilfe eines psychometrischen Diagramms	43
D.3 Bauarten von Hygrometern	44
D.3.1 Taupunkthygrometer – Funktionsprinzip	44
D.3.2 Leitfähigkeitshygrometer	44
D.3.3 Absorptionshygrometer (Haarhygrometer) – Funktionsprinzip	44
D.3.4 Psychrometer – Funktionsprinzip	44
D.4 Messung der absoluten Luftfeuchte mittels Psychrometrie	44
D.4.1 Beschreibung und Grundsätze des Verfahrens	44
D.4.2 Direkte Bestimmung der absoluten Luftfeuchte mit Hilfe eines Psychrometer-Diagramms	46
D.4.3 Anwendungshinweise	47
D.5 Messung der Feuchte mittels Lithiumchloridhygrometer	48
D.5.1 Beschreibung und Grundsätze des Verfahrens	48
D.5.2 Anwendungshinweise	51
Anhang E (informativ) Messung der Luftgeschwindigkeit	52
E.1 Einleitung	52
E.2 Genauigkeit von Luftgeschwindigkeitsmessungen	52
E.3 Anemometerarten	52
E.4 Heißkugelanemometer	53
E.4.1 Allgemeines	53
E.4.2 Beschreibung und Messprinzip	53
E.4.3 Anwendungshinweise	54
Anhang F (informativ) Messung der Oberflächentemperatur	56
F.1 Einleitung	56
F.2 Kontaktthermometer	56
F.3 Infrarot-Radiometer	56
Anhang G (informativ) Messung der operativen Raumtemperatur	58
G.1 Einleitung	58
G.2 Direkte Messung der operativen Raumtemperatur	58
G.3 Berechnung der operativen Raumtemperatur auf der Grundlage der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur	59
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	60
Literaturhinweise	60

Vorwort

Der Text der Internationalen Norm vom Technischen Komitee ISO/TC 159 „Ergonomics“ der International Organization for Standardization (ISO) wurde als Europäische Norm durch das Technische Komitee CEN/TC 122 „Ergonomie“ übernommen, dessen Sekretariat vom 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.

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, die 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 des Umgebungsklimas.

Diese Internationalen Normen haben folgende Zielsetzung:

- Erarbeiten von Begriffsfestlegungen, die die Messverfahren, Prüfung und Auswertung betreffen; dabei sollen auch bestehende oder in Arbeit befindliche Normen berücksichtigt werden;
- Festlegen von Verfahren zur Messung physikalischer Messgrößen, die das Umgebungsklima bestimmen;
- Festlegen eines oder mehrerer Auswertungsverfahren;
- Festlegen empfohlener Werte oder von Höchstwerten für Expositionszeiten in gemäßigtem und extremem (extrem warmem oder kaltem) Umgebungsklima;
- Beschreiben von Verfahren zur Messung der Wirksamkeit von Einrichtungen oder Verfahren zum individuellen oder kollektiven Schutz gegen Wärme und Kälte.

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

Die Beschreibung oder Nennung bestimmter Geräte in den Anhängen stellt lediglich eine Empfehlung dar, da ihre Eigenschaften vom Messprinzip, ihrem Aufbau und ihrer Anwendung abhängen. Ein Vergleich der Qualität der marktüblichen Messgeräte muss der Anwender selbst durchführen, ebenso die Prüfung auf Übereinstimmung der Geräte mit den Festlegungen dieser Norm.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt Mindestanforderungen an Instrumente zur Messung physikalischer Größen zur Beschreibung des Umgebungsklimas sowie Verfahren zur Messung dieser physikalischen Größen des Umgebungsklimas fest.

Zweck der Norm ist es hingegen nicht, einen einheitlichen Index für die Behaglichkeit oder die thermische Belastung anzugeben, sondern lediglich Verfahren zu normen, mit denen 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 Referenzquelle

- a) bei der Erarbeitung von Festlegungen für Hersteller und Benutzer von Instrumenten zur Messung von Klimagrößen;
- b) für vertragliche Vereinbarungen über die Messung von Klimagrößen.

Die Norm gilt für die Untersuchung der Auswirkung warmer, gemäßigter, angenehmer oder kalter Umgebungsklimata auf den Menschen.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

ISO 7730:1994, *Gemäßigtes Umgebungsklima – Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit*.

3 Allgemeines

3.1 Behaglichkeits- und Belastungsbedingungen

Die Anforderungen und Prüfverfahren in dieser Norm werden nach dem Grad des zu untersuchenden, durch das Umgebungsklima verursachten thermischen Empfindens in zwei Klassen unterteilt.

Die Anforderungen und Verfahren der Klasse C gelten für Messungen in gemäßigttem Umgebungsklima, in dem annähernd Behaglichkeitsbedingungen vorherrschen (Behaglichkeitsbereich).

Die Anforderungen und Verfahren der Klasse S gelten für Messungen in Umgebungsklimata mit erhöhter oder sogar extremer thermischer Belastung (Warm- und Hitzebereich).

Die Anforderungen und Verfahren für beide Klassen wurden unter Berücksichtigung der praktischen Umstände bei Messungen vor Ort und des Leistungsvermögens der heute handelsüblichen Messinstrumente festgelegt.

3.2 Physikalische Größen zur Beschreibung des Umgebungsklimas (Klimagrößen)

3.2.1 Einführung

Die Bestimmung einheitlicher Indizes für die Behaglichkeit oder die thermische Belastung setzt die Kenntnis der Klimagrößen voraus. Die Größen lassen sich nach dem Grad der Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen in zwei Gruppen unterteilen.

3.2.2 Klimagrundgrößen

Jede Klimagrundgröße beschreibt einen Aspekt des Umgebungsklimas und ist unabhängig von den anderen. Die Größen werden häufig zur Festlegung des Index für die Behaglichkeit oder die thermische Belastung auf der Basis einer vereinfachten Erstellung der Wärmebilanz für einen Menschen in einem gegebenen Umgebungsklima herangezogen.

Folgende Größen werden unterschieden:

- 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 die verschiedenen Wärmegewinne und -verluste in Bezug auf den menschlichen Körper zeigt Tabelle 1, die darüber hinaus vier weitere Größen angibt, welche in dieser Internationalen Norm ansonsten 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 einer 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 mit thermisch unterschiedlichen Bereichen und deren Auswirkungen auf den Menschen mit Hilfe des Ansatzes der Flächenstrahlungstemperatur ebenfalls untersucht werden.

1.1.3 Abgeleitete Klimagrößen

Die abgeleiteten Klimagrößen dienen zur Beschreibung einer bestimmten Gruppe von Faktoren, 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 dem Umgebungsklima, dem thermischen Gleichgewicht und der physiologischen Beanspruchung zum Einsatz kommt. Einige dieser abgeleiteten Größen sind in gesonderten Normen beschrieben, in denen auch Anforderungen an die Messung angegeben sind.

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 integrieren (siehe Anhang B).

Das Kugel-Thermometer ist ein Instrument, das 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 von der untersuchten Umgebung und der Genauigkeit bei der Messung der Kugeltemperatur sowie der Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit ab. Weicht die ermittelte Messgenauigkeit von den in dieser Norm angegebenen Grenzwerten ab, so ist dies anzugeben.

Die mittlere Strahlungstemperatur wird in Bezug auf den menschlichen Körper definiert. Die Kugelform des Kugel-Thermometers stelle 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 dieser Norm 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 so genannte Effektivradiometer angewandt (siehe Anhang C). Es ermöglicht die Bestimmung der Flächenstrahlungstemperatur aus der Effektivstrahlung, die zwischen Umgebung und ebenem Element ausgetauscht wird, und der Oberflächentemperatur des Radiometers.

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

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

Die Strahlungstemperaturasymmetrie ist der Unterschied zwischen den Werten 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 hinreichend 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. Die Lage dieses Elementes muss daher genau durch Angabe seiner Lage zu der Senkrechten beschrieben werden.

Die Strahlungstemperaturasymmetrie wird aus den in entgegengesetzten Richtungen gemessenen Werten der Flächenstrahlungstemperatur bestimmt 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 der in dieser Norm geforderten 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 dem Umgebungsklima zu betrachtende Größe ist die Geschwindigkeit der Luft, d. h. die Stärke des Geschwindigkeitsvektors des Luftzugs am betrachteten Messpunkt (siehe Anhang C).

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 Strahlungsaustausch zwischen dem menschlichen Körper und der Umgebung, beschrieben über die mittlere Strahlungstemperatur und/oder der 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 sind 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 Norm ist die Zeitkonstante eines Messwertaufnehmers diejenige Zeit, die bei einer stufenförmigen Änderung einer Klimagröße eine Messgröße am Ausgang des Messwertaufnehmers bis zum Erreichen von 63 % ihres stationären Endwertes (ohne Überschwingen) 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 das Umgebungsklima 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, Strahlungstemperatursymmetrie, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte noch von anderen Einflussgrößen ab. Folglich ist die in Tabelle 2 festgelegte Genauigkeit unter den in der Tabelle festgelegten Umweltbedingungen 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 Angaben zu Messverfahren

5.1 Allgemeines

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

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

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

Ein Umgebungsklima 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 heterogenem Umgebungsklima 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 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 eines heterogenen Umgebungsklimas 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 des Umgebungsklimas (homogen/heterogen) und der Verfahrensklasse (C oder S).

Die Wahl der Messpunkthöhen für die abgeleiteten Größen sollte sich dabei 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 Messwertaufnehmer sind in Höhe der Körperteile anzuordnen (siehe Tabelle 5), mit denen die körperliche Tätigkeit üblicherweise ausgeübt wird. Ist eine Unterbrechung der Tätigkeit der untersuchten Person 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 Angaben zu zeitlichen Schwankungen der physikalischen Größen

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

- a) bei einer bestimmten Tätigkeit können die Klimagrößen aufgrund äußerer Einflüsse schwanken, wie sie bei einer Tätigkeit in der Industrie vom Fertigungsprozess herrühren;

- b) die Klimagrößen können auch dadurch schwanken, dass sich eine Person von einem Umgebungsklima in ein anderes bewegt (z. B. Wechsel des Aufenthalts von einem warmen Klima an einer Maschine zu einem gemäßigten in einem Ruhebereich).

Ein Umgebungsklima 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 ein Umgebungsklima 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 sind 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

	Größen							
	t_a Luft- temperatur	$\bar{t}_r$ Mittlere Strahlungs- temperatur	v_a Luft- geschwindigkeit	p_a Absolute Luft- feuchte (Partialdruck des Wasserdampfes)	I_{cl} Isolationswert der Bekleidung	R_{cl} Widerstand der Kleidung gegen Wasserdampf- durchtritt	M Stoffwechsel- rate	W Externe Arbeit
Wärmeproduktion des Körpers, $M - W$							X	X
Wärmeübertragung durch Strahlung, R		X			X			
Konvektive Wärmeübertragung, C^a	X		X		X			
Wärmeverlust durch Verdunstung: – über die Haut, E – durch Atmung, E_{res}			X	X		X	X	
Konvektion durch Atmung, C_{res}	X						X	
^a 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

Klimagröße	Formelzeichen	Klasse C (Behaglichkeitsbedingungen)			Klasse S (Thermische Belastung)			Bemerkungen
		Messbereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	Messbereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	
Lufttemperatur	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 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 Instrument angegeben werden.	Der Temperaturmesswert aufnehmer muss wirksam vor Strahlung von warmen oder kalten Wänden geschützt werden. Der Mittelwert über 1 min sollte angegeben werden.
Mittlere Strahlungstemperatur	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 Instrument angegeben werden.	Bei Messung mit einer schwarzen Kugel kann je nach Umgebungsklima und der Fehlergrenzen für t_a , t_a und t_g die Messungenauigkeit ± 5 °C (Klasse C) bzw. ± 20 °C (Klasse S) betragen.

Tabelle 2 – Eigenschaften von Messinstrumenten (fortgesetzt)

Klimagröße	Formelzeichen	Klasse C (Behaglichkeitsbedingungen)			Klasse S (Thermische Belastung)			Bemerkungen
		Messbereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	Messbereich	Fehlergrenzen	Einstellzeit (90 %)	
Flächenstrahlungstemperatur	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 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 Instrument angegeben werden.	
Luftgeschwindigkeit	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 $(\cdot) = 3\pi$ 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 $(\cdot) = 3\pi$ sr einzuhalten.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden. Zur Messung des Turbulenzgrades ist eine möglichst geringe Einstellzeit erforderlich	Außer bei einer gerichteten Luftströmung muss der Messwertaufnehmer unabhängig von der Strömungsrichtung die Effektivgeschwindigkeit messen. Der Mittelwert und die Standardabweichung über ein Messintervall von 3 min sollten angegeben werden.

Tabelle 2 – Eigenschaften von Messinstrumenten (fortgesetzt)

Klimagröße	Formelzeichen	Klasse C (Behaglichkeitsbedingungen)			Klasse S (Thermische Belastung)			Bemerkungen
		Messbereich	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 eingehalten werden.	So kurz wie möglich. Muss als Kennwert für das Instrument angegeben werden.	
Oberflächen- 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 Instrument angegeben 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 1000 W/m ² 1000 W/m ² bis 2500 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 außerhalb des hier angegebenen Messbereiches liegt. Die Hersteller von Messinstrumenten sollten die Messgenauigkeit auch in diesen erweiterten Bereichen angeben.

Tabelle 3 – Standardklimabedingungen zur Bestimmung der Zeitkonstanten der Messwertaufnehmer

Standardklimagröße Messung der Einstellzeit der Messwertaufnehmer	t_a	$\bar{t}_r$	p_a	v_a
Lufttemperatur		$= t_a$	irgendeine	< 0,15 m/s
Mittlere Strahlungstemperatur	$\bar{t}_r$		irgendeine	< 0,15 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 m/s
Oberflächentemperatur	$= 20\text{ °C}$	$= t_a$	irgendeine	< 0,15 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 Klimagrößen

Anordnung der Messwertaufnehmer	Gewichtungsfaktoren von Messungen zur Berechnung der Mittelwerte				Empfohlene Höhe (Anhaltswerte)	
	Homogenes Umgebungs-klima		Heterogenes Umgebungs-klima		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

Anhang A (informativ)

Messung der Lufttemperatur

A.1 Einleitung

Bei der Untersuchung der Wärmeübertragung zwischen Mensch und Umgebung durch Konvektion ist die Lufttemperatur in Betracht zu ziehen. Die Messung dieser Größe erscheint zwar häufig als einfach, kann aber zu beträchtlichen Fehlern führen, wenn nicht gewisse Maßnahmen ergriffen werden.

A.2 Grundsätze für die Temperaturmessung

Eine Temperatur wird über die Messung physikalischer Größen, wie Länge von festen Körpern, Volumen von Flüssigkeiten, elektrischer Widerstand, elektromotorische Kraft, die stetige Funktionen sind, erfasst.

Unabhängig von der gemessenen Größe kann ein Messwertaufnehmer nur die Temperatur messen, die er selbst hat; diese Temperatur kann aber von der zu messenden Temperatur des Fluids (z. B. Luft) abweichen.

A.3 Anwendungshinweise für Messung mit einem Thermometer

A.3.1 Minderung des Strahlungseinflusses

Es ist darauf zu achten, dass das Thermometer nicht der Strahlung benachbarter Wärmequellen ausgesetzt wird, da die dann gemessene Temperatur nicht die wirkliche, sondern eine zwischen der Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur liegende Temperatur darstellt.

Folgende Maßnahmen mindern den Strahlungseinfluss auf das Thermometer:

- a) Reduzierung des Emissionsgrades des Messwertaufnehmers, durch Anwendung eines polierten Messwertaufnehmers, wenn dieser aus Metall ist, oder durch Aufbringen eines reflektierenden Farbanstrichs, wenn der Messwertaufnehmer aus einem Isolierstoff besteht.
- b) Minderung der Differenz zwischen den Temperaturen von Messwertaufnehmer und umgebenden Wänden. Da sich die Temperatur der Wände des umschließenden Raums nicht ändern lässt, werden ein oder mehrere reflektierende Schirme zwischen Messwertaufnehmer und Wänden angeordnet. Auf diese Weise ist der Messwertaufnehmer von einer Wand umgeben, die mit zunehmender Anzahl von Schirmen allmählich die Temperatur des Messwertaufnehmers annimmt. Dieses Verfahren zum Abschirmen des Messwertaufnehmers hat sich als wirksam erwiesen und lässt sich einfach durchführen.

Die Schirme lassen sich aus dünnem, reflektierenden (0,1 mm oder 0,2 mm) Metallfolien (z. B. Aluminium-Folien) herstellen. Werden die Schirme nicht zwangsbelüftet, ist der Abstand zwischen dem Messwertaufnehmer und dem am nächsten angeordneten Schirm so zu wählen, dass die Luftzirkulation durch natürlich Konvektion nicht behindert wird.

- c) Erhöhung des Wärmeübertragungskoeffizienten durch Konvektion, durch Erhöhung der Geschwindigkeit der den Messwertaufnehmer umgebenden Luft über eine Zwangsbelüftung (mittels mechanischem oder elektrischem Ventilator) und durch Verringerung der Größe des Messwertnehmers (Thermistor, Thermoelement).