

DIN EN ISO 7243



ICS 13.100

Ersatz für
DIN EN 27243:1993-12

**Ergonomie der thermischen Umgebung –
Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index (wet bulb globe
temperature) (ISO 7243:2017);
Deutsche Fassung EN ISO 7243:2017**

Ergonomics of the thermal environment –
Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index
(ISO 7243:2017);
German version EN ISO 7243:2017

Ambiances chaudes –
Estimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT
(température humide et de globe noir) (ISO 7243:2017);
Version allemande EN ISO 7243:2017

Gesamtumfang 28 Seiten

DIN-Normenausschuss Ergonomie (NAErg)



DIN EN ISO 7243:2017-12

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 7243:2017) 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 Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 023-00-05 GA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NAErg/NAM: Ergonomie der physikalischen Umgebung, ErgPhysU“ im DIN-Normenausschuss Ergonomie (NAErg).

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

ISO 7726:1998	siehe	DIN EN ISO 7726:2002-04
ISO 7933	siehe	DIN EN ISO 7933
ISO 8996:2004	siehe	DIN EN ISO 8996:2005-01
ISO 9886:2004	siehe	DIN EN ISO 9886:2004-05
ISO 9920:2007	siehe	DIN EN ISO 9920:2009-10
ISO 11399:1995	siehe	DIN EN ISO 11399:2001-04
ISO 12894:2001	siehe	DIN EN ISO 12894:2002-08
ISO 13731	siehe	DIN EN ISO 13731
ISO 15265:2004	siehe	DIN EN ISO 15265:2004-11

Änderungen

Gegenüber DIN EN 27243:1993-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Titel geändert;
- b) Anwendungsbereich erweitert;
- c) normative Verweisungen ergänzt;
- d) Aufbau und Struktur des Dokumentes vollständig überarbeitet;
- e) Begriffe ergänzt;
- f) Werte aktualisiert;
- g) redaktionelle Änderungen vorgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN EN 27243: 1993-12

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

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

DIN EN ISO 8996:2005-01, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes (ISO 8996:2004); Deutsche Fassung EN ISO 8996:2004*

DIN EN ISO 9886:2004-05, *Ergonomie — Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen (ISO 9886:2004); Deutsche Fassung EN ISO 9886:2004*

DIN EN ISO 9920:2009-10, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Abschätzung der Wärmeisolation und des Verdunstungswiderstandes einer Bekleidungskombination (ISO 9920:2007, Korrigierte Fassung 2008-11-01); Deutsche Fassung EN ISO 9920:2009*

DIN EN ISO 11399:2001-04, *Ergonomie des Umgebungsklimas — Grundlagen und Anwendung relevanter Internationaler Normen (ISO 11399:1995); Deutsche Fassung EN ISO 11399:2000*

DIN EN ISO 12894:2002-08, *Ergonomie des Umgebungsklimas — Medizinische Überwachung von Personen, die einer extrem heißen oder kalten Umgebung ausgesetzt sind (ISO 12894:2001); Deutsche Fassung EN ISO 12894:2001*

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

DIN EN ISO 15265:2004-11, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Strategie zur Risikobeurteilung zur Abwendung von Stress oder Unbehagen unter thermischen Arbeitsbedingungen (ISO 15265:2004); Deutsche Fassung EN ISO 15265:2004*

DIN EN ISO 7243:2017-12

— Leerseite —

Printed copies are uncontrolled

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN ISO 7243

September 2017

ICS 13.180

Ersatz für EN 27243:1993

Deutsche Fassung

**Ergonomie der thermischen Umgebung —
Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index
(wet bulb globe temperature)
(ISO 7243:2017)**

Ergonomics of the thermal environment —
Assessment of heat stress using the WBGT
(wet bulb globe temperature) index
(ISO 7243:2017)

Ambiances chaudes —
Estimation de la contrainte thermique de
l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT
(température humide et de globe noir)
(ISO 7243:2017)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 1. Juli 2017 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 CEN-CENELEC-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, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2017 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten.

Ref. Nr. EN ISO 7243:2017 D

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	3
Vorwort.....	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	6
4 Verfahren.....	7
5 Bestimmung der WBGT.....	8
6 Bestimmung des Energieumsatzes.....	9
7 Bestimmung der Auswirkungen von Kleidung.....	9
8 Zeitpunkt und Dauer der Messungen.....	10
8.1 Zeitpunkt der Messungen.....	10
8.2 Dauer der Messungen.....	10
9 Räumliche und zeitliche Änderungen.....	10
9.1 Messvorschriften in Bezug auf die Heterogenität der Umgebung (räumliche Änderungen).....	10
9.2 Messvorschriften in Bezug auf die zeitlichen Änderungen des WBGT-Index.....	10
9.3 Messvorschriften in Bezug auf die zeitlichen Änderungen des Energieumsatzes.....	11
9.4 Messvorschriften in Bezug auf die zeitlichen Änderungen der Kleidung.....	11
10 Interpretation.....	11
Anhang A (informativ) Richtwerte des WBGT-Wärmebelastungsindex.....	13
Anhang B (normativ) Messung von Parametern zur Bestimmung des WBGT-Index und Spezifikation der Messgeräte.....	15
B.1 Sensor zur Bestimmung der natürlichen Feuchttemperatur.....	15
B.2 Globetemperatursensor.....	15
B.3 Messung der Lufttemperatur.....	16
Anhang C (informativ) Alternative Globethermometer.....	17
Anhang D (informativ) Rechnerische Bestimmung der natürlichen Feuchttemperatur.....	19
Anhang E (informativ) Abschätzung des Energieumsatzes.....	21
Anhang F (informativ) Bekleidungsanpassungswerte (CAVs).....	22
Literaturhinweise.....	23

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 7243:2017) 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.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2018 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.

Dieses Dokument ersetzt EN 7243:1993.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 7243:2017 wurde von CEN als EN ISO 7243:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (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.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

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. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde erarbeitet durch das Technische Komitee ISO/TC 159, *Ergonomics*, Unterkomitee SC 5, *Ergonomics of the physical environment*.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 7243:1989), die technisch mit folgenden Änderungen überarbeitet wurde:

- in Anhang A werden zur Information in Bild A.1 zusätzliche Expositionsrichtwerte zusammen mit entsprechenden Gleichungen dargestellt;
- die Beurteilung der Wärmebelastung beinhaltet nun die Auswirkungen von Kleidung;
- die möglichen Fehler und Anpassungen von Nicht-Standard-Globetempertursensoren werden beschrieben;
- ein Verfahren zur rechnerischen Bestimmung der natürlichen Feuchttemperatur wird angegeben.

Einleitung

Diese Internationale Norm stellt ein Verfahren für die Beurteilung der Wärmebelastung bereit. Diese Norm ist eine aus einer Reihe von Normen, die für die Anwendung bei der Beurteilung des Umgebungsklimas vorgesehen ist. Dazu gehören Normen für die Beurteilung von Hitze-, Neutral- und Kältebereichen, die sowohl die Grundsätze der Beurteilung als auch deren praktische Anwendung enthalten.

Die Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) ist ein Index der Wärmebelastung, und dessen Wert repräsentiert das Umgebungsklima, dem eine Person ausgesetzt ist. Dieser Index ist in den meisten Umgebungen einfach zu bestimmen. Er sollte als ein Screening-Verfahren zum Feststellen des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins von Wärmebelastung betrachtet werden.

Ein Verfahren zur Abschätzung der thermischen Belastung, das auf einer Analyse des Wärmeaustauschs zwischen einer Person und der Umgebung basiert, ermöglicht eine genauere Abschätzung der Belastung und eine Analyse von Schutzmaßnahmen (siehe ISO 7933). Ein derartiges Verfahren sollte entweder direkt eingesetzt werden, wenn eine intensive Analyse der Arbeitsbedingungen bei Wärme gewünscht wird, oder zusätzlich zu dem in dieser Norm vorgestellten Verfahren angewendet werden, das auf dem WBGT-Index basiert, wenn die erhaltenen WBGT-Werte die angegebenen Richtwerte überschreiten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument stellt ein Screening-Verfahren zur Bewertung der Wärmebelastung vor, der eine Person ausgesetzt ist, sowie zum Feststellen des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins von Wärmebelastung.

Es gilt für die Bewertung der Wärmewirkung auf eine Person, die diese während ihrer Gesamtexposition über den Arbeitstag (bis zu 8 h) erfährt.

Es ist nicht bei sehr kurzen Wärmeexpositionen anwendbar.

Es gilt für die Beurteilung der Arbeitsumgebungen im Innen- und Außenbereich sowie anderer Arten von Umgebungen und für arbeitsfähige männliche und weibliche Erwachsene.

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 7933, *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain*

ISO 13731, *Ergonomics of the thermal environment — Vocabulary and symbols*

3 Begriffe

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

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Wet Bulb Globe Temperature

WBGT

einfacher Index der Umgebung, der zusammen mit dem Energieumsatz betrachtet wird, um das Potential der Wärmebelastung bei denjenigen zu beurteilen, die heißen Bedingungen ausgesetzt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Die WBGT setzt sich aus der Messung zweier abgeleiteter Parameter zusammen: der natürlichen Feuchttemperatur (t_{nw}) (en: natural wet bulb temperature) und der Globetemperatur (t_g) (en: globe temperature). Wo die Sensoren (Temperaturmessfühler) entweder im Freien oder im Innenraum durch direkt einfallende Sonneneinstrahlung beeinflusst werden, wird die Gewichtung der Globetemperatur durch Einbeziehung der Lufttemperatur (t_a) reduziert.

3.2**effektive Wet Bulb Globe Temperature****effektive WBGT****WBGT_{eff}**

an die Auswirkungen der Bekleidung angepasster WBGT-Wert

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert gibt die WBGT der Umgebung an, wenn die tatsächlich getragene Bekleidung äquivalent ist zu demjenigen Wert, wenn Standard-Arbeitskleidung getragen wird^{N1)} (Wärmeisolationsindex $I_{cl} = 0,6 \text{ clo}$, $i_m = 0,38$). Siehe ISO 9920.

3.3**Bekleidungsanpassungswert****CAV**

(en: clothing adjustment value)

Anpassungswert für den WBGT-Wert, um die Auswirkungen von Bekleidung zu berücksichtigen, die gegenüber der Standard-Arbeitskleidung unterschiedliche thermische Eigenschaften aufweist

4 Verfahren

Der Grad der Wärmebelastung, der eine Person ausgesetzt ist, hängt ab von

- a) den Eigenschaften der Umgebung, die die Wärmeübertragung zwischen der Umgebung und dem Körper bestimmen,
- b) der Erzeugung von Wärme im Körper als ein Ergebnis von körperlicher Tätigkeit und
- c) der getragenen Bekleidung, die den Wärmeaustausch mit der Umgebung verändert.

Eine detaillierte Analyse des Einflusses der Umgebung auf die Wärmebelastung erfordert Kenntnisse der folgenden vier grundlegenden Parameter: Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und absolute Luftfeuchte (ISO 7726). Eine Einschätzung dieses Einflusses kann jedoch durch Messung von Parametern erfolgen, die von diesen grundlegenden Parametern abgeleitet werden und eine Funktion der physikalischen Parameter der untersuchten Umgebung sind. Der WBGT-Index wird genutzt, um eine erste Näherung für die Wärmebelastung einer Person zu geben (siehe Abschnitt 5).

Die innere thermische Belastung resultiert aus der metabolischen Energie als Ergebnis von Aktivität. Der Umsatz der metabolischen Wärmeentwicklung wird in der Regel geschätzt (siehe Abschnitt 6).

Die Schwellenwerte für die Wärmebelastung gehen von einem langärmeligen Baumwollhemd und Baumwollhosen aus. Für andere Bekleidung muss eine Anpassung vorgenommen werden (siehe Abschnitt 7).

Dieses Verfahren zur Abschätzung der Wärmebelastung beruht auf der Beurteilung dieser unterschiedlichen Parameter und der Berechnung von Mittelwerten unter Berücksichtigung von Änderungen des Ortes, der Dauer und der Tätigkeit sowie der Änderungen über die Zeit (siehe Abschnitt 8).

Die genannten WBGT-Richtwerte (Expositionsrichtwerte) entsprechen dem Niveau einer Belastung, die über einen Zeitraum von bis zu 8 h erträglich ist.

N1) Nationale Fußnote: Uneindeutige Formulierung im ISO-Originaldokument. Gemeint ist hier:

Die WBGT_{eff} gibt für die tatsächlich getragene Bekleidung die WBGT der Umgebung an, die äquivalent ist zu demjenigen Wert, wenn Standard-Arbeitskleidung getragen wird.

Die durch das Verfahren erhaltenen WBGT-Werte werden mit WBGT-Richtwerten (Expositionsrichtwerten) verglichen. Wenn die Werte größer als die Richtwerte sind, steigt das Risiko wärmebedingter Beschwerden, und es wird entweder notwendig sein,

- direkt die Wärmebelastung oder -beanspruchung am Arbeitsplatz durch geeignete Verfahren zu verringern oder
- eine detaillierte Analyse der Wärmebelastung nach ISO 7933 vorzunehmen.

Es sollte beachtet werden, dass die in diesem Dokument beschriebenen Expositionsschwellen konzipiert wurden, um das Risiko wärmebedingter Erkrankungen zu reduzieren, und dass dies nicht die Möglichkeit von anderen Auswirkungen ausschließt, die mit Wärmebelastungen verbunden sind (z. B. Verbrennungs- und Unfallrisiken, Produktivitätsverlust oder Mangel an Komfort).

5 Bestimmung der WBGT

Formeln (1) und (2) stellen Gleichungen für die Berechnung der WBGT bereit und zeigen den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Parametern auf:

- ohne Sonneneinstrahlung:

$$\text{WBGT} = 0,7 t_{\text{nw}} + 0,3 t_{\text{g}} \quad (1)$$

- mit Sonneneinstrahlung:

$$\text{WBGT} = 0,7 t_{\text{nw}} + 0,2 t_{\text{g}} + 0,1 t_{\text{a}} \quad (2)$$

Die Globetemperatur beurteilt die Gesamtlast durch die Strahlungswärme der Sonne und anderer Quellen. Gleichung (2) berücksichtigt eine Überbewertung der direkten Strahlungswärme der Sonne (Sonneneinstrahlung). Das heißt, die Festlegungen dieses Dokuments gelten, wenn eine Belastung durch Strahlungswärme mit oder ohne direkte Sonneneinstrahlung vorhanden ist [Gleichungen (1) und (2)].

Die Richtwerte sind so gewählt, dass das Niveau der Wärmebelastung während der Gesamtexposition über den Arbeitstag (bis zu 8 h) ertragen werden könnte. Das Zeitintervall für die Analyse beträgt etwa 1 h, die repräsentativ für die Exposition ist. Wenn es in der Umgebung räumliche und/oder zeitliche Änderungen gibt, ist es notwendig, das Zeitintervall für jene Änderungen entsprechend 9.1 (räumliche Änderung) und 9.2 (zeitliche Änderung) anzupassen.

Anhang B führt die Anforderungen für Sensoren auf, die mit der Messung der WBGT verbunden sind.

ANMERKUNG 1 Bei den derzeit eingesetzten Sensoren der Messgeräte, die zur Bestimmung der WBGT eingesetzt werden, gibt es Unterschiede im Design. Die vorkommenden Designvarianten sind in Anhang C zusammen mit einer Diskussion über die Auswirkungen des Designs beschrieben, verglichen mit dem in diesem Dokument verwendeten und in Anhang B angegebenen Design.

ANMERKUNG 2 Das bevorzugte Verfahren für die Bestimmung von WBGT-Werten ist die direkte Messung mit den in Anhang B angegebenen Sensoren. Manchmal ist es jedoch von Interesse, die WBGT-Werte aus den vier Parametern Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, relative Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit zu berechnen (siehe Anhang C und Anhang D).

6 Bestimmung des Energieumsatzes

Die im Körper erzeugte Wärmemenge ist ein wichtiger Beitrag zur Wärmebelastung, und für die Beurteilung ist eine valide Schätzung essentiell. Der Energieumsatz, der die gesamte Energiemenge darstellt, die im Körper über die Zeit verbraucht wird, stellt in den meisten Situationen eine gute Schätzung dar (d. h., die verbrauchte Energie kann als die erzeugte Wärme angenommen werden, da die Energie für andere Funktionen wie zum Beispiel externe Arbeit in der Regel vergleichsweise vernachlässigbar ist).

Der Energieumsatz kann nach Anhang E als Ruhezustand, niedriger Energieumsatz, mittlerer Energieumsatz, hoher Energieumsatz oder sehr hoher Energieumsatz klassifiziert werden. Die in Tabelle E.1 angegebenen Werte beruhen auf kontinuierlicher Arbeit bei den beschriebenen Leistungsniveaus. Im Fall von wechselnder Arbeitsschwere muss eine zeitlich gewichtete Mittelwertbildung nach 9.3 vorgenommen werden.

Wenn eine detailliertere Schätzung erforderlich ist, sollten die in ISO 8996 beschriebenen Verfahren angewendet werden.

7 Bestimmung der Auswirkungen von Kleidung

Die in Anhang A bereitgestellten Richtwerte (Expositionsrichtwerte) wurden mit Arbeitskleidung aus Baumwolle (0,6 clo und $i_m = 0,38$) als Referenzkleidung entwickelt. Unterschiedliche Bekleidung, besonders mit einem unterschiedlichen Verdunstungswiderstand, wird wahrscheinlich eine unterschiedliche Wirkung auf die Höhe der Wärmebelastung haben. Für Bekleidungsmaterialien und Zusammenstellungen, die sich von der Standard-Arbeitskleidung unterscheiden, sind Bekleidungsanpassungswerte (CAV) in WBGT-Temperatureinheiten vorgesehen. Der CAV wird zum gemessenen WBGT-Wert addiert, um einen effektiven WBGT-Wert ($WBGT_{eff}$) zu bilden, der eine Schätzung der Wärmebelastung repräsentiert, die von der tatsächlich getragenen Kleidung in einer äquivalenten Umgebung ausgeht, d. h.

$$WBGT_{eff} = WBGT + CAV \quad (3)$$

Anhang F enthält eine Auflistung von CAVs. Es sollte bedacht werden, dass die Auswirkungen von Kleidung komplex sein können und dass der CAV eine einfache Anpassung und erste Näherung bezüglich der Berücksichtigung der Wärmebelastung einer Person darstellt, die anhand von Laborergebnissen bestimmt wurde.

Es kann ein Bekleidungsensemble geben, für das kein CAV unmittelbar bekannt ist. In diesem Fall darf die Schätzung mit Hilfe von Bekleidung mit ähnlichen thermischen Eigenschaften vorgenommen werden. Die thermischen Eigenschaften eines breiten Spektrums von Bekleidungsstücken sind in ISO 9920 aufgeführt.

Für Bekleidungsensembles, für die der CAV nicht ermittelt werden kann, darf dieses Dokument nicht angewendet werden, und es ist eine detaillierte Analyse der Wärmebelastung nach ISO 7933 durchzuführen.

Der CAV ist eine Abschätzung der Auswirkung des Tragens von Bekleidung, die sich von der „üblichen Arbeitskleidung“ unterscheidet, für welche die in Anhang A angegebenen Richtwerte ohne Anpassung für Kleidung gelten ($CAV = 0$). In der Regel steigt der CAV mit zunehmendem Verdunstungswiderstand (oder abnehmendem Permeabilitätsindex). Andere Auswirkungen sind Wärmestrahlung, Luftgeschwindigkeit, Körperbewegungen, Bekleidungskonfigurationen und Luftfeuchte. Von diesen wird der CAV stark durch eine Kombination von hohem Verdunstungswiderstand und Luftfeuchte beeinflusst. In diesem Fall, und wegen der sehr vereinfachten Art der Anpassung, sollte der CAV eine hoch angesetzte Schätzung sein, die einen Sicherheitsspielraum ermöglicht. Die Auswirkungen von Strahlungswärme auf den CAV sind nicht bekannt.

8 Zeitpunkt und Dauer der Messungen

8.1 Zeitpunkt der Messungen

Die Bestimmung des WBGT-Index erlaubt nur die Schätzung der Wärmebelastung, der ein Arbeiter zu dem Zeitpunkt ausgesetzt ist, zu dem die Messungen durchgeführt werden. Deshalb wird empfohlen, diese Messungen zu einem Zeitpunkt im Jahr durchzuführen, wenn Wärmebelastung am wahrscheinlichsten auftritt: während der heißen Sommermonate. Aus demselben Grund sollte als repräsentativer Zeitraum für die Wärmebelastung die Mitte des Tages oder der Zeitraum der Exposition, der am wahrscheinlichsten Wärmebelastung hervorruft, ausgewählt werden.

Wird die Arbeit im Laufe eines Tages in deutlich unterschiedliche Arten oder Kategorien unterteilt, kann es notwendig sein, separate Messungen und Beurteilungen der unterschiedlichen Arten von Arbeiten vorzunehmen.

BEISPIEL Dies ist der z. B. der Fall, wenn es sich in erster Linie um leichte Arbeiten am Morgen und schwere Arbeiten am Nachmittag handelt oder wenn sich die WBGT-Werte bei Zeiträumen von mehr als einer Stunde deutlich unterscheiden.

8.2 Dauer der Messungen

Eine Messung der WBGT ist über einen repräsentativen Zeitraum von etwa 1 h erforderlich. Die Dauer jeder Messung hängt von der Ansprechzeit des Sensors ab, die bei bestimmten Gegebenheiten beträchtlich sein kann (insbesondere bei der Globetemperatur). Für alle Sensorablesungen sollte vor der Erfassung der zur Ablesung gehörigen Werte ein Beharrungswert (en: steady-state value) erreicht werden. Die Gesamtdauer der Messung kann daher mehr als die eine Stunde betragen, die als Zeitbasis für die Analyse (siehe 9.2) eingesetzt wird.

Es ist möglich, Umgebungsmessungen mit hoher Auflösung zu erfassen (z. B. jede Sekunde oder Minute) und große Mengen an Daten in digitaler Form zu speichern.

Zeitkonstanten, Genauigkeit und Empfindlichkeit von Messgeräten beim Messen eines Parameters müssen berücksichtigt werden.

9 Räumliche und zeitliche Änderungen

9.1 Messvorschriften in Bezug auf die Heterogenität der Umgebung (räumliche Änderungen)

Normalerweise sollten die WBGT-Werte in Bauchhöhe (ISO 7726) derjenigen gemessen werden, die der Wärmebelastung ausgesetzt sind. Wenn die Parameter in dem Raum, der diese Personen umgibt, nicht homogen sind, sollte die Messung an der Stelle erfolgen, wo die Wärmebelastung am höchsten ist.

Falls es nicht möglich ist, die Sensoren am üblichen Arbeitsplatz zu platzieren, sollten diese dort angebracht werden, wo sie dem gleichen Einfluss der Umgebung ausgesetzt sind.

9.2 Messvorschriften in Bezug auf die zeitlichen Änderungen des WBGT-Index

Ergaben die Analysen der Umgebung und der Tätigkeit, dass ein Parameter über die Zeit keinen konstanten Wert zeigt, muss ein repräsentativer Mittelwert bestimmt werden.

Die genaueste Methode besteht in der Messung der kontinuierlichen Entwicklung dieser Parameter als Funktion der Zeit und der Ableitung des Mittelwerts daraus durch Integration. Da dieses Verfahren in vielen Fällen nur mit Schwierigkeiten angewendet werden kann, werden die Änderungen der einzelnen Parameter nach nahezu konstanten Niveaus klassifiziert. Der Mittelwert des in Betracht gezogenen Parameters wird

dann durch Gewichtung der Niveaus der verschiedenen Kategorien bezüglich der Gesamtzeit erzielt, während der jedes dieser Niveaus erhalten wurde.

Die Zeitbasis T für die Berechnung der Mittelwerte ist ein Zeitraum von etwa 1 h, die für die mögliche Wärmebelastung repräsentativ ist. Der Mittelwert eines Parameters p (z. B. Lufttemperatur, natürliche Feuchttemperatur, Globetemperatur oder WBGT im Fall der gleichzeitigen Messung der drei Umgebungsparameter), für die die Entwicklung als eine Funktion der Zeit in n Niveaus aufgeteilt wurde, wird deshalb durch Gleichung (4) ausgedrückt:

$$\bar{p} = \frac{(p_1 \times t_1) + (p_2 \times t_2) + \dots + (p_n \times t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (4)$$

Dabei ist p_1, p_2, \dots, p_n das Niveau der während einer Zeit t_1, t_2, \dots, t_n erhaltenen Parameter, mit

$$t_1 + t_2 + \dots = T = 1 \text{ h} \quad (5)$$

Die Anzahl der durchzuführenden Messungen hängt von der Änderungsgeschwindigkeit der Parameter, dem Ansprechverhalten der verwendeten Sensoren und der gewünschten Genauigkeit der Messung ab.

9.3 Messvorschriften in Bezug auf die zeitlichen Änderungen des Energieumsatzes

Gleichung (4) gilt für die Bestimmung des zeitlich gewichteten Mittelwerts des Energieumsatzes, der auf gemessenen oder aus Referenztabellen geschätzten Werten beruht. Der Energieumsatz wird in eine der fünf in Anhang E angegebenen Hauptklassen eingeordnet. Das mittlere Niveau des Energieumsatzes wird nach Gleichung (4) bestimmt, wobei der Parameter der Energieumsatz ist und für jede elementare Tätigkeit der Mittelwert des in Tabelle E.1 angegebenen Energieumsatzes herangezogen wird.

Bei Zweifeln in Hinblick auf den angenommenen Wert des Energieumsatzes ist der anzuwendende Richtwert derjenige Wert, der dem höheren Energieumsatz entspricht, wenn eine vollständige Messung oder Schätzung unmöglich ist.

9.4 Messvorschriften in Bezug auf die zeitlichen Änderungen der Kleidung

Wenn sich die Kleidung im Laufe der Exposition ändert, müssen die zeitlich gewichteten Mittelwerte der $WBGT_{\text{eff}}$ nach Gleichung (4) verwendet werden.

10 Interpretation

Die Werte des $WBGT_{\text{eff}}$ -Index in Anhang A sind als Richtwerte angegeben. Sie gelten für Personen, die für die in Betracht gezogene Tätigkeit körperlich geeignet und bei guter Gesundheit sind.

Wenn der $WBGT_{\text{eff}}$ -Wert kleiner oder gleich dem entsprechenden $WBGT_{\text{eff}}$ -Richtwert ist, dann sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Wenn der $WBGT_{\text{eff}}$ -Wert größer als der entsprechende $WBGT_{\text{eff}}$ -Richtwert ist, dann sind weitere Maßnahmen nach Abschnitt 4 erforderlich.

Die Richtwerte sind für die Wärmeeinwirkung über einen relativ langen Arbeitszeitraum repräsentativ. Sie berücksichtigen keine Spitzenwerte der Wärmebelastung, denen Personen kurzzeitig (einige Minuten) entweder als ein Ergebnis einer besonders heißen Umgebung oder einer vorübergehend intensiven körperlichen Tätigkeit ausgesetzt sein können. In den Fällen, in denen die Belastungen sehr kurz sind, kann die Wärmebelastung die zulässigen Werte überschreiten, ohne dass die Richtwerte, die für eine mittlere Tätigkeit oder eine mittlere Umgebung repräsentativ sind, überschritten werden. Zusätzlich zu der nach der vorliegenden Internationalen Norm vorgenommenen Bewertung sollten die Spitzenbelastungen geprüft werden (siehe ISO 7933).

Für die Anwendung dieses Dokuments ist eine *akklimatisierte* Person eine, die unmittelbar vor dem Bewertungszeitraum für mindestens eine volle Arbeitswoche den heißen Arbeitsbedingungen (oder ähnlichen oder extremeren Bedingungen) ausgesetzt war. Ist das nicht der Fall, dann ist die Person als *nicht akklimatisierte* Person einzuordnen.

Anhang A (informativ)

Richtwerte des WBGT-Wärmebelastungsindex

Der zeitlich gewichtete Mittelwert (en: time-weighted average, TWA) der effektiven WBGT ($TWA-WBGT_{eff}$) ist der an die Bekleidung angepasste, zeitlich gewichtete Messwert.

Tabelle A.1 — $WBGT_{eff}$ -Richtwerte für fünf Klassen von Energieumsatzniveaus für akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen

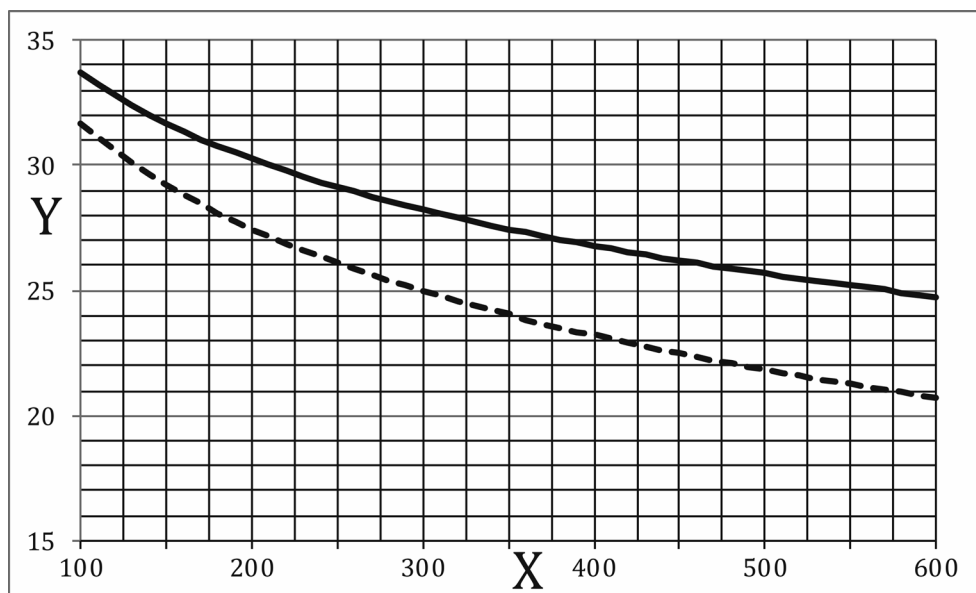
Energieumsatz (Klasse) (zur Beschreibung siehe Tabelle E.1)	Energieumsatz W	WBGT-Richtwert für akklimatisierte Personen °C	WBGT-Richtwert für nicht akklimatisierte Personen °C
Klasse 0 Energieumsatz im Ruhezustand	115	33	32
Klasse 1 Niedriger Energieumsatz	180	30	29
Klasse 2 Mittlerer Energieumsatz	300	28	26
Klasse 3 Hoher Energieumsatz	415	26	23
Klasse 4 Sehr hoher Energieumsatz	520	25	20
Die angegebenen $WBGT_{eff}$ -Werte werden zur Harmonisierung mit bestehenden nationalen Normen bereitgestellt. Bei einer zukünftigen Überarbeitung der Normen können die Werte aus Bild A.1 oder aus den entsprechenden Gleichungen herangezogen werden. Die neueren Werte werden in der Regel um ± 1 °C abweichen.			

Die in Tabelle A.1 angegebenen Richtwerte (Expositionsrichtwerte) sollten angewendet werden, wenn die bestmögliche verfügbare Schätzung des Energieumsatzes auf Kategorien von Arbeiten basiert, wie sie in den Tabellen A.1 und E.1 beschrieben sind. Wenn die $WBGT_{eff}$ -Werte, die für die zu beurteilende heiße Umgebung bestimmt werden, größer sind als die $WBGT_{eff}$ -Richtwerte, dann sind weitere Maßnahmen erforderlich (siehe Abschnitt 4).

Steht eine genauere Schätzung des Energieumsatzes zur Verfügung, so können die Richtwerte (Expositionsrichtwerte) durch lineare Interpolation in Tabelle A.1 gewonnen werden.

Bild A.1 veranschaulicht die kontinuierliche Beziehung zwischen Energieumsatz und $WBGT_{eff}$. Wie in Tabelle A.1 angegeben, können die Werte in Bild A.1 und die entsprechenden Gleichungen von den Tabellenwerten abweichen. Die durchgezogene Linie in Bild A.1 stellt für durchschnittliche, gesunde, akklimatisierte Arbeiter ein vertretbares Niveau an Wärmebelastung dar. Die gestrichelte Linie stellt ein erträgliches Maß an Wärmebelastung für durchschnittliche, gesunde, nicht akklimatisierte Arbeiter dar. Diese Beziehungen können anstelle von Tabelle A.1 verwendet werden.

Der Index berücksichtigt keinerlei Auswirkungen im Zusammenhang mit der Körpergröße oder ähnlichen Charakteristiken, z. B. Fettleibigkeit, Größe, Gewicht.



Legende

X Energieumsatz, W

Y WBGT_{eff}, °C

— akklimatisierte Personen

- - - nicht akklimatisierte Personen

Die Werte basieren auf einem erträglichen Niveau von Wärmebelastung bei durchschnittlichen, gesunden Erwachsenen.

Bild A.1 — WBGT_{eff}-Richtwerte nach Energieumsatz

Die Linien in Bild A.1 können wie folgt bestimmt werden:

Für akklimatisierte Personen (durchgezogene Linie) gilt

WBGT_{eff}-Richtwert (WBGT_{ref}):

$$\text{WBGT}_{\text{ref}} = 56,7 - 11,5 \log_{10}(M) \text{ °C}$$

Für nicht akklimatisierte Personen (gestrichelte Linie) gilt

WBGT_{eff}-Richtwert (WBGT_{ref}):

$$\text{WBGT}_{\text{ref}} = 59,9 - 14,1 \log_{10}(M) \text{ °C}$$

Dabei ist $115 < M < 520$ und M der Energieumsatz, angegeben in Watt (W).

Anhang B (normativ)

Messung von Parametern zur Bestimmung des WBGT-Index und Spezifikation der Messgeräte

B.1 Sensor zur Bestimmung der natürlichen Feuchttemperatur

Die natürliche Feuchttemperatur ist der Wert, der von einem mit einem befeuchteten Strumpf bedeckten natürlich belüfteten Temperatursensor angezeigt wird, d. h., der in der betreffenden Umgebung ohne Zwangsbelüftung platziert ist. Der Sensor wird der Lufttemperatur, Wärmestrahlung, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit der Umgebung ausgesetzt. Die natürliche Feuchttemperatur unterscheidet sich demzufolge von der thermodynamischen, mit einem Psychrometer bestimmten Temperatur.

Der Temperatursensor muss die folgenden Merkmale aufweisen:

- a) Form des temperaturempfindlichen Teils des Sensors: zylindrisch;
- b) Außendurchmesser des temperaturempfindlichen Teils des Sensors: (6 ± 1) mm;
- c) Länge des Sensors: (30 ± 5) mm;
- d) Messbereich: 5 °C bis 40 °C;
- e) Messgenauigkeit: $\pm 0,5$ °C;
- f) der ganze temperaturempfindliche Teil des Sensors muss mit einem weißen Strumpf eines stark wasserabsorbierenden Materials (z. B. Baumwolle) überzogen sein;
- g) die Halterung des Sensors muss einen Durchmesser von 6 mm haben, und 20 mm der Halterung müssen vom Strumpf überzogen sein;
- h) der Strumpf muss in Form einer Manschette gewebt und präzise über den Sensor aufgezogen sein (zu lockere Haftfestigkeit ist der Genauigkeit der Messung abträglich);
- i) der Strumpf muss sauber gehalten werden;
- j) der untere Teil des Strumpfes muss in einen Behälter mit destilliertem Wasser eintauchen und die freie Länge des Strumpfes in der Luft muss 20 mm bis 30 mm betragen;
- k) der Behälter muss so ausgeführt sein, dass die Temperatur des Wassers im Innern nicht infolge der Strahlung von der Umgebung ansteigen kann.

B.2 Globetemperatursensor

Die Globetemperatur ist die von einem Temperatursensor angezeigte Temperatur, der in der Mitte einer Kugel mit folgenden Merkmalen angebracht ist:

- a) Durchmesser: 150 mm;
- b) mittlerer Emissionskoeffizient: 0,95 (mattschwarze Kugel);

- c) Dicke: so dünn wie möglich;
- d) Messbereich: 20 °C bis 120 °C;
- e) Fehlergrenze:
 - Bereich 20 °C bis 50 °C: $\pm 0,5$ °C;
 - Bereich 50 °C bis 120 °C: ± 1 °C.

Bei der Durchführung von Messungen der Globetemperatur ist es wichtig, eine unbeabsichtigte Abschattung der Kugel durch den Instrumentenkörper zu vermeiden.

ANMERKUNG Für die Globetemperatur gilt, dass die Materialart die Zeitkonstante beeinflusst, jedoch nicht die sich einstellende End-Globetemperatur (en: steady-state). Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit, wie z. B. Kupfer, haben eine geringere Zeitkonstante als die von Kugeln, die aus Materialien mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit hergestellt wurden.

B.3 Messung der Lufttemperatur

Die Lufttemperatur stellt einen grundlegender Parameter dar und darf mit jedem geeigneten Verfahren, unabhängig von der Form des verwendeten Sensors, gemessen werden. Es ist jedoch notwendig, die Vorsichtsmaßnahmen bei der Messung der Lufttemperatur einzuhalten.

Der Lufttemperatursensor muss besonders vor Strahlung durch eine Vorrichtung geschützt sein, die ihrerseits die Luftzirkulation um den Sensor nicht behindert und nicht wieder Wärme auf diesen abstrahlt. Der Messbereich für die Lufttemperatur ist 10 °C bis 60 °C und die Messunsicherheit $\pm 0,5$ °C.

Anhang C (informativ)

Alternative Globethermometer

Der in Anhang B festgelegte Sensor der Globetemperatur ist die einzige Sensorspezifikation, die die Anforderungen dieses Dokuments erfüllt. Näherungsweise dürfen Kugeln verwendet werden, die von dieser Festlegung abweichen, wenn eine valide Korrektur vorgenommen wird, um eine Schätzung der Temperatur der Kugel, die der korrekten Spezifikation entspricht, zur Verfügung zu stellen. Die folgenden Gleichungen dürfen angewendet werden, um die Korrektur vorzunehmen. Es ist wichtig zu beachten, dass eine Korrektur hinsichtlich der Kugelgröße Messungen der Umgebung erfordert (z. B. Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit). Die Genauigkeit einer rechnerischen Bestimmung wird daher von der Genauigkeit der Umgebungsmessungen abhängig sein. Messfehler können signifikant sein, sodass eine Korrektur diese Ungenauigkeiten enthalten wird. Deshalb wird ausdrücklich betont, dass die tatsächlich spezifizierte Kugel die einzige Kugel ist, die die Spezifikationen erfüllen wird. Es ist ersichtlich, dass, um eine Korrektur der Kugelgröße vorzunehmen, die Berücksichtigung der Luftgeschwindigkeit erforderlich ist. Ist die Luftgeschwindigkeit nicht bekannt, dann ist es nicht möglich, eine Korrektur vorzunehmen.

Die Gleichgewichtstemperatur t eines schwarzen kugelförmigen Sensors (z. B. Globethermometer, dabei ist $t = t_g$) ist gegeben durch

$$t = (1 - g)t_a + gt_r \quad (\text{C.1})$$

Dabei ist

t_a die Lufttemperatur;

t_r die mittlere Strahlungstemperatur;

g die Radiant Response Ratio.

Bei erzwungener Konvektion ($v > 0,2 \text{ ms}^{-1}$) kann g geschätzt werden aus:

$$g = \frac{1}{(1 + 1,13 v_a^{0,6} d^{-0,4})} \quad (\text{C.2})$$

Dabei ist

v_a die Luftgeschwindigkeit, ms^{-1} ;

d der Durchmesser des Sensors, m.

Gleichung (C.1) nimmt für den Sensor einen Emissionsgrad von eins an, was jedoch bei nichtschwarzen Kugeln nicht der Fall ist. Eine allgemeinere Gleichung ist (C.3):

$$t = \frac{(1 - g)t_a + \varepsilon gt_r}{1 + (1 - \varepsilon)g} \quad (\text{C.3})$$

Dabei ist ε der Emissionsgrad des Sensors.

Bei einer versilberten Oberfläche kann ε bis zu 0,1 sein und bei einer schwarzen Kugel nahe bei 1,0.

Es ist ersichtlich, dass die Luftgeschwindigkeit, die Strahlungstemperatur und die Lufttemperatur insgesamt maßgebend sind, um eine valide Korrektur des Kugeldurchmessers vorzunehmen.

Genauer gesagt ist g der Strahlungswärmeübergangskoeffizient h_r dividiert durch den Gesamtwärmeübergangskoeffizient $h_c + h_r$.

Zur rechnerischen Bestimmung der Temperatur einer schwarzen Kugel von 150 mm Durchmesser t_{g150} aus der Temperatur einer schwarzen Kugel mit einem Durchmesser von d in Millimeter t_{gd} kann Gleichung (C.4) angewendet werden:

$$t_{g150} = t_a + \frac{1 + 1,13 v_a^{0,6} d^{-0,4}}{1 + 2,41 v_a^{0,6}} (t_{gd} - t_a) \quad (C.4)$$

Nach Gleichung (C.4) wird die Globetemperatur einer Kugel von 150 mm Durchmesser unter den Bedingungen des Beispiels mit 25,5 °C berechnet, während die Globetemperatur einer Kugel von 100 mm Durchmesser 25 °C beträgt. Siehe Tabelle C.1.

Tabelle C.1 — Berechnungsbeispiele für die rechnerische Bestimmung der Globetemperatur bei 150 mm Kugeldurchmesser

Kugeldurchmesser d mm	Kugeltemperatur t_g °C	Lufttemperatur t_a °C	Luftgeschwindigkeit v_a ms ⁻¹	berechnete Globetemperatur bei 150 mm Durchmesser °C
50	22	20	0,5	22,5
100	25	20	0,5	25,5
25	25	25	0,2	25,0
50	30	25	0,5	31,4
100	40	25	0,75	41,7
120	45	25	1,0	46,3
25	25	20	1,0	28,7
50	30	30	0,75	30,0
100	40	30	0,5	41,0
120	50	30	0,2	50,9
25	25	25	0,25	25,0
50	30	30	1,0	30,0
100	40	35	2,0	40,6
120	50	40	2,0	50,7

Anhang D (informativ)

Rechnerische Bestimmung der natürlichen Feuchttemperatur

Die indirekte Bestimmung der t_{nw} durch Berechnung ist weder einfach noch zuverlässig, besonders dann, wenn die Luftgeschwindigkeit gering ist und unter den Bedingungen der natürlichen Konvektion. Sie ist nicht zu empfehlen, jedoch kann sie bei einigen Anwendungen von Interesse sein.

Ausgehend von der Gleichung der Wärmebilanz auf dem feuchten Strumpf kann Gleichung (D.1) angewendet werden (durch ein iteratives Vorgehen zu lösen), um die Werte der natürlichen Feuchttemperatur (t_{nw} , °C) aus der Lufttemperatur (t_a , °C), der mittleren Strahlungstemperatur (t_r , °C), der Luftgeschwindigkeit (v_a , ms^{-1}) und der relativen Luftfeuchte (en: relative humidity, RH) zu erhalten:

$$\begin{aligned} 4,18 \cdot v_a^{0,444} (t_a - t_{nw}) + 10^{-8} \cdot [(t_r + 273)^4 - (t_{nw} + 273)^4] - \\ 77,1 \cdot v_a^{0,421} [p_{as}(t_{nw}) - \text{RH} \cdot p_{as}(t_a)] = 0 \end{aligned} \quad (\text{D.1})$$

Dabei ist die mittlere Strahlungstemperatur gegeben durch

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v_a^{0,6}}{\varepsilon_g \times d^{0,4}} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (\text{D.2})$$

Dabei ist

d der Durchmesser der schwarzen Kugel, in m;

ε_g der mittlere Emissions-Koeffizient;

p_{as} der Druck des gesättigten Wasserdampfs, in kPa.

Diese Vorgehensweise sollte nur angewendet werden, wenn keine direkte Messung möglich ist. Die natürliche Feuchttemperatur wird vorzugsweise direkt nach Anhang B gemessen. Es ist wichtig zu bedenken, dass, wenn Berechnungen der natürlichen Feuchttemperatur vorgenommen werden, die verwendeten Messungen der Umgebungsparameter mit Messfehlern verbunden sind. Diese können sich bei jeder Berechnung akkumulieren, und deshalb sollte jede Berechnung mit Vorsicht interpretiert werden. Die natürliche Feuchttemperatur, wie in Anhang B festgelegt, sollte als das Referenz- und genauestes Verfahren angewendet werden.

Beispiele von Berechnungen der natürlichen Feuchttemperatur unter Verwendung der Gleichung (D.1) sind in der Tabelle D.1 gegeben.

Tabelle D.1 — Beispiele der rechnerischen Bestimmung der natürlichen Feuchttemperatur (im Bereich von 15 °C bis 30 °C) nach Gleichung (D.1)

Luft- temperatur t_a °C	Globetemperatur mit einer Kugel von 150 mm Durchmesser t_g °C	Luftge- schwin- digkeit v_a ms^{-1}	relative Luftfeuchte RH %	berechnete natürliche Feuchttemperatur t_{nw} °C	berech- neter WBGT WBGT °C
25,0	40,0	0,3	20	17,3	24,1
25,0	55,0	0,3	20	21,1	31,3
25,0	40,0	0,9	20	16,7	23,7
25,0	40,0	0,3	50	21,7	27,2
25,0	55,0	0,3	50	25,0	34,0
25,0	40,0	0,9	50	21,4	27,0
25,0	40,0	0,3	80	25,5	29,8
25,0	55,0	0,3	80	28,4	36,4
25,0	40,0	0,9	80	25,3	29,7
35,0	35,0	0,3	20	19,7	24,3
35,0	50,0	0,3	20	23,1	31,2
35,0	65,0	0,3	20	26,4	38,0
35,0	35,0	0,9	20	19,1	23,9
35,0	50,0	0,9	20	22,5	30,7
35,0	35,0	0,3	50	26,5	29,1
35,0	50,0	0,3	50	29,2	35,5
35,0	35,0	0,9	50	26,3	28,9
35,0	50,0	0,9	50	28,9	35,2
45,0	45,0	0,3	20	26,1	31,8
45,0	60,0	0,3	20	29,0	38,3
45,0	45,0	0,9	20	25,6	31,4
45,0	60,0	0,9	20	28,3	37,8

Anhang E (informativ)

Abschätzung des Energieumsatzes

Siehe Tabelle E.1.

Tabelle E.1 — Klassifizierung von Energieumsatzniveaus nach ISO 8996

Klasse	Energie- umsatz W	Beispiele
0 Ruhe- zustand	115 (100 bis 125)	Ruhezustand, bequem sitzend
1 niedriger Energie- umsatz	180 (125 bis 235)	leichte manuelle Arbeit (Schreiben, Tippen, Zeichnen, Nähen, Buchführung); Tätigkeit mit Händen und Armen (kleine Handwerkzeuge, Inspizieren, Zusammenbau oder Sortieren von leichten Gegenständen); Tätigkeiten mit Armen und Beinen (Fahren eines Fahrzeugs unter üblichen Bedingungen, Betätigen eines Fußschalters oder Pedals). Bohren im Stehen (kleine Teile); Fräsen (kleine Teile); Wickeln von Spulen; Wickeln von kleinen Ankern; Arbeiten mit Maschinen geringer Leistung; lockeres Gehen auf ebenem Untergrund (Geschwindigkeit bis zu 2,5 km/h).
2 mittlerer Energie- umsatz	300 (235 bis 360)	anhaltende Hand- und Armarbeiten (Einschlagen von Nägeln, Feilen); Arm- und Beinarbeit (Fahren von Lastwagen, Traktoren oder Baufahrzeugen im Gelände); Arm- und Rumpfarbeit (Arbeiten mit Presslufthammer, Reparaturarbeiten am Traktor, Pflasterarbeiten, unterbrochenes Handhaben von mittelschwerem Material, Unkrautjäten, Hacken, Ernten von Früchten oder Gemüse, Schieben oder Ziehen leichter Karren oder Schubkarren, Gehen auf ebenem Untergrund mit einer Geschwindigkeit von 2,5 km/h bis 5,5 km/h; Schmieden)
3 hoher Energie- umsatz	415 (360 bis 465)	intensive Arm- und Rumpfarbeit; Tragen von schwerem Material; Schaufeln; Arbeiten mit einem Vorschlaghammer; Sägen; Hobeln oder Meißeln von hartem Holz; Mähen von Hand; Graben, Gehen auf ebenem Untergrund mit einer Geschwindigkeit von 5,5 km/h bis 7 km/h. Schieben oder Ziehen schwer beladener Handwagen oder Schubkarren; Zerschlagen von Gussstücken; Verlegen von Betonplatten.
4 sehr hoher Energie- umsatz	520 (> 465)	sehr intensive Tätigkeiten mit schnellem bis höchstem Tempo; Arbeiten mit einer Axt; intensives Schaufeln oder Graben; Treppensteigen, Besteigen von Rampen oder Leitern; schnelles Gehen mit kleinen Schritten; Laufen auf ebenem Untergrund; Gehen auf ebenem Untergrund mit einer Geschwindigkeit von über 7 km/h.

Anhang F (informativ)

Bekleidungsanpassungswerte (CAVs)

Siehe Tabelle F.1.

Tabelle F.1 — WBGT-CAVs für unterschiedliche Bekleidungsensembles in °C-WBGT

Ensemble	Bemerkung	CAV [°C-WBGT]
Arbeitskleidung	Aus einem Gewebe hergestellte Arbeitskleidung ist das Referenzensemble	0
Stoff-Overalls	Gewebe mit behandelter Baumwolle	0
einlagige SMS-Overalls aus Vlies	Ein nicht urheberrechtlich geschütztes Verfahren, um Vliesstoffe aus Polypropylen herzustellen	0
einlagige Polyolefin-Overalls aus Vlies	Ein urheberrechtlich geschütztes Gewebe aus Polyethylen	2
wasserdampfhemmende Schürze mit langen Ärmeln und großer Länge über Stoff-Overalls	Die Wickelschürze wurde entwickelt, um die Vorderseite und die Seiten des Körpers vor dem Bespritzen mit chemischen Mitteln zu schützen	4
Doppelschicht aus gewebter Kleidung	Im Allgemeinen verwendet als Overalls über Arbeitskleidung	3
Einlagige wasserdampfhemmende Overalls ohne Kapuze	Die eigentliche Wirkung hängt von der Höhe der Luftfeuchte ab; in vielen Fällen ist die Wirkung geringer.	10
Einlagige wasserdampfhemmende Overalls mit Kapuze	Die eigentliche Wirkung hängt von der Höhe der Luftfeuchte ab; in vielen Fällen ist die Wirkung geringer.	11
wasserdampfhemmende Schicht über Stoff-Overalls ohne Kapuze	—	12
Kapuze ^a	Tragen einer Kapuze aus jeglichem Stoff mit jedem Bekleidungsensemble	+1
Die Bekleidungsanpassungswerte werden zum gemessenen WBGT addiert, um den WBGT _{eff} -Wert zu erhalten.		
ANMERKUNG Bei Kleidung mit hoher Dampfesistenz zeigt sich eine Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte. Die Bekleidungsanpassungswerte repräsentieren den wahrscheinlich hohen Wert.		
^a Dieser Wert wird zum CAV der Bekleidungskombination ohne Kapuze oder Atemschutzgerät addiert.		

Literaturhinweise

- [1] ISO 7243:1989, *Hot environments — Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*
- [2] ISO 7726:1998, *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*
- [3] ISO 8996:2004, *Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate*
- [4] ISO 9886:2004, *Ergonomics — Evaluation of thermal strain by physiological measurements*
- [5] ISO 9920:2007, *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*
- [6] ISO 11399:1995, *Ergonomics of the thermal environment — Principles and application of relevant International Standards*
- [7] ISO 12894:2001, *Ergonomics of the thermal environment — Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments*
- [8] ISO 15265:2004, *Ergonomics of the thermal environment — Risk assessment strategy for the prevention of stress or discomfort in thermal working conditions*
- [9] ACGIH, TLV for Heat Stress and Strain in Threshold limit values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, USA, 2016
- [10] ASHRAE, ASHRAE Handbook – Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE, Atlanta, USA, 2009
- [11] BERNARD T.E., POURMOGHANI M., Prediction of workplace wet bulb globe temperature. Appl Occup Environ Hyg, 1999, 14, S. 126–134
- [12] BERNARD, T.E., LUECKE C.L., SCHWARTZ S.W., KIRKLAND K.S., Ashley C.D., WBGT clothing adjustments for four clothing ensembles under three relative humidity levels. J. Occup. Environ. Hyg. 2005, 2, S. 251-256
- [13] BERNARD T.E., CARAVELLO V., SCHWARTZ S.W, ASHLEY C.D.. WBGT Clothing Adjustment Values for four clothing ensembles and the effects of metabolic demands. J. Occup. Environ. Hyg. 2005, 5, S. 1-5.
- [14] BERNARD T.E., BARROW C.A. Empirical Approach to Outdoor WBGT from Meteorological Data and Performance of Two Different Instrument Designs, Ind. Health, 2013, 51, S. 79-85.
- [15] BUDD G.M. Wet-bulb globe temperature (WBGT) — Its history and its limitations. J. Sci. Med. Sport 2008, 11(1), S. 20-32, 2008
- [16] BUONANNO G., FRATTOLILLO A., VANOLI L. Direct and indirect measurement of WBGT index in transversal flow. Measurement, 2001, 29, S. 127-135.
- [17] CARAVELLO, V., MCCULLOUGH E.A., ASHLEY C.D., BERNARD T.E. Apparent evaporative resistance at critical conditions for five clothing ensembles. Eur. J. App. Physiol., 2008, 104, S. 361-367.

- [18] D'AMBROSIO ALFANO F.R., PALELLA B.I., RICCIO G. 2012. *On the Problems Related to Natural Wet Bulb Temperature Indirect Evaluation for the Assessment of Hot Thermal Environments by Means of WBGT*. 56(9), 1063-1069.
- [19] D'AMBROSIO ALFANO F.R., MALCHAIRE J., PALELLA B.I., RICCIO,G.WBGT Index revisited after 60 years of use. *Ann. Occup. Hyg.* 2014, 58(8), S. 955-970.
- [20] GASPAR A.R., QUINTELA D.A. Physical modelling of globe and natural wet bulb temperatures to predict WBGT heat stress index in outdoor environments, *Int. J. Biometereol*, 2009, 53, S. 221-230.
- [21] GRAVES K.W. Globe thermometer evaluation. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*; 1974, 35, S. 30-40.
- [22] MALCHAIRE J.B. Evaluation of natural wet bulb and wet globe thermometers. *Ann. Occup. Hyg.* 1976, 19 (3-4) pp. 251-258
- [23] MCINTYRE D.A. Indoor climate. Applied Science Publisher, London, UK, 1980
- [24] NIOSH. 2016, *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments*. NIOSH, Cincinnati (USA): DHHS (NIOSH) 2016-106
- [25] PARSONS K.C. 2014) Human Thermal Environments CRC Press, Taylor and Francis, ISBN 978-1-4665-9599-6
- [26] SULLIVAN C.D., & GORTON R.L. A method of calculation of WBGT from environmental factors. *ASHRAE Trans.* 1976, 82 pp. 279-292
- [27] YAGLOU CP, & MINARD D 1957, Control of Heat Casualties at Military training Centers AMA, Archives of Industrial Health; no. 16, p. 302