

Ergonomie des Umgebungsklimas
Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch
Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung
(ISO/DIS 7933:2002)
Deutsche Fassung prEN ISO 7933:2002

DIN
EN ISO 7933

ICS 13.040.20; 13.180

Einsprüche bis 2003-01-31

Entwurf

Vorgesehen als
Ersatz für
DIN EN 12515:1997-11

Ergonomics of the thermal environment —
Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation
of the Predicted Heat Strain (ISO/DIS 7933:2002);
German version prEN ISO 7933:2002

Ergonomie des ambiances thermiques —
Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique
fondées sur le calcul de charge de chaleur prévisible
(ISO/DIS 7933:2002);
Version allemande prEN ISO 7933:2002

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

— vorzugsweise als Datei per e-Mail an fnerg@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;

— oder in Papierform an den Normenausschuss Ergonomie (FNErg) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin).

Nationales Vorwort

Der hiermit der Öffentlichkeit zur Stellungnahme vorgelegte Norm-Entwurf ist die Deutsche Fassung des vom Unterkomitee SC 5 „Ergonomics of the physical environment“ (Sekretariat: Vereinigtes Königreich) des Technischen Komitees ISO/TC 159 „Ergonomics“ (Sekretariat: Deutschland) ausgearbeiteten internationalen Norm-Entwurfs ISO/DIS 7933:2002. Der Norm-Entwurf wird gleichzeitig national, europäisch und international zur Stellungnahme verteilt.

Die Mitarbeit des DIN in der zuständigen Arbeitsgruppe des Technischen Komitees CEN/TC 122 „Ergonomie“ (Sekretariat: Deutschland) wird über den Arbeitsausschuss FNErg AA 7 „Klima“ des Normenausschusses Ergonomie (FNErg) wahrgenommen.

Für die im Inhalt zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 7243 siehe DIN EN 27243
ISO 7726 siehe DIN EN ISO 7726
ISO 8996 siehe DIN EN 28996
ISO 9886 siehe DIN EN ISO 9886
ISO 9920 siehe E DIN EN ISO 9920

Fortsetzung Seite 2
und 35 Seiten prEN

Normenausschuss Ergonomie (FNErg) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12515:1997-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Normtitel geändert;
- b) ISO-Festlegungen unverändert übernommen.

Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 27243, *Warmes Umgebungsklima — Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (ISO 7243:1989); Deutsche Fassung EN 27243:1993.*

DIN EN 28996, *Ergonomie — Bestimmung der Wärmeerzeugung im menschlichen Körper (ISO 8996:1990); Deutsche Fassung EN 28996:1993.*

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

DIN EN ISO 9886, *Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen (ISO 9886:1992); Deutsche Fassung EN ISO 9886:2001.*

E DIN EN ISO 9920¹⁾, *Ergonomie des Umgebungsklimas — Abschätzung der Wärmeisolation und des Verdunstungswiderstandes einer Bekleidungskombination (ISO 9920:1995); Deutsche Fassung prEN ISO 9920:2000.*

1) Ankündigung Kurzverfahren in DIN-Mitt. Heft 2002-09

Ergonomie des Umgebungsklimas — Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung (ISO/DIS 7933:2002)

Ergonomie des ambiances thermiques — Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de charge de chaleur prévisible (ISO/DIS 7933:2002)

Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the Predicted Heat Strain (ISO/DIS 7933:2002)

ICS:

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Symbole	5
4 Grundlagen des Ermittlungsverfahrens	5
5 Hauptschritte der Berechnung	5
6 Bewertung der erforderlichen Schweißrate	8
Anhang A (normativ) Symbole und Einheiten	10
Anhang B (normativ) Erforderliche Daten für die Berechnung der Wärmebilanz	13
Anhang C (informativ) Kriterien für die Bestimmung der zulässigen Expositionszeit in einem warmen Arbeitsklima	20
Anhang D (informativ) Computerprogramm zur Berechnung des Modells der vorhergesagten Wärmebeanspruchung	22
Anhang E (normativ) Beispiele für Berechnungen nach dem Modell der vorhersagbaren Wärmebeanspruchung	27
Anhang F (informativ) Energieumsatz	28
Anhang G (informativ) Merkmale der Bekleidung im Hinblick auf Wärme	32
Anhang H (informativ) Literaturhinweise	34
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	35

Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 7933) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 122 „Ergonomie“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 159 „Ergonomics“ auf der Grundlage von Ergebnissen des Forschungsprojektes BIOMED II "HEAT STRESS" erarbeitet, das mit Unterstützung der Europäischen Union durchgeführt wurde.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm ISO/DIS 7933:2002 wurde von CEN als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

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

Einleitung

In weiteren Normen dieser Reihe wird beschrieben, wie die Parameter, die die Wärmeregulation des menschlichen Körpers beeinflussen, in einer bestimmten Umgebung abgeschätzt oder quantitativ bestimmt werden müssen. In anderen Normen ist festgelegt, wie diese Parameter integriert werden müssen, um den Belastungsgrad oder das Gesundheitsrisiko dieser Umgebungen bestimmen zu können. Das vorliegende Dokument wurde erarbeitet, um die Verfahren zu normen, die Fachleute auf dem Gebiet der Berufsgesundheit anwenden sollten, um ein bestimmtes Problem anzugehen und stufenweise die Informationen zu sammeln, die erforderlich sind, um das Problem zu begrenzen oder zu vermeiden.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt ein Verfahren zur analytischen Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung fest, der eine Person in warmem Umgebungsklima ausgesetzt ist. Sie beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der Schweißrate und der inneren Körperkerntemperatur, die der menschliche Körper als Reaktion auf die Arbeitsbedingungen entwickelt.

Die verschiedenen Bedingungen, die in diesem Vorhersage-Modell und besonders bei der Wärmebilanz verwendet werden, zeigen den Einfluss der unterschiedlichen physikalischen Parameter der Umgebung auf die Wärmebelastung der Person. Auf diese Weise ermöglicht es diese Europäische Norm, zu bestimmen, welche Parameter oder welche Gruppen von Parametern zu verändern sind und in welchem Ausmaß das erfolgen sollte, um das Risiko einer physiologischen Überbeanspruchung zu reduzieren.

Die Hauptziele dieser Internationalen Norm sind:

- a) die Bewertung der Wärmebelastung in Situationen, die zu einer übermäßigen Erhöhung der Körperkerntemperatur oder zu übermäßigem Wasserverlust einer "Normalperson" führen können;
- b) die Bestimmung der maximal zulässigen Expositionszeiten, bei denen die physiologische Beanspruchung auf einen noch akzeptablen Wert begrenzt wird.

Diese Internationale Norm ist nicht in der Lage, die physiologische Reaktion einzelner Personen vorherzusagen, sondern berücksichtigt nur „Normalpersonen“, die sich in einem guten gesundheitlichen Zustand befinden und in der Lage sind, ihre Arbeit durchzuführen. Sie ist daher für die Anwendung durch Personen bestimmt, die im Bereich der Ergonomie, der Arbeitshygiene usw. ausgebildet sind, damit diese die Arbeitsbedingungen bewerten können. Weiterhin sind Fachleute auf dem Gebiet der Berufsgesundheit dafür verantwortlich, unter Berücksichtigung der besonderen Merkmale, die von denen einer „Normalperson“ abweichen können, das Risiko zu bewerten, dem eine bestimmte Person ausgesetzt ist. In ISO 9886 wird beschrieben, wie physiologische Parameter angewendet werden müssen, um das physiologische Verhalten einer bestimmten Person zu beobachten; in ISO 12894 wird beschrieben, wie eine medizinische Überwachung organisiert sein muss.

Das Berechnungs- und Bewertungsverfahren der Wärmebilanz beruht auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen. Zukünftige Verbesserungen im Hinblick auf die Berechnung der einzelnen Komponenten der Wärmebilanzgleichung oder deren Bewertung werden berücksichtigt, sobald diese verfügbar sind. In der gegenwärtigen Form lässt sich dieses Bewertungsverfahren nicht auf Fälle anwenden, bei denen besondere Schutzkleidung getragen wird (reflektierende Kleidung, Kleidung mit Aktivkühlung und Belüftung, undurchlässige Kleidung, Kleidung mit persönlicher Schutzausrüstung).

Diese Norm ersetzt die vorherige Version, die auf dem Index der erforderlichen Schweißrate beruhte. Um Verwechslungen zu vermeiden und da umfangreiche Änderungen am Vorhersage-Modell vorgenommen werden, wurde die Bezeichnung des Index in vorhergesagte Wärmebeanspruchung (en: Predicted Heat Strain, PHS) geändert.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisungen in diesem Text Bestandteil dieser Internationalen Norm sind. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Anwender dieser Internationalen Norm werden jedoch gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, die jeweils neuesten Ausgaben der nachstehend angegebenen normativen Dokumente anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments. Mitglieder von ISO und IEC führen Verzeichnisse der gültigen Internationalen Normen.

ISO 7243, *Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*.

ISO 7726, *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*.

ISO 8996, *Ergonomics — Determination of metabolic heat production*.

ISO 9886, *Evaluation of thermal strain by physiological measurements*.

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

3 Symbole

Die in dieser Norm verwendeten Symbole und Einheiten stimmen mit ISO 7726, *Thermal environments — Instruments and methods for measuring physical quantities*, überein.

Für die Darstellung des Indexes der vorhergesagten Wärmebeanspruchung werden jedoch zusätzliche Symbole verwendet.

Anhang A enthält eine vollständige Liste der Symbole.

4 Grundlagen des Ermittlungsverfahrens

Das Ermittlungs- und Bewertungsverfahren berechnet die Wärmebilanz des menschlichen Körpers anhand

a) der Parameter eines warmen Umgebungsklimas:

- der Lufttemperatur, t_a ;
- der mittleren Strahlungstemperatur, t_r ;
- des Partialdampfdrucks, p_a ;
- der Luftgeschwindigkeit, v_a .

(Diese Parameter sind abzuschätzen oder nach den Festlegungen in ISO 7726 zu messen.)

b) der durchschnittlichen Werte der dieser Arbeitssituation ausgesetzten Person bezüglich:

- des Energieumsatzes, M , abgeschätzt anhand ISO 8996;
- der Merkmale der Kleidung in Bezug auf Wärme, abgeschätzt anhand ISO 9920.

Abschnitt 5 beschreibt die Grundlagen der Berechnung der verschiedenen Wärmeaustauschvorgänge, die in der Wärmebilanzgleichung auftreten, sowie die des Schweißverlustes, der erforderlich ist, um das thermische Gleichgewicht des Körpers aufrechtzuerhalten. Die mathematischen Ausdrücke dieser Berechnungen befinden sich in Anhang B.

Abschnitt 6 beschreibt das Bewertungsverfahren, mit dem die vorhergesagte Schweißrate, die vorhergesagte Rektaltemperatur sowie die maximal zulässigen Expositionszeiten und die für das Erreichen der vorhergesagten Schweißrate erforderlichen Verhältnisse von Arbeits- und Pausenzeiten bestimmt werden können. Diese Bestimmung beruht auf zwei Kriterien: dem maximal zulässigen Anstieg der Körperkerntemperatur und dem maximal zulässigen Wasserverlust des Körpers. Grenzwerte für diese Kriterien sind im Anhang C angegeben.

Die Genauigkeit, mit der die vorhergesagte Schweißrate und die Expositionszeiten abgeschätzt werden, hängt von dem verwendeten Modell (d. h. von den im Anhang B vorgeschlagenen Gleichungen) und den eingesetzten Grenzwerten ab. Ferner ist diese abhängig von der Genauigkeit, mit der die physikalischen Parameter abgeschätzt und gemessen und der Energieumsatz und die Wärmeisolation der Kleidung abgeschätzt werden.

5 Hauptschritte der Berechnung

5.1 Allgemeine Wärmebilanzgleichung

Die Wärmebilanzgleichung des Körpers kann wie folgt aufgestellt werden:

$$M - W = C_{\text{res}} + E_{\text{res}} + K + C + R + E + S \quad (1)$$

Diese Gleichung besagt, dass die innere Wärmeproduktion des Körpers, die dem Energieumsatz (M) abzüglich der effektiven mechanischen Leistung (W) entspricht, durch den Wärmeaustausch im Atmungstrakt durch Konvektion (C_{res}) und Verdampfung (E_{res}) sowie durch den Wärmeaustausch über die Haut durch Wärmeleitung (K), Konvektion (C), Strahlung (R), Verdunstung (E) und durch das endgültige Gleichgewicht, die Wärmespeicherung (S), ausgeglichen wird.

Die verschiedenen Komponenten dieser Gleichung werden im Folgenden nacheinander im Hinblick auf die Grundlagen der Berechnung vorgestellt (die detaillierten Gleichungen sind im Anhang B angegeben).

5.1.1 Energieumsatz M

Die Abschätzung oder Messung des Energieumsatzes ist in ISO 8996 beschrieben.

Anhang F enthält Hinweise zur Abschätzung des Energieumsatzes.

5.1.2 Effektive mechanische Leistung W

In den meisten in industrieller Umgebung vorkommenden Situationen ist die effektive mechanische Leistung gering und kann vernachlässigt werden.

5.1.3 Wärmefluss durch Konvektion bei der Atmung, C_{res}

Der Wärmefluss durch Konvektion bei der Atmung kann prinzipiell durch folgende Beziehung angegeben werden

$$C_{\text{res}} = 0,072 \cdot c_p \cdot V \cdot (t_{\text{ex}} - t_a) / A_{\text{Du}} \quad (2)$$

5.1.4 Wärmefluss durch Verdunstung bei der Atmung, E_{res}

Der Wärmefluss durch Verdunstung bei der Atmung kann prinzipiell durch folgende Beziehung angegeben werden

$$E_{\text{res}} = 0,072 \cdot c_e \cdot V \cdot (W_{\text{ex}} - W_a) / A_{\text{Du}} \quad (3)$$

5.1.5 Wärmefluss durch Wärmeleitung, K

Da in dieser Norm das Risiko der Ganzkörper-Dehydratation und Hyperthermie behandelt wird, kann der Wärmefluss durch Wärmeleitung über die in Kontakt mit festen Gegenständen stehende Körperoberflächen quantitativ durch die Wärmeverluste durch Konvektion und Strahlung angenähert werden, die auftreten würden, wenn diese Oberflächen nicht in Kontakt mit einem festen Gegenstand wären. Auf diese Weise wird der Wärmefluss durch Wärmeleitung nicht explizit berücksichtigt.

Die Norm ISO 13732-1 behandelt besonders die Risiken von Schmerzen und Verbrennungen, die beim Kontakt von Körperteilen mit heißen Oberflächen auftreten.

5.1.6 Wärmefluss durch Konvektion an der Hautoberfläche, C

Der Wärmefluss durch Konvektion an der Hautoberfläche kann durch die folgende Gleichung angegeben werden

$$C = h_{\text{cdyn}} \cdot f_{\text{cl}} \cdot (t_{\text{cl}} - t_a) \quad (4)$$

Der Koeffizient für den dynamischen konvektiven Wärmeübergang zwischen der Kleidung und der Umgebungsluft, h_{cdyn} , berücksichtigt dabei die Merkmale der Kleidung, die Bewegungen der betreffenden Person sowie die Luftbewegungen.

In Anhang G sind einige Hinweise zur Bestimmung der Wärmeeigenschaften der Kleidung enthalten.

5.1.7 Wärmefluss durch Strahlung an der Hautoberfläche, R

Der Wärmefluss durch Strahlung kann durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$R = h_r \cdot f_{\text{cl}} \cdot (t_{\text{cl}} - t_r) \quad (5)$$

Der Koeffizient des Wärmeübergangs durch Strahlung zwischen der Kleidung und der Umgebungsluft, h_r , berücksichtigt dabei die Merkmale der Kleidung, die Bewegungen der betreffenden Person sowie die Luftbewegungen.

5.1.8 Wärmefluss durch Verdunstung an der Hautoberfläche, E

Die maximale Verdunstungsrate, $E_{\max}$, ist diejenige, die unter Annahme einer vollständig benetzten Haut erzielt werden kann. Unter diesen Bedingungen gilt

$$E_{\max} = (p_{\text{sk},s} - p_a) / R_{\text{tdyn}} \quad (6)$$

Der gesamte Verdunstungswiderstand der Luftgrenzschicht und der Bekleidung, R_{tdyn} , berücksichtigt dabei die Merkmale der Kleidung, die Bewegungen der betreffenden Person sowie die Luftbewegungen.

Im Falle einer nur teilweise benetzten Haut ergibt sich die Verdunstungsrate, E , in Watt je Quadratmeter aus

$$E = w \cdot E_{\max} \quad (7)$$

5.1.9 Wärmespeicherung zur Erhöhung der Körperkerntemperatur im Hinblick mit dem Energieumsatz, dS_{eq}

Selbst in einer neutralen Umgebung strebt die Körperkerntemperatur einem stabilen Wert $t_{\text{cr,eq}}$ in Abhängigkeit des Energieumsatzes in Bezug auf das maximale Sauerstoffaufnahmevermögen der betreffenden Person entgegen.

Die Körperkerntemperatur erreicht diese Gleichgewichtstemperatur exponentiell mit der Zeit. Die mit diesem Anstieg zusammenhängende Wärmespeicherung, S_{eq} , trägt nicht zum Beginn der Schweißbildung bei und muss daher anhand der Wärmebilanzgleichung ermittelt werden.

5.1.10 Wärmespeicherung S

Die Wärmespeicherung des Körpers ergibt sich als algebraische Summe der zuvor definierten Wärmeflüsse.

5.2 Berechnung der erforderlichen Verdunstungsrate, des erforderlichen Hautbenetzungsgrades und der erforderlichen Schweißrate

Unter Berücksichtigung der für den Wärmefluss durch Wärmeleitung aufgestellten Hypothesen kann die allgemeine Wärmebilanzgleichung (1) wie folgt geschrieben werden:

$$E + S = M - W - C_{\text{res}} - E_{\text{res}} - C - R \quad (8)$$

Die erforderliche Verdunstungsrate, E_{req} , ist die Verdunstungsrate, die für die Aufrechterhaltung des thermischen Gleichgewichts des Körpers erforderlich und damit für die Wärmespeicherung gleich Null ist. Sie ist gegeben durch

$$E_{\text{req}} = M - W - C_{\text{res}} - E_{\text{res}} - C - R - dS_{\text{eq}} \quad (9)$$

Der erforderliche Hautbenetzungsgrad, w_{req} , ist das Verhältnis zwischen der erforderlichen Verdunstungsrate und der maximalen Verdunstungsrate:

$$w_{\text{req}} = E_{\text{req}} / E_{\max} \quad (10)$$

Die Berechnung der erforderlichen Schweißrate erfolgt auf der Basis der erforderlichen Verdunstungsrate unter Berücksichtigung des Schweißanteils, der auf Grund der großen Unterschiede des örtlichen Hautbenetzungsgrades abtropft. Die erforderliche Schweißrate ist gegeben als:

$$SW_{\text{req}} = E_{\text{req}} / r_{\text{req}} \quad (11)$$

ANMERKUNG Die Schweißrate in Watt je Quadratmeter stellt die Wärmemenge dar, die bei der Schweißrate, angegeben in Gramm Schweiß je Quadratmeter Hautoberfläche und Stunde, abgegeben wird. 1 W m^{-2} entspricht einem Fluss von $1,47 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ oder $2,67 \text{ g h}^{-1}$ für eine Normalperson ($1,8 \text{ m}^2$ Körperoberfläche).

6 Bewertung der erforderlichen Schweißrate

6.1 Grundlage des Bewertungsverfahrens

Die Bewertung der mit dem empfohlenen analytischen Verfahren errechneten Werte beruht auf zwei Belastungskriterien:

- a) dem maximalen Hautbenetzungsgrad, $w_{\max}$;
- b) der maximalen Schweißrate, $SW_{\max}$

und auf zwei Beanspruchungskriterien:

- c) der maximalen Rektaltemperatur, $t_{re,\max}$;
- d) dem maximalen Wasserverlust, $D_{\max}$.

Die erforderliche Schweißrate, SW_{req} , darf nicht größer sein als die maximale Schweißrate, $SW_{\max}$, die von der Person erreicht werden kann. Der erforderliche Hautbenetzungsgrad, w_{req} , darf nicht größer sein als der maximale Hautbenetzungsgrad, $w_{\max}$, der von der Person erreicht werden kann. Diese beiden Maximalwerte hängen vom Akklimatisierungszustand der Person ab.

Befindet sich die Wärmebilanz nicht im Gleichgewicht, so muss der Anstieg der Rektaltemperatur durch einen Maximalwert, $t_{re,\max}$, in der Art begrenzt werden, dass die Wahrscheinlichkeit eines pathologischen Effekts stark eingeschränkt ist.

Schließlich muss, wie immer auch die Wärmebilanz aussieht, der Wasserverlust auf einen Wert $D_{\max}$ beschränkt bleiben, der der Aufrechterhaltung des hydromineralischen Gleichgewichts im Körper entspricht.

Anhang C enthält Bezugswerte für die Belastungskriterien ($w_{\max}$ und $SW_{\max}$) sowie für die Beanspruchungskriterien ($t_{re,\max}$ und $D_{\max}$). Es sind unterschiedliche Werte für akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen sowie für den angestrebten Schutzgrad (mittlere Stufe oder 95 %-(Warn-)Stufe) angegeben.

6.2 Analyse der Arbeitssituation

Der Wärmeaustausch wird zum Zeitpunkt i aus den Werten des Körperzustands ($t_{re,i-1}$, SW_{i-1} , $t_{sk,i-1}$) errechnet, die zum Zeitpunkt der vorherigen Messung vorherrschten, und zwar in Abhängigkeit der in dem Zeitabschnitt vorherrschenden klimatischen und metabolischen Bedingungen.

- Die erforderliche Schweißrate (E_{req}), der erforderliche Hautbenetzungsgrad (w_{req}) und die erforderliche Schweißrate (SW_{req}) werden zuerst berechnet.
- Anschließend sind die vorhergesagte Verdunstungsrate (E_p), der vorhergesagte Hautbenetzungsgrad (w_p) und die vorhergesagte Schweißrate (SW_p) unter Berücksichtigung der Beschränkungen des Körpers ($w_{\max}$ und $SW_{\max}$) und der exponentiellen Reaktion des Schweißsystems zu berechnen.
- Die Wärmespeicherungsrate wird aus der Differenz der erforderlichen und der vorhergesagten Verdunstungsrate bestimmt. Diese Wärme trägt zur Erhöhung oder Verringerung der Haut- und Körpertemperatur bei. Diese beiden Parameter sowie die Rektaltemperatur werden dann bestimmt.
- Aus diesen Werten wird der Wärmeaustausch im folgenden Zeitabschnitt berechnet.

Die Entwicklung von SW_p und t_{re} wird auf diese Weise iterativ berechnet.

Bei diesem Verfahren ist es nicht nur möglich, konstante Arbeitsbedingungen zu berücksichtigen, sondern alle Bedingungen mit klimatischen Parametern oder Arbeitsbelastungsmerkmalen, die mit der Zeit schwanken.

6.3 Bestimmung der zulässigen Expositionszeit (DLE)

Die maximal zulässige Expositionszeit, D_{lim} , ist erreicht, wenn entweder die Rektaltemperatur oder der gesamte Wasserverlust die entsprechenden Grenzwerte erreicht.

In Arbeitssituationen, in denen

- entweder die maximale Verdunstungsrate, $E_{\max}$, negativ ist, was zur Kondensation von Wasserdampf an der Hautoberfläche führt oder
- die geschätzte zulässige Expositionszeit weniger als 30 min beträgt und das Phänomen des Schweißbildungsbeginns somit eine wichtige Rolle bei der Bestimmung des Verdunstungsverlustes der Person spielt,

müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden und ist eine direkte und individuelle physiologische Beobachtung der Arbeiter besonders erforderlich. Die Bedingungen für die Durchführung dieser Beobachtung sowie die anzuwendenden Messverfahren sind in ISO 9886 beschrieben.

6.4 Organisation der Hitzearbeit

Diese Norm ermöglicht den Vergleich unterschiedlicher Arten der Arbeitsorganisation und der Planung von Ruhepausen, falls dies erforderlich ist.

Anhang D enthält ein in Quick Basic geschriebenes Computerprogramm. Es ermöglicht die Berechnung und Bewertung jeder beliebigen Kombination von Sequenzen, bei der der Energieumsatz, die Merkmale der Kleidung in Bezug auf Wärme und die klimatischen Parameter bekannt sind.

Anhang E enthält einige Daten (eingegebene Daten und Ergebnisse), die bei der Bewertung eines jeden Computerprogramms, das auf der Grundlage des in Anhang B dargestellten Modells entwickelt wurde, anzuwenden sind.

Anhang A (normativ)

Symbole und Einheiten

Symbol	Bezeichnung	Einheit	Symbol in diesem Programm
-	Code =1 bei Eingabe der Schrittgeschwindigkeit, sonst 0	—	defspeed
-	Code =1 bei Eingabe der Laufrichtung, sonst 0	—	defdir
α	Anteil des Körpergewichts bei Hauttemperatur	dimensionslos	—
α_i	Wichtung von Hauttemperatur - Körperkerntemperatur zum Zeitpunkt i	dimensionslos	TskTcrwg
α_{i-1}	Wichtung von Hauttemperatur - Körperkerntemperatur zum Zeitpunkt $(i-1)$	dimensionslos	TskTcrwg0
ε	Emissionskoeffizient	dimensionslos	—
τ	Zeitkonstante	min	—
θ	Winkel zwischen Lauf- und Windrichtung	Grad	Theta
A_{Du}	Körperoberfläche	Quadratmeter	Adu
A_p	Anteil der Körperoberfläche, der mit der reflektierende Kleidung bedeckt ist	dimensionslos	Ap
A_r	effektive strahlende Fläche eines Körpers	dimensionslos	Ardu
C	Wärmefluss durch Konvektion	Watt je Quadratmeter	Conv
c_e	latente Verdunstungswärme von Wasser	Joule je Kilogramm	—
$C_{orr,cl}$	Korrekturwert für die gesamte dynamische Trockenwärmedämmung bei oder über 0,6 clo	dimensionslos	CORcl
$C_{orr,la}$	Korrekturwert für die gesamte dynamische Trockenwärmedämmung bei 0 clo	dimensionslos	CORia
$C_{orr,tot}$	Korrekturwert für die dynamische Bekleidungsisolations in Abhängigkeit der tatsächlichen Kleidung	dimensionslos	CORtot
$C_{orr,E}$	Korrekturwert für den dynamischen Permeabilitätsindex	dimensionslos	CORE
c_p	spezifische Wärme trockener Luft bei konstantem Druck	Joule je Kilogramm trockener Luft Kelvin	—
C_{res}	Wärmefluss durch Konvektion bei der Atmung	Watt je Quadratmeter	Cres
c_{sp}	spezifische Körperwärme	Watt je Quadratmeter je Kelvin	spHeat
D_{lim}	zulässige Expositionszeit	min	Dlim
$D_{lim tre}$	zulässige Expositionszeit für die Wärmespeicherung	min	Dlimtre
$D_{limloss50}$	zulässige Expositionszeit für den Wasserverlust, Durchschnittsperson	min	Dlimloss50
$D_{limloss95}$	zulässige Expositionszeit für den Wasserverlust, 95 % der arbeitenden Bevölkerung	min	Dlimloss95
D_{max}	maximaler Wasserverlust	Gramm	Dmax
D_{max50}	maximaler Wasserverlust zum Schutz einer Durchschnittsperson	Gramm	Dmax50
D_{max95}	maximaler Wasserverlust zum Schutz von 95 % der arbeitenden Bevölkerung	Gramm	Dmax95