

DIN EN ISO 7933

ICS 13.040.20; 13.180

Ersatz für
DIN EN 12515:1997-11

**Ergonomie der thermischen Umgebung –
Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch
Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung
(ISO 7933:2004);
Deutsche Fassung EN ISO 7933:2004**

Ergonomics of the thermal environment –
Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted
heat strain (ISO 7933:2004);
German version EN ISO 7933:2004

Ergonomie des ambiances thermiques –
Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul
de l'astreinte thermique prévisible (ISO 7933:2004);
Version allemande EN ISO 7933:2004

Gesamtumfang 40 Seiten

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm fällt in den Zuständigkeitsbereich des Technischen Komitees CEN/TC 122 „Ergonomie“ (Sekretariat: Deutschland). Die ihr zugrunde liegende Internationale Norm ISO 7933 wurde vom Unterkomitee SC 5 „Ergonomics of the physical environment“ (Sekretariat: Vereinigtes Königreich) des Technischen Komitees ISO/TC 159 „Ergonomics“ (Sekretariat: Deutschland) ausgearbeitet.

Auf Grund der Ergebnisse des parallelen Abstimmungsverfahrens wurde ISO 7933 als Europäische Norm EN ISO 7933 übernommen.

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.

Nationale Regelungen zur medizinischen Überwachung von Personen, die warmen Umgebungsbedingungen ausgesetzt sind, stehen möglicherweise im Widerspruch zu ISO 12894 (siehe Hinweis in der Einleitung) und müssen vorrangig beachtet werden.

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 ¹⁾	siehe E DIN EN ISO 8996
ISO 9886	siehe DIN EN ISO 9886
ISO 9920	siehe DIN EN ISO 9920

Änderungen

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

- a) Normtitel geändert;
- b) Berechnungsmodell optimiert;
- c) Grenzkriterien neuen Erkenntnissen angepasst;
- d) Normtext grundlegend überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 12515: 1997-11

1) zurzeit Entwurf.

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

E DIN EN ISO 8996, *Ergonomie des Umgebungsklimas — Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes (ISO/DIS 8996:2003); Deutsche Fassung prEN ISO 8996:2003.*

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

DIN EN ISO 9920, *Ergonomie des Umgebungsklimas — Abschätzung der Wärmeisolation und des Verdunstungswiderstandes einer Bekleidungskombination (ISO 9920:1995); Deutsche Fassung EN ISO 9920:2003.*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

**Ergonomie der thermischen Umgebung
Analytische Bestimmung und Interpretation der
Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten
Wärmebeanspruchung
(ISO 7933:2004)**

Ergonomics of the thermal environment —
Analytical determination and interpretation of heat stress
using calculation of the predicted heat strain
(ISO 7933:2004)

Ergonomie des ambiances thermiques —
Détermination analytique et interprétation de la contrainte
thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible
(ISO 7933:2004)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 8. August 2004 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Symbole	5
4 Grundlagen des Ermittlungsverfahrens	9
5 Hauptschritte der Berechnung	9
5.1 Allgemeine Wärmebilanzgleichung	9
5.2 Berechnung des erforderlicher Wärmeflusses durch Verdunstung, des erforderlichen Hautbenetzungsgrades und der erforderlichen Schweißrate	11
6 Bewertung der erforderlichen Schweißrate	12
6.1 Grundlage des Bewertungsverfahrens	12
6.2 Analyse der Arbeitssituation	12
6.3 Bestimmung der maximal zulässigen Expositionsdauer (D_{lim})	13
6.4 Organisation der Hitzearbeit	13
Anhang A (normativ) Erforderliche Daten für die Berechnung der Wärmebilanz	14
Anhang B (informativ) Kriterien für die Bestimmung der zulässigen Expositionsdauer in einem warmen Arbeitsklima	22
Anhang C (informativ) Energieumsatz	24
Anhang D (informativ) Thermische Bekleidungseigenschaften	26
Anhang E (informativ) Computerprogramm zur Berechnung des Modells der vorhergesagten Wärmebeanspruchung	28
Anhang F (normativ) Beispiele für die Berechnung des vorhergesagten Wärmebeanspruchungsmodells	35
Literaturhinweise	36

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 7933:2004) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 159 „Ergonomie“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 122 „Ergonomie“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2005 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt EN 12515:1997.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 7933:2004 wurde vom CEN als EN ISO 7933:2004 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

In weiteren Internationalen 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.

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).

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.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt ein Verfahren zur analytischen Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung fest, der eine Person in einer warmen Umgebung ausgesetzt ist. Beschrieben wird 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 Vorhersagemodell 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 Internationale 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 Expositionszeiten, bei denen die physiologische Beanspruchung annehmbar ist (d. h. keine körperlichen Schäden zu erwarten sind). Im Rahmen dieses Vorhersagemodells werden diese Expositionszeiten als „maximal zulässige Expositionszeiten“ bezeichnet.

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. Diese Internationale Norm ist daher für die Anwendung durch Personen bestimmt, die im Bereich der Ergonomie, der Arbeitshygiene usw. ausgebildet sind, damit diese die Arbeitsbedingungen bewerten können.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokumentes erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

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

ISO 9886, *Ergonomics — 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

Für die Anwendung dieses Dokumentes stimmen die Symbole und Abkürzungen, nachfolgend als „Symbole“ mit deren Einheiten bezeichnet, mit ISO 7726 überein.

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

Tabelle 1 enthält eine vollständige Liste der Symbole.

Tabelle 1 — Symbole und Einheiten

Symbol	Bezeichnung	Einheit
—	Code = 1 bei Eingabe der Schrittgeschwindigkeit, sonst 0	—
—	Code = 1 bei Eingabe der Laufrichtung, sonst 0	—
α	Anteil der Körpermasse bei Hauttemperatur	dimensionslos
α_i	Wichtung von Hauttemperatur - Körperkerntemperatur zum Zeitpunkt t_i	dimensionslos
α_{i-1}	Wichtung von Hauttemperatur - Körperkerntemperatur zum Zeitpunkt t_{i-1}	dimensionslos
ε	Emissionskoeffizient	dimensionslos
θ	Winkel zwischen Lauf- und Windrichtung	Grad
A_{Du}	Körperoberfläche nach DuBois	Quadratmeter
A_p	Anteil der Körperoberfläche, der mit der reflektierenden Kleidung bedeckt ist	dimensionslos
A_r	wirksame Strahlungsfläche eines Körpers	dimensionslos
C	konvektiver Wärmefluss (konvektive Wärmeübertragung)	Watt je Quadratmeter
c_e	latente Verdampfungswärme von Wasser	Joule je Kilogramm
$C_{orr,cl}$	Korrekturwert für die dynamische Gesamttrockenwärmeisolation bei oder über 0,6 clo	dimensionslos
$C_{orr,la}$	Korrekturwert für die dynamische Gesamttrockenwärmeisolation bei 0 clo	dimensionslos
$C_{orr,tot}$	Korrekturwert für die dynamische Bekleidungsisolation in Abhängigkeit von der tatsächlichen Bekleidung	dimensionslos
$C_{orr,E}$	Korrekturwert für den dynamischen Permeabilitätsindex	dimensionslos
c_p	spezifische Wärme von trockener Luft bei konstantem Druck	Joule je Kilogramm trockener Luft Kelvin
C_{res}	konvektiver Wärmefluss bei der Atmung	Watt je Quadratmeter
c_{sp}	spezifische Körperwärme	Watt je Quadratmeter je Kelvin
D_{lim}	maximal zulässige Expositionsdauer	Minuten
$D_{lim tre}$	maximal zulässige Expositionsdauer für die Wärmespeicherung	Minuten
$D_{limloss50}$	maximal zulässige Expositionsdauer für den Wasserverlust, Durchschnittsperson	Minuten
$D_{limloss95}$	maximal zulässige Expositionsdauer für den Wasserverlust, 95 % der arbeitenden Bevölkerung	Minuten
D_{max}	maximaler Wasserverlust	Gramm
D_{max50}	maximaler Wasserverlust zum Schutz einer Durchschnittsperson	Gramm
D_{max95}	maximaler Wasserverlust zum Schutz von 95 % der arbeitenden Bevölkerung	Gramm
DRINK	1, falls Arbeiter ungehindert trinken können, sonst 0	dimensionslos
dS_i	Wärmespeicherungsrate des Körpers während des letzten Zeitabschnitts	Watt je Quadratmeter
dS_{eq}	Wärmespeicherungsrate zur Erhöhung der Körperkerntemperatur in Verbindung mit dem Energieumsatz	Watt je Quadratmeter
E	Wärmefluss (Wärmeverlust) durch Verdunstung an der Hautoberfläche	Watt je Quadratmeter

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Bezeichnung	Einheit
E_{\max}	maximaler Wärmefluss durch Verdunstung an der Hautoberfläche	Watt je Quadratmeter
E_p	vorhergesagter Wärmefluss durch Verdunstung	Watt je Quadratmeter
E_{req}	erforderlicher Wärmefluss durch Verdunstung	Watt je Quadratmeter
E_{res}	Wärmefluss durch Verdunstung bei der Atmung	Watt je Quadratmeter
f_{cl}	Bekleidungsflächenfaktor	dimensionslos
$F_{\text{cl,R}}$	Reduktionsfaktor für den Wärmeaustausch durch Strahlung auf Grund des Tragens von Bekleidung	dimensionslos
F_r	Emissionskoeffizient reflektierender Kleidung (Reflexionskoeffizient)	dimensionslos
H_b	Körpergröße	Meter
h_{cdyn}	Koeffizient für den dynamischen konvektiven Wärmeübergang	Watt je Quadratmeter Kelvin
h_r	Wärmeaustauschkoeffizient durch Strahlung (Strahlungswärmeübergangskoeffizient)	Watt je Quadratmeter Kelvin
$I_{\text{a st}}$	thermische Isolation der statischen Grenzschicht	Quadratmeter Kelvin je Watt
$I_{\text{cl st}}$	statische Bekleidungsisolation	Quadratmeter Kelvin je Watt
I_{cl}	Bekleidungsisolation, (Wärmeisolierung durch die Kleidung)	clo
$I_{\text{tot st}}$	Gesamtwert der statischen Bekleidungsisolation	Quadratmeter Kelvin je Watt
$I_{\text{a dyn}}$	thermische Isolation der dynamischen Grenzschicht	Quadratmeter Kelvin je Watt
$I_{\text{cl dyn}}$	dynamische Bekleidungsisolation	Quadratmeter Kelvin je Watt
$I_{\text{tot dyn}}$	Gesamtwert der dynamischen Bekleidungsisolation	Quadratmeter Kelvin je Watt
i_{mst}	Permeabilitätsindex der statischen Feuchtigkeit	dimensionslos
i_{mdyn}	Permeabilitätsindex der dynamischen Feuchtigkeit	dimensionslos
incr	Zeitspanne vom Zeitpunkt t_{i-1} bis t_i	Minuten
K_{Sw}	Anteil K der vorhergesagten Schweißrate	dimensionslos
K	konduktiver Wärmefluss (Wärmeübertragung durch Wärmeleitung)	Watt je Quadratmeter
M	Energieumsatz (körpereigene Energieerzeugung)	Watt je Quadratmeter
p_a	Wasserdampfpartialdruck	Kilopascal
$p_{\text{sk,s}}$	Wasserdampfsättigungsdruck bei Hauttemperatur	Kilopascal
R	Strahlungswärmefluss (Wärmeübertragung durch Strahlung)	Watt je Quadratmeter
r_{req}	erforderliche Effektivität der Schweißverdunstung	dimensionslos
R_{tdyn}	gesamter dynamischer Verdunstungswiderstand der Kleidung und Luftgrenzschicht	Quadratmeter Kilopascal je Watt
S	Wärmespeicherung(srate) des Körpers	Watt je Quadratmeter
S_{eq}	Wärmespeicherung des Körpers zur Erhöhung der Körperkerntemperatur in Verbindung mit dem Energieumsatz	Watt je Quadratmeter
Sw_{\max}	maximale Schweißrate	Watt je Quadratmeter

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Bezeichnung	Einheit
S_{Wp}	vorhergesagte Schweißrate	Watt je Quadratmeter
$S_{Wp,i}$	vorhergesagte Schweißrate zum Zeitpunkt t_i	Watt je Quadratmeter
$S_{Wp,i-1}$	vorhergesagte Schweißrate zum Zeitpunkt t_{i-1}	Watt je Quadratmeter
S_{Wreq}	erforderliche Schweißrate	Watt je Quadratmeter
t	Zeit	Minuten
t_a	Lufttemperatur	Grad Celsius
t_{cl}	Oberflächentemperatur der Bekleidung	Grad Celsius
t_{cr}	Körperkerntemperatur	Grad Celsius
$t_{cr,eqm}$	Wert der Körperkerntemperatur im stabilen Zustand in Abhängigkeit vom Energieumsatz	Grad Celsius
$t_{cr,eq}$	Körperkerntemperatur in Abhängigkeit vom Energieumsatz	Grad Celsius
$t_{cr,eq i}$	Körperkerntemperatur in Abhängigkeit vom Energieumsatz zum Zeitpunkt t_i	Grad Celsius
$t_{cr,eq i-1}$	Körperkerntemperatur in Abhängigkeit des Energieumsatzes zum Zeitpunkt t_{i-1}	Grad Celsius
$t_{cr,i}$	Körperkerntemperatur zum Zeitpunkt t_i	Grad Celsius
$t_{cr,i-1}$	Körperkerntemperatur zum Zeitpunkt t_{i-1}	Grad Celsius
t_{ex}	Temperatur der ausgeatmeten Luft	Grad Celsius
\bar{t}_r	mittlere Strahlungstemperatur	Grad Celsius
t_{re}	rektale Temperatur	Grad Celsius
$t_{re, max}$	maximal zulässige rektale Temperatur	Grad Celsius
$t_{re,i}$	rektale Temperatur zum Zeitpunkt t_i	Grad Celsius
$t_{re,i-1}$	rektale Temperatur zum Zeitpunkt t_{i-1}	Grad Celsius
$\bar{t}_{sk,eq}$	mittlere Hauttemperatur im stabilen Zustand	Grad Celsius
$\bar{t}_{sk,eq nu}$	mittlere Hauttemperatur im stabilen Zustand bei unbedeckten Personen	Grad Celsius
$\bar{t}_{sk,eq cl}$	mittlere Hauttemperatur im stabilen Zustand bei bedeckten Personen	Grad Celsius
$\bar{t}_{sk,i}$	mittlere Hauttemperatur zum Zeitpunkt t_i	Grad Celsius
$\bar{t}_{sk,i-1}$	mittlere Hauttemperatur zum Zeitpunkt t_{i-1}	Grad Celsius
\dot{V}	Atmungs-Luftwechselrate	Liter je Minute
v_a	Luftgeschwindigkeit	Meter je Sekunde
v_{ar}	relative Luftgeschwindigkeit	Meter je Sekunde
v_w	Schrittgeschwindigkeit	Meter je Sekunde
w	Hautbenutzungsgrad	dimensionslos
W	wirksame mechanische Leistung	Watt je Quadratmeter
W_a	Feuchtegehalt	Kilogramm Wasser je Kilogramm trockene Luft

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Bezeichnung	Einheit
W_b	Körpermasse	Kilogramm
W_{ex}	Feuchtegehalt für die ausgeatmete Luft	Kilogramm Wasser je Kilogramm trockener Luft
w_{max}	maximaler Hautbenetzungsgrad	dimensionslos
w_p	vorhergesagter Hautbenetzungsgrad	dimensionslos
w_{req}	erforderlicher Hautbenetzungsgrad	dimensionslos

4 Grundlagen des Ermittlungsverfahrens

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

a) der Parameter der thermischen Umgebung:

- Lufttemperatur, t_a ;
- mittlerer Strahlungstemperatur, \bar{t}_r ;
- Wasserdampfpartialdruck, p_a ;
- Luftgeschwindigkeit, v_a .

(Diese Parameter werden abgeschätzt oder nach ISO 7726 gemessen.)

b) der durchschnittlichen Werte der Personen, die dieser Arbeitssituation ausgesetzt, bezüglich

- des Energieumsatzes, M , abgeschätzt nach ISO 8996;
- der Bekleidungsmerkmale in Bezug auf Wärme, abgeschätzt nach 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 Terme dieser Berechnungen sind in Anhang A angegeben.

Abschnitt 6 beschreibt das Bewertungsverfahren, mit dem die vorhergesagte Schweißrate, die vorhergesagte rektale Temperatur 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. Maximalwerte für diese Kriterien sind im Anhang B angegeben.

Die Genauigkeit, mit der die vorhergesagte Schweißrate und die Expositionszeiten abgeschätzt werden, hängt von dem verwendeten Modell (d. h. von den im Anhang A vorgeschlagenen Gleichungen) und den eingesetzten Maximalwerten 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

5.1.1 Allgemeines

Die Wärmebilanzgleichung des Körpers kann wie folgt aufgestellt werden:

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

Diese Gleichung besagt, dass die innere Wärmeproduktion des Körpers, die dem Energieumsatz (M) abzüglich der wirksamen mechanischen Leistung (W) entspricht, durch den Wärmeaustausch im Atmungstrakt durch Konvektion (C_{res}) und Verdunstung (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 der Gleichung (1) werden im Folgenden nacheinander im Hinblick auf die Grundlagen der Berechnung vorgestellt (die detaillierten Gleichungen sind im Anhang A angegeben).

5.1.2 Energieumsatz, M

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

Anhang C enthält Hinweise zur Abschätzung des Energieumsatzes.

5.1.3 Wirksame mechanische Leistung, W

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

5.1.4 Konvektiver Wärmefluss bei der Atmung, C_{res}

Der konvektive Wärmefluss bei der Atmung kann prinzipiell durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$C_{\text{res}} = 0,072 c_p \times \dot{V} \times \frac{t_{\text{ex}} - t_{\text{a}}}{A_{\text{Du}}} \quad (2)$$

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

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

$$E_{\text{res}} = 0,072 c_e \times \dot{V} \times \frac{W_{\text{ex}} - W_{\text{a}}}{A_{\text{Du}}} \quad (3)$$

5.1.6 Konduktiver Wärmefluss, K

Da in dieser Internationalen Norm das Risiko der Austrocknung des ganzen Körpers sowie Hyperthermie behandelt werden, kann der konduktive Wärmefluss über die in Kontakt mit festen Gegenständen stehenden Körperoberflächen quantitativ den Wärmeverlusten durch Konvektion und Strahlung angeglichen werden, die auftreten würden, wenn diese Oberflächen nicht in Kontakt mit einem festen Gegenstand stehen würden. Auf diese Weise wird der konduktive Wärmefluss nicht unmittelbar berücksichtigt.

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

5.1.7 Konvektiver Wärmefluss an der Hautoberfläche, C

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

$$C = h_{\text{cdyn}} \times f_{\text{cl}} \times (\bar{t}_{\text{sk}} - t_{\text{a}}) \quad (4)$$

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

Anhang D liefert einige Hinweise zur Bestimmung der thermischen Eigenschaften der Kleidung.

5.1.8 Strahlungswärmefluss an der Hautoberfläche, R

Der Strahlungswärmefluss kann durch folgende Gleichung angegeben werden:

$$R = h_r \times f_{cl} \times (\bar{t}_{sk} - \bar{t}_r) \quad (5)$$

wobei der Strahlungswärmeübergangskoeffizient zwischen der Kleidung und der Umgebungsluft, h_r , die Bekleidungsmerkmale, die Bewegungen der betreffenden Person sowie die Luftbewegungen berücksichtigt.

5.1.9 Wärmefluss durch Verdunstung auf der Hautoberfläche, E

Der maximale Wärmefluss durch Verdunstung auf der Hautoberfläche, E_{max} , ist derjenige, der im theoretischen Fall einer vollständig benetzten Haut erzielt werden kann. Unter diesen Bedingungen gilt

$$E_{max} = \frac{P_{sk,s} - P_a}{R_{tdyn}} \quad (6)$$

wobei der gesamte (dynamische) Verdunstungswiderstand der Kleidung und der Luftgrenzschicht, R_{tdyn} , die Bekleidungsmerkmale, die Bewegungen der betreffenden Person sowie die Luftbewegungen berücksichtigt.

Im Falle einer nur teilweise benetzten Haut ergibt sich der Wärmefluss durch Verdunstung, E , in Watt je Quadratmeter aus

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

5.1.10 Wärmespeicherung(srate) zur Erhöhung der Körperkerntemperatur in Verbindung mit dem Energieumsatz, dS_{eq}

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

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

5.1.11 Wärmespeicherung S

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

5.2 Berechnung des erforderlicher Wärmeflusses durch Verdunstung, des erforderlichen Hautbenetzungsgrades und der erforderlichen Schweißrate

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

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

Der erforderliche Wärmefluss durch Verdunstung, E_{req} , ist der Wärmefluss durch Verdunstung, der für die Aufrechterhaltung des thermischen Gleichgewichts des Körpers erforderlich und damit für die Wärmespeicherung gleich null ist. Dieser ist gegeben durch

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

Der erforderliche Hautbenetzungsgrad, w_{req} , entspricht dem Verhältnis aus dem erforderlichen Wärmefluss durch Verdunstung und dem maximalen Wärmefluss durch Verdunstung an der Hautoberfläche:

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

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

$$S_{w_{\text{req}}} = \frac{E_{\text{req}}}{r_{\text{req}}} \quad (11)$$

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. $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 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:

- dem maximalen Hautbenetzungsgrad, w_{max} ;
- der maximalen Schweißrate, $S_{w_{\text{max}}}$;

und auf zwei Beanspruchungskriterien

- der maximal zulässigen rektalen Temperatur, $t_{\text{re,max}}$;
- dem maximalen Wasserverlust, D_{max} .

Die erforderliche Schweißrate, $S_{w_{\text{req}}}$, darf nicht größer sein als die maximale Schweißrate, $S_{w_{\text{max}}}$, 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 rektalen Temperatur durch einen Maximalwert, $t_{\text{re,max}}$, in der Weise 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 B enthält Bezugswerte für die Belastungskriterien (w_{max} und $S_{w_{\text{max}}}$) sowie für die Beanspruchungskriterien ($t_{\text{re,max}}$ 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 t_i aus den Werten des Körperzustands errechnet, die zum Zeitpunkt der vorherigen Messung vorherrschten, und zwar in Abhängigkeit der in dem Zeitabschnitt vorherrschenden klimatischen und metabolischen Bedingungen.

- Der erforderliche Wärmefluss durch Verdunstung (E_{req}), der erforderliche Hautbenetzungsgrad (w_{req}) und die erforderliche Schweißrate ($S_{w_{\text{req}}}$) werden zuerst berechnet.
- Anschließend sind der vorhergesagte Wärmefluss durch Verdunstung (E_p), der vorhergesagte Hautbenetzungsgrad (w_p) und die vorhergesagte Schweißrate (S_{w_p}) unter Berücksichtigung der Beschränkungen des Körpers (w_{max} und $S_{w_{\text{max}}}$) und der exponentiellen Reaktion des Schweißsystems zu berechnen.

- Die Wärmespeicherungsrate wird aus der Differenz des erforderlichen und des vorhergesagten Wärmeflusses durch Verdunstung bestimmt. Diese Wärme trägt zur Erhöhung oder Verringerung der Haut- und Körpertemperatur bei. Diese beiden Parameter sowie die rektale Temperatur werden dann bestimmt.
- Aus diesen Werten wird der Wärmeaustausch im folgenden Zeitabschnitt berechnet.

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

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

6.3 Bestimmung der maximal zulässigen Expositionsdauer (D_{lim})

Die maximal zulässige Expositionsdauer, D_{lim} , ist erreicht, wenn entweder die rektale Temperatur oder der gesamte Wasserverlust die entsprechenden Maximalwerte erreicht.

In Arbeitssituationen, in denen

- entweder der maximale Wärmefluss durch Verdunstung an der Hautoberfläche, E_{max} , negativ ist, was zur Kondensation von Wasserdampf an der Hautoberfläche führt, oder
- die geschätzte zulässige Expositionsdauer weniger als 30 min beträgt, so dass das Phänomen des Schweißbildungsbeginns eine wichtige Rolle bei der Bestimmung des Verdunstungsverlustes der Person spielt,

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

6.4 Organisation der Hitzearbeit

Diese Internationale Norm ermöglicht, unterschiedliche Arten der Arbeitsorganisation und der Planung von Ruhepausen zu vergleichen, falls dies erforderlich ist.

Anhang E enthält ein in Quick Basic geschriebenes Computerprogramm. Dieses ermöglicht die Berechnung und Bewertung jeder beliebigen Kombination von Sequenzen, bei der Energieumsatz, die thermischen Eigenschaften der Kleidung und die klimatischen Parameter bekannt sind.

Anhang F enthält einige Daten (eingegebene Daten und Ergebnisse), die zur Validierung jedes Computerprogramms, das auf der Grundlage des in Anhang A dargestellten Modells entwickelt wurde, anzuwenden sind.

Anhang A (normativ)

Erforderliche Daten für die Berechnung der Wärmebilanz

A.1 Gültigkeitsbereich

Die Zahlenwerte und die Gleichungen, die in diesem Anhang angegeben sind, entsprechen dem derzeitigen Stand des Wissens. Einige werden bei neueren Erkenntnissen zu verändern sein.

Die in diesem Anhang beschriebenen Algorithmen wurden mit Hilfe einer Datenbank validiert, die 747 Laborversuche und 366 Feldversuche von acht Forschungseinrichtungen enthält. Tabelle A.1 gibt die Bereiche der Bedingungen an, für die das Modell der vorhergesagten Wärmebeanspruchung (PHS) als validiert betrachtet werden kann. Liegen ein oder mehrere Parameter außerhalb dieses Bereichs, wird empfohlen, das vorliegende Modell mit Bedacht anzuwenden und die zu untersuchenden Personen genau zu beobachten.

Tabelle A.1 — Bereiche, für die das PHS-Modell gilt

Parameter	Mindestwert	Höchstwert
t_a °C	15	50
p_a kPa	0	4,5
$\bar{t}_r - t_a$ °C	0	60
v_a ms ⁻¹	0	3
M W	100	450
I_{cl} clo	0,1	1,0

A.2 Bestimmung des konvektiven Wärmeflusses bei der Atmung, C_{res}

Der konvektive Wärmefluss bei der Atmung lässt sich durch folgende empirische Gleichung abschätzen:

$$C_{res} = 0,00152 M(28,56 + 0,885 t_a + 0,641 p_a) \quad (A.1)$$

A.3 Bestimmung des Wärmeflusses durch Verdunstung bei der Atmung, E_{res}

Der Wärmefluss durch Verdunstung bei der Atmung lässt sich durch folgende empirische Gleichung abschätzen:

$$E_{res} = 0,00127 M(59,34 + 0,53 t_a - 11,63 p_a) \quad (A.2)$$

A.4 Bestimmung der mittleren Hauttemperatur im stabilen Zustand

Unter den klimatischen Bedingungen, für die diese Internationale Norm gilt, kann die mittlere Hauttemperatur im stabilen Zustand in Abhängigkeit von Parametern der Arbeitssituation mit Hilfe der folgenden empirischen Terme abgeschätzt werden.

Für unbedeckte Personen ($I_{cl} \leq 0,2$)	Für bedeckte Personen ($I_{cl} \geq 0,6$)
$\bar{t}_{sk,eq\ nu} = 7,19$	$\bar{t}_{sk,eq\ cl} = 12,17$
+ 0,064 t_a	+ 0,020 t_a
+ 0,061 \bar{t}_r	+ 0,044 \bar{t}_r
- 0,348 v_a	- 0,253 v_a
+ 0,198 p_a	+ 0,194 p_a
+ 0,000 M	+ 0,005 346 M
+ 0,616 t_{re}	+ 0,512 74 t_{re}

Bei I_{cl} -Werten zwischen 0,2 und 0,6 wird die mittlere Hauttemperatur im stabilen Zustand mit Hilfe der folgenden Gleichung zwischen diesen beiden Werten extrapoliert:

$$\bar{t}_{sk,eq} = \bar{t}_{sk,eq\ nu} + 2,5 \times (\bar{t}_{sk,eq\ cl} - \bar{t}_{sk,eq\ nu}) \times (I_{cl} - 0,2) \quad (A.3)$$

A.5 Bestimmung des Istwertes der (mittleren) Hauttemperatur

Die (mittlere) Hauttemperatur $\bar{t}_{sk,i}$ zum Zeitpunkt t_i kann abgeschätzt werden

- anhand der (mittleren) Hauttemperatur $\bar{t}_{sk,i-1}$ zum Zeitpunkt t_{i-1} des vorherigen Zeitabschnittes, und
- anhand der (mittleren) Hauttemperatur im stabilen Zustand $\bar{t}_{sk,eq}$, die durch die in Gleichung (A.4) beschriebenen Terme aus den Bedingungen vorhergesagt wurde, die im letzten Zeitabschnitt herrschten.

Beträgt die Zeitkonstante für das Ansprechverhalten der Hauttemperatur 3 min, wird folgende Gleichung verwendet.

$$\bar{t}_{sk,i} = 0,716 5 \bar{t}_{sk,i-1} + 0,283 5 \bar{t}_{sk,eq} \quad (A.4)$$

A.6 Bestimmung der Wärmespeicherung des Körpers in Verbindung mit dem Energieumsatz, S_{eq}

In einer neutralen Umgebung erhöht sich bei körperlicher Betätigung mit der Zeit die Körperkerntemperatur, und zwar in Abhängigkeit vom Energieumsatz in Bezug auf das maximale Sauerstoffaufnahmevermögen der jeweiligen Person.

Für eine Durchschnittsperson kann angenommen werden, dass sich diese Gleichgewichts-Körperkerntemperatur in Abhängigkeit vom Energieumsatz nach folgender Gleichung erhöht:

$$t_{cr,eq} = 0,003 6 (M - 55) + 36,8 \quad (A.5)$$

Die Körperkerntemperatur erreicht diese Gleichgewichts-Körperkerntemperatur nach einem System erster Ordnung mit einer Zeitkonstanten von 10 min:

$$t_{cr} = 36,8 + (t_{cr,eq} - 36,8) \times \left(1 - \exp \frac{-t}{10}\right) \quad (A.6)$$

Diese Gleichung lässt sich wie folgt umformen

$$t_{cr,eq\ i} = t_{cr,eq\ i-1} \times k + t_{cr,eq} \times (1 - k) \quad (A.7)$$

Dabei ist

$$k = \exp\left(\frac{-incr}{10}\right).$$

Die Wärmespeicherung(srate), die mit diesem Anstieg verbunden ist, beträgt

$$dS_{eq} = c_{sp} \times (t_{cr,eq\ i} - t_{cr,eq\ i-1}) \times (1 - \alpha) \quad (A.8)$$

A.7 Bestimmung der statischen Isolationseigenschaften der Kleidung

Bei einer unbedeckten Person kann bei statischen Bedingungen ohne Luftbewegung oder Bewegungen der Person selbst der fühlbare Wärmeaustausch ($C + R$) wie folgt abgeschätzt werden

$$C + R = \frac{\bar{t}_{sk} - t_a}{I_{tot\ st}} \quad (A.9)$$

wobei der Widerstand unbedeckter Personen gegen statische Wärme als gleich $0,111\ m^2\ K\ W^{-1}$ angenommen werden kann.

Bei einer bedeckten Person lässt sich Gesamtwert der statischen Bekleidungsisolation, $I_{tot\ st}$, wie folgt abschätzen

$$I_{tot\ st} = I_{cl\ st} + \frac{I_{a\ st}}{f_{cl}} \quad (A.10)$$

Dabei ist das Verhältnis der bedeckten zur unbedeckten Körperoberfläche der Person (Bekleidungsflächenfaktor), f_{cl} , gegeben als

$$f_{cl} = 1 + 1,97 I_{cl\ st} \quad (A.11)$$

A.8 Bestimmung der dynamischen Isolationseigenschaften der Kleidung

Durch die Tätigkeit und die Belüftung ändern sich die Isolationseigenschaften der Kleidung und der umgebenden Luftschicht. Da sowohl Wind als auch Bewegung die Wärmedämmung verringern, muss diese korrigiert werden. Der Korrekturwert für die dynamische Bekleidungsisolation und die Isolation der äußeren Luftschicht lassen sich anhand der folgenden Gleichungen abschätzen:

$$I_{tot\ dyn} = C_{orr,tot} \times I_{tot\ st} \quad (A.12)$$

$$I_{a\ dyn} = C_{orr,la} \times I_{a\ st} \quad (A.13)$$

$$C_{orr,tot} = C_{orr,cl} = e^{(0,043 - 0,398v_{ar} + 0,066v_{ar}^2 - 0,378v_w + 0,094v_w^2)} \quad (A.14)$$

Für $I_{cl} \geq 0,6\ clo$ für unbedeckte Personen oder die umgebende Luftschicht durch

$$C_{orr,tot} = C_{orr,la} = e^{(-0,472v_{ar} + 0,047v_{ar}^2 - 0,342v_w + 0,117v_w^2)} \quad (A.15)$$

und für $0\ clo \leq I_{cl} \leq 0,6\ clo$ durch

$$C_{orr,tot} = (0,6 - I_{cl}) C_{orr,la} + I_{cl} \times C_{orr,cl} \quad (A.16)$$

Dabei sind v_{ar} auf 3 ms^{-1} und v_w auf $1,5 \text{ ms}^{-1}$ begrenzt.

Falls die Schrittgeschwindigkeit unbestimmt ist oder sich die Person nicht fortbewegt, kann der Wert für v_w berechnet werden als:

$$v_w = 0,0052 (M - 58) \quad \text{mit } v_w \leq 0,7 \text{ ms}^{-1} \quad (\text{A.17})$$

Schließlich kann $I_{cl \text{ dyn}}$ wie folgt abgeleitet werden:

$$I_{cl \text{ dyn}} = I_{tot \text{ dyn}} - \frac{I_{a \text{ dyn}}}{f_{cl}} \quad (\text{A.18})$$

A.9 Bestimmung des Wärmeaustausches durch Konvektion und Strahlung

Der Austausch von trockener Wärme kann mit Hilfe der folgenden Gleichungen abgeschätzt werden:

$$C + R = f_{cl} \times [h_{cdyn} \times (t_{cl} - t_a) + h_r \times (t_{cl} - \bar{t}_r)], \quad (\text{A.19})$$

die den Wärmeaustausch zwischen der Kleidung und der Umgebung beschreibt und

$$C + R = \left(\frac{\bar{t}_{sk} - t_{cl}}{I_{cl \text{ dyn}}} \right), \quad (\text{A.20})$$

die den Wärmeaustausch zwischen der Haut und der Kleidungsoberfläche beschreibt.

Der Koeffizient für den dynamischen konvektiven Wärmeübergang, h_{cdyn} , kann abgeschätzt werden als höchster Wert von

$$2,38 \left| \bar{t}_{sk} - t_a \right|^{0,25} \quad (\text{A.21})$$

$$3,5 + 5,2 v_{ar} \quad (\text{A.22})$$

$$8,7 v_{ar}^{0,6} \quad (\text{A.23})$$

Der Wärmeaustauschkoeffizient h_r durch Strahlung kann anhand folgender Gleichung abgeschätzt werden:

$$h_r = 5,67 \times 10^{-8} \varepsilon \times \frac{A_r}{A_{Du}} \times \frac{(t_{cl} + 273)^4 \times (\bar{t}_r + 273)^4}{t_{cl} \times \bar{t}_r} \quad (\text{A.24})$$

Der Anteil der am Wärmeaustausch durch Strahlung beteiligten Hautoberfläche $\frac{A_r}{A_{Du}}$ ist gleich 0,67 bei einer hockenden, 0,70 bei einer sitzenden und 0,77 bei einer stehenden Person.

Falls von der Person reflektierende Kleidung getragen wird, muss h_r um den Faktor $F_{cl,R}$ korrigiert werden, der gegeben ist durch:

$$F_{cl,R} = (1 - A_p) 0,97 + A_p \times F_r \quad (\text{A.25})$$

Beide Gleichungen zur Berechnung von $C + R$ müssen iterativ gelöst werden, um t_{cl} abzuleiten.

A.10 Bestimmung des maximalen Wärmeflusses durch Verdunstung an der Hautoberfläche, E_{\max}

Der maximale Wärmefluss durch Verdunstung an der Hautoberfläche ist gegeben durch:

$$E_{\max} = \frac{p_{sk,s} - p_a}{R_{tdyn}} \quad (A.26)$$

Der Verdunstungswiderstand, R_{tdyn} , wird nach folgender Gleichung abgeschätzt:

$$R_{tdyn} = \frac{I_{tot\ dyn}}{\frac{i_{mdyn}}{16,7}} \quad (A.27)$$

Dabei ist der Permeabilitätsindex der dynamischen Feuchtigkeit der Bekleidung, i_{mdyn} , gleich dem Permeabilitätsindex der statischen Feuchtigkeit, i_{mst} , der hinsichtlich des Einflusses von Luft- und Körperbewegungen korrigiert wurde.

$$i_{mdyn} = i_{mst} \times C_{orr,E} \quad (A.28)$$

mit

$$C_{orr,E} = 2,6 C_{orr,tot}^2 - 6,5 C_{orr,tot} + 4,9 \quad (A.29)$$

In dieser Gleichung ist i_{mdyn} auf 0,9 begrenzt.

A.11 Bestimmung der vorhergesagten Schweißrate (S_{wp}) und des vorhergesagten Wärmeflusses durch Verdunstung (E_p)

Das Flussdiagramm in Bild A.1 zeigt, wie die Berechnungen durchgeführt werden.

Bezüglich dieses Flussdiagramms sind die folgenden Erläuterungen erforderlich:

R1: Falls der erforderliche Wärmefluss durch Verdunstung E_{req} größer ist als die maximale Verdunstungsrate wird davon ausgegangen, dass die Haut vollständig benetzt ist: w_{req} größer als 1. w_{req} gibt die Dicke der Wasserschicht auf der Haut an und nicht den äquivalenten Anteil der Haut, der mit Schweiß bedeckt ist. Da der theoretische Wert von w_{req} größer als 1 ist, wird angenommen, dass die erforderliche Effektivität der Schweißverdunstung darunter liegt.

Für $w_{req} \leq 1$ ist diese Effektivität gegeben durch

$$r_{req} = \frac{1 - w_{req}^2}{2}$$

Für $w_{req} \geq 1$ gilt

$$r_{req} = \frac{2 - w_{req}^2}{2}$$

Dieser Wert beträgt jedoch mindestens 5 %. Dies wird bei einem theoretischen Benetzungsgrad von 1,684 erreicht.

R2: die Reaktion der Schweißrate kann durch ein System erster Ordnung mit einer Zeitkonstante von 10 min beschrieben werden. Daher ist die vorhergesagte Schweißrate ($S_{wp,i}$) zum Zeitpunkt t_i gleich einem Anteil k_{Sw} der vorhergesagten Schweißrate ($S_{wp,i-1}$) zum Zeitpunkt (t_{i-1}) des vorherigen Zeitabschnitts plus dem Anteil $(1 - k_{Sw})$ der Schweißrate, die auf Grund der im letzten Zeitabschnitt herrschenden Bedingungen erforderlich ist ($S_{w_{req}}$); und k_{Sw} ist gegeben durch

$$k_{Sw} = \exp\left(\frac{-incr}{10}\right)$$

R3: wie oben erläutert, ist es zulässig, dass der erforderliche Hautbenetzungsgrad bei der Berechnung der vorhergesagten Schweißrate theoretisch größer als 1 ist. Da der Wärmeverlust durch Verdunstung auf die Oberfläche der Wasserschicht, d. h. auf die Körperoberfläche begrenzt ist, kann der vorhergesagte Hautbenetzungsgrad nicht größer als 1 sein. Dieser Fall tritt ein, sobald die vorhergesagte Schweißrate mehr als das Doppelte der maximalen Verdunstungsrate beträgt.

A.12 Bestimmung der rektalen Temperatur

Die Wärmespeicherung im letzten Zeitabschnitt ist gegeben durch:

$$S = E_{\text{req}} - E_p + S_{\text{eq}} \quad (\text{A.30})$$

Diese Wärmespeicherung führt zu einem Anstieg der Körperkerntemperatur unter Berücksichtigung des Anstiegs der Hauttemperatur. Der Anteil der Körpermasse bei der mittleren Körperkerntemperatur ist gegeben durch:

$$(1 - \alpha) = 0,7 + 0,09 (t_{\text{cr}} - 36,8) \quad (\text{A.31})$$

Dieser Anteil ist beschränkt auf:

$$0,7 \text{ für } t_{\text{cr}} < 36,8 \text{ °C}$$

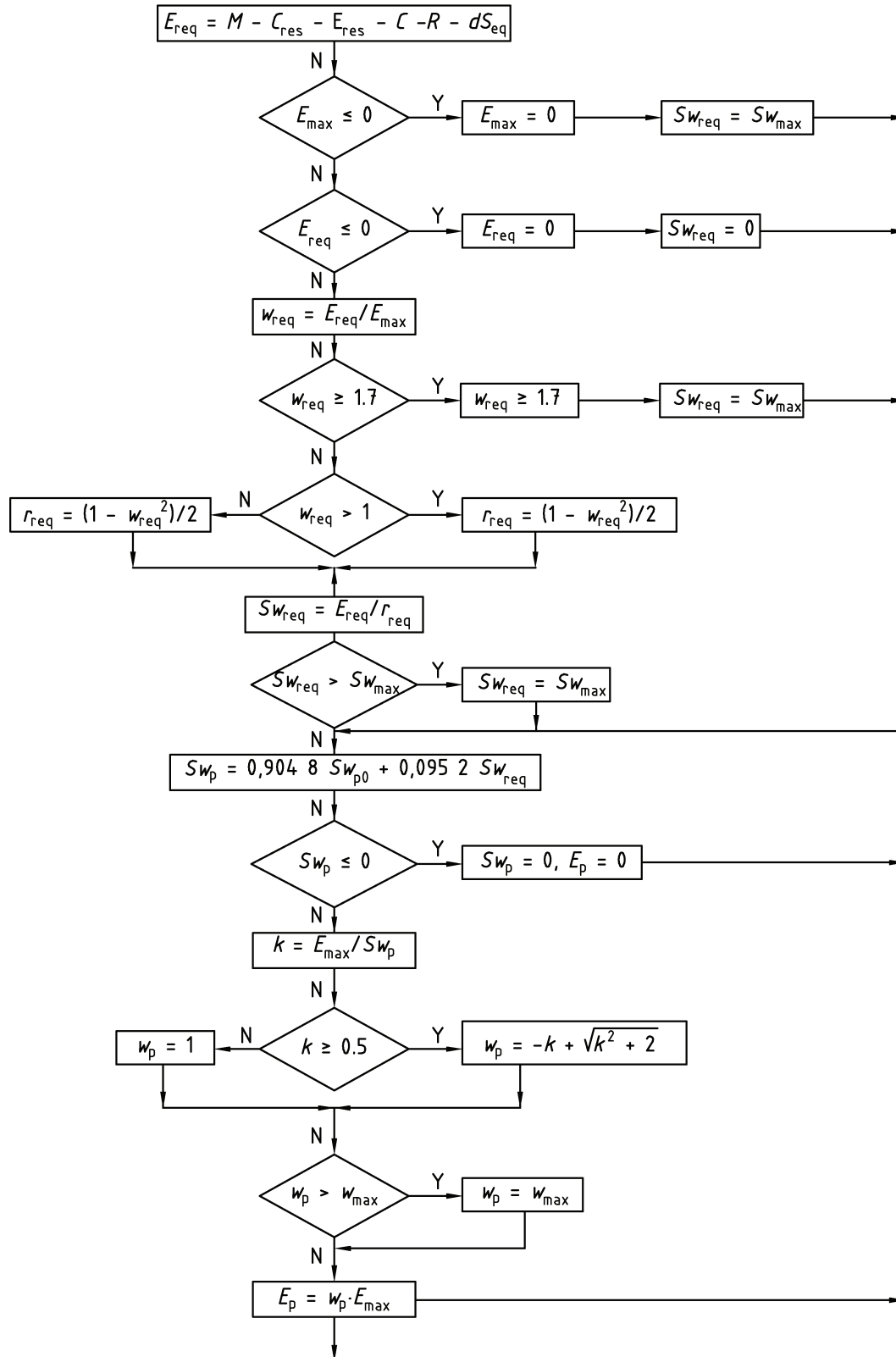
$$0,9 \text{ für } t_{\text{cr}} > 39,0 \text{ °C}$$

In Bild A.2 ist die Verteilung der Temperatur im Körper zu den Zeitpunkten (t_{i-1}) und t_i dargestellt. Daraus lässt sich berechnen, dass:

$$t_{\text{cr},i} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{2}} \left[\frac{dS_i}{c_p W_b} + t_{\text{cr},i-1} - \frac{t_{\text{cr},i-1} - \bar{t}_{\text{sk},i-1}}{2} \alpha_{i-1} - \bar{t}_{\text{sk},i} \frac{\alpha_i}{2} \right] \quad (\text{A.32})$$

Die rektale Temperatur wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$t_{\text{re},i} = t_{\text{re},i-1} + \frac{2 t_{\text{cr},i} - 1,962 t_{\text{re},i-1} - 1,31}{9} \quad (\text{A.33})$$



Legende

N Nein

J Ja

Bild A.1 — Flussdiagramm zur Bestimmung der vorhergesagten Schweißrate (S_{wp}) und der vorhergesagten Verdunstungsrate (E_p)

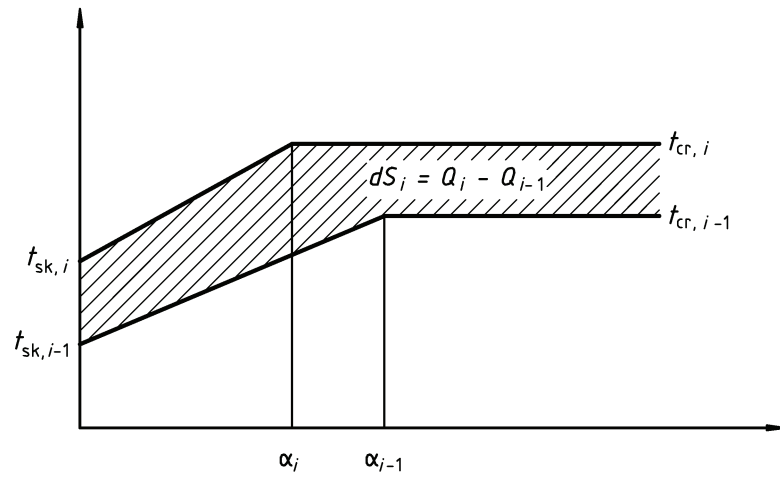


Bild A.2 — Verteilung der Wärmespeicherung im Körper zu den Zeitpunkten t_{i-1} und t_i

Anhang B (informativ)

Kriterien für die Bestimmung der zulässigen Expositionsdauer in einem warmen Arbeitsklima

B.1 Einleitung

Folgende physiologische Kriterien werden zur Bestimmung der maximal zulässigen Expositionsdauer verwendet:

- akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen;
- ein maximaler Hautbenetzungsgrad w_{\max} ;
- eine maximale Schweißrate $S_{w_{\max}}$;
- Berücksichtigung des 50 %- („Durchschnittsperson“) und des 95 %-Perzentils der arbeitenden Bevölkerung (repräsentativ für die empfindlichsten Personen);
- ein maximaler Wasserverlust D_{\max} ;
- eine maximale rektale Temperatur.

B.2 Akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen

Akklimatisierte Personen schwitzen stärker, gleichmäßiger in Bezug auf ihre Körperoberfläche und früher als nicht akklimatisierte Personen. In einer bestimmten Arbeitssituation führt dieser Umstand zu einer geringeren Wärmespeicherung (niedrigere Körperkerntemperatur) und zu einer geringeren Herz-Kreislauf-Belastung (niedrigere Herzfrequenz). Außerdem verlieren diese Personen weniger Salz durch Schwitzen und können daher einem größeren Wasserverlust standhalten.

Diese Unterscheidung zwischen akklimatisierten und nicht akklimatisierten Personen ist daher von großer Bedeutung. Sie betrifft w_{\max} und $S_{w_{\max}}$.

B.3 Maximaler Hautbenetzungsgrad, w_{\max}

Der maximale Hautbenetzungsgrad beträgt 0,85 für nicht akklimatisierte Personen und 1,0 für akklimatisierte Arbeiter.

B.4 Maximale Schweißrate, $S_{w_{\max}}$

Die maximale Schweißrate kann anhand der folgenden Gleichungen bestimmt werden:

$$S_{w_{\max}} = 2,6 (M - 32) \times A_{Du} \quad \text{g} \cdot \text{h}^{-1} \quad \text{im Bereich von } 650 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1} \text{ bis } 1\,000 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$$

oder

$$S_{w_{\max}} = (M - 32) \times A_{Du} \quad \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{im Bereich von } 250 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ bis } 400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Bei akklimatisierten Personen ist die maximale Schweißrate im Durchschnitt 25 % höher als bei nicht akklimatisierten Personen.

B.5 Maximale Austrocknung und maximaler Wasserverlust

Eine Austrocknung von 3 % führt zu einer erhöhten Herzfrequenz und einer herabgesetzten Schweißempfindlichkeit und gilt daher in der Industrie (jedoch nicht in der Armee oder bei Sportlern) als maximale Austrocknung.

Bei einer Expositionsdauer von 4 h bis 8 h ist unabhängig von der Menge des insgesamt erzeugten Schweißes eine durchschnittliche Austrocknungsrate von 60 % festzustellen, und in 95 % der Fälle liegt diese über 40 %.

Auf der Grundlage dieser Werte ist der maximale Wasserverlust festgelegt auf

- 7,5 % der Körpermasse einer Durchschnittsperson ($D_{\max 50}$); oder
- 5 % der Körpermasse von 95 % der arbeitenden Bevölkerung ($D_{\max 95}$).

Die maximale zulässige Expositionsdauer für eine Durchschnittsperson kann auf der Grundlage eines maximalen Wasserverlustes von 7,5 % der Körpermasse und auf der Grundlage von 5 % der Körpermasse berechnet werden, um 95 % der arbeitenden Bevölkerung zu schützen, sofern die Personen ungehindert trinken können (DRINK = 1).

Steht kein Wasser zur Verfügung (DRINK = 0), sollte der gesamte Wasserverlust auf 3 % beschränkt bleiben.

B.6 Maximalwert der rektalen Temperatur

In Übereinstimmung mit den Empfehlungen des Technischen Berichts Nr. 412 (1969) der WHO¹⁾: „Der Zeitpunkt, zu dem es erforderlich ist, eine kurzzeitige Beanspruchung durch intensive Wärme im Laboratorium zu unterbrechen, wird im Allgemeinen aus der rektalen Temperatur bestimmt,“ und „Die Körperkerntemperatur sollte bei einer längeren täglichen schweren Arbeit 38 °C nicht überschreiten“.

Beträgt bei einer Gruppe Arbeiter unter bestimmten Arbeitsbedingungen die mittlere rektale Temperatur 38 °C, so kann abgeschätzt werden, dass die Wahrscheinlichkeit einer höheren rektalen Temperatur bei einer bestimmten Person wie folgt begrenzt ist:

- 42,0 °C geringer als 10^{-7} (weniger als einmal in 40 Jahren unter 1 000 Arbeitern) (250 Tage je Jahr);
- 39,2 °C geringer als 10^{-4} (das Risiko besteht für weniger als eine Person bei 10 000 Schichten).

¹⁾ WHO (1969) Gesundheitsfaktoren bei der Arbeit unter Wärmebelastung. (Health factors involved in working under conditions of heat stress.) Technischer Bericht 412. WHO Scientific Group on Health Factors Involved in Working under Conditions of Heat Stress. Genf, Schweiz.

Anhang C (informativ)

Energieumsatz

ISO 8996 enthält Verfahren zur Bestimmung der körpereigenen Energieumsatzes. In den Tabellen C.1, C.2 und C.3 werden drei verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt (von einfach bis genauer), um den Energieumsatz für unterschiedliche Tätigkeiten zu bestimmen.

Tabelle C.1 — Klassifizierung des Energieumsatzes (in $W \cdot m^{-2}$) für unterschiedliche Tätigkeiten (in Anlehnung an ISO 7243 [8]). Der angegebene Energieumsatz bezieht sich auf einen Mittelwert von 60 min kontinuierliche Arbeit

Klasse	$W \cdot m^{-2}$	Beispiele
Ruhezustand	70	sitzend, Stehen im Ruhezustand
sehr leichte Tätigkeit	90	leichte Handarbeit (Schreiben, Tippen, Zeichnen); Handarbeit (kleine Handwerkzeuge, Inspektion, Zusammenbau oder Sortieren von leichten Gegenständen).
leichte Tätigkeit	115	Armarbeit (Fahren eines Fahrzeugs unter üblichen Bedingungen, Betätigen eines Fußschalters oder Pedals); Arbeiten mit Maschinen kleiner Leistung; langsames Gehen.
mittelschwere Tätigkeit	145	ununterbrochene Hand- und Armarbeiten (Einschlagen von Nägeln, Feilen); Arm- und Beinarbeit (Fahren von Lastwagen, Traktoren oder Baufahrzeugen im Gelände).
mittelschwere bis schwere Tätigkeit	175	Arm- und Körperarbeit; Arbeiten mit Presslufthammer, Zugmaschinen, ununterbrochenes Handhaben von mittelschwerem Material, Schieben oder Ziehen leichter Karren oder Schubkarren, Gehen mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h bis 5 km/h; Fahren eines Motorschlittens.
schwere Tätigkeit	200	intensive Arm- und Körperarbeit, Tragen von schwerem Material, Schaufeln; Arbeiten mit dem Vorschlaghammer; Fällen von Bäumen mit einer Kettensäge, Mähen von Hand; Graben, Gehen mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h bis 6 km/h. Schieben oder Ziehen schwer beladener Handwagen oder Schubkarren; Zerschlagen von Gussstücken; Legen von Betonplatten; Fahren eines Motorschlittens in schwer wegbarem Gelände.
sehr schwere Tätigkeit	> 230	sehr intensive Tätigkeiten mit schnellem bis maximalem Tempo; Arbeiten mit einer Axt; intensives Schaufeln oder Graben; Besteigen von Treppen, Rampen oder Leitern; schnelles Gehen mit kleinen Schritten; Laufen; Gehen mit einer Geschwindigkeit über 6 km/h, Gehen in tiefem, lockeren Schnee.

Tabelle C.2 — Energieumsatz (in $W \cdot m^{-2}$) in Abhängigkeit des einbezogenen Körpersegments und der Arbeitsintensität mit diesem Körpersegment

Körpersegment	Arbeitsintensität		
	Leicht	Mittel	schwer
beide Hände	65	85	95
ein Arm	100	120	140
beide Arme	135	150	165
gesamter Körper	190	255	345

Tabelle C.3 — Energieumsatz (in $W \cdot m^{-2}$) für bestimmte Tätigkeiten

Tätigkeit		$W \cdot m^{-2}$
Schlafen		40
Ruhezustand, Sitzen		55
Ruhezustand; Stehen		70
Gehen in der Ebene, ebener Weg mit festem Untergrund		
1) ohne Last	bei 2 km/h	110
	bei 3 km/h	140
	bei 4 km/h	165
	bei 5 km/h	200
2) mit Last	10 kg, 4 km/h	185
	30 kg, 4 km/h	250
Gehen, bergauf, ebener Weg mit festem Untergrund		
1) ohne Last	Steigung 5°, 4 km/h	180
	Steigung 15°, 3 km/h	210
	Steigung 25°, 3 km/h	300
2) mit einer Last von 20 kg	Steigung 15°, 4 km/h	270
	Steigung 25°, 4 km/h	410
Gehen, bergab, bei 5 km/h ohne Last		
	Neigung 5°	135
	Neigung 15°	140
	Neigung 25°	180
Besteigen einer um 70° geneigten Leiter mit einer Geschwindigkeit von 11,2 m/min		
	ohne Last	290
	mit einer Last von 20 kg	360
Schieben oder Ziehen eines Kippwagens, 3,6 km/h, ebener Weg mit festem Untergrund		
	Schubkraft: 12 kg	290
	Zugkraft: 16 kg	375
Schieben eines Schubkarrens, ebener Weg, 4,5 km/h, Gummireifen, Lastgewicht 100 kg		230
Feilen von Eisen		
	42 Striche/Minute	100
	60 Striche/Minute	190
Arbeiten mit einem Hammer, beide Hände, Gewicht des Hammers 4,4 kg, 15 Schläge/min		290
Tischlerarbeit		
	Sägen mit der Hand	220
	Sägen mit einer Maschine	100
	Hobeln mit der Hand	300
Maurerarbeit, 5 Ziegel je Minute		170
Eindrehen von Schrauben		100
Ausheben eines Grabens		290
Arbeiten an einer Werkzeugmaschine		
	leicht (Einrichten, Montieren)	100
	mittel (Beladen)	140
	schwer	210
Arbeiten mit einem Handwerkzeug		
	leicht (leichtes Polieren)	100
	mittel (Polieren)	160
	schwer (schweres Bohren)	230

Anhang D (informativ)

Thermische Bekleidungseigenschaften

D.1 Allgemeines

Die zu berücksichtigenden thermischen Bekleidungseigenschaften sind

- die Wärmeisolation;
- die Reflexion der Wärmestrahlung;
- die Durchlässigkeit gegenüber Wasserdampf.

D.2 Wärmeisolation

Die Wärmeisolation wird in clo angegeben. Tabelle D.1 enthält die grundlegenden Wärmeisolationswerte von ausgewählten Kombinationen von Kleidungsstücken.

Tabelle D.1 — Grundlegende Isolationswerte für ausgewählte Bekleidungskombinationen

Bekleidungskombination	I_{cl}
Slip, T-Shirt, Hose (tailliert), Socken (wadenlang), Schuhe	0,5
Unterhose, Hemd, Hose (tailliert), Socken, Schuhe	0,6
Unterhose, Overall, Socken, Schuhe	0,7
Unterhose, Hemd, Overall, Socken, Schuhe	0,8
Unterhose, Hemd, Hose, Kittel, Socken, Schuhe	0,9
Slip, Unterhemd, Unterhose, Hemd, Overall, Socken (wadenlang), Schuhe	1,0
Unterhose, Unterhemd, Hemd, Hose, Jacke, Weste, Socken, Schuhe	1,1

D.3 Reflexion der Wärmestrahlung

Tabelle D.2 enthält die Reflexionskoeffizienten (F_r) für verschiedene Spezialmaterialien, die mit Aluminium beschichtet sind, um so Wärmestrahlung zurückzuwerfen.

Tabelle D.2 — Reflexionskoeffizienten, F_r , für verschiedene Spezialmaterialien

Material	Behandlung	F_r
Baumwolle	mit Aluminiumfarbe	0,42
Viskose	mit glänzender Alufolie	0,19
Aramid (Kevlar)	mit glänzender Alufolie	0,14
Wolle	mit glänzender Alufolie	0,12
Baumwolle	mit glänzender Alufolie	0,04
Viskose	aluminiumbedampft	0,06
Aramid	aluminiumbedampft	0,04
Wolle	aluminiumbedampft	0,05
Baumwolle	aluminiumbedampft	0,05
Glasfaser	aluminiumbedampft	0,07

Diese Verringerung tritt nur bei den Körpersegmenten auf, die mit der reflektierenden Kleidung bedeckt sind. Tabelle D.3 enthält Angaben zur Bestimmung des Anteils (A_p) der betreffenden Körperfläche.

Tabelle D.3 — Anteil der Fläche eines Körpersegments zur gesamten Körperoberfläche

Fläche	A_p
Kopf und Gesicht	0,07
Brust und Bauch	0,175
Rücken	0,175
Arme	0,14
Hände	0,05
Oberschenkel	0,19
Beine	0,13
Füße	0,07

D.4 Durchlässigkeit gegenüber Wasserdampf

Der Verdunstungswiderstand der Bekleidung wird in starkem Maße von der Durchlässigkeit des Materials in Bezug auf den Dampfdruck beeinflusst, was durch den Permeabilitätsindex der statischen Feuchtigkeit (i_{mst}) angegeben werden kann. Da die vorliegende Internationale Norm nicht für Spezialkleidung gilt, kann von einem Mittelwert von $i_{mst} = 0,38$ ausgegangen werden.

Anhang E (informativ)

Computerprogramm zur Berechnung des Modells der vorhergesagten Wärmebeanspruchung

E.1 Allgemeines

Tabelle E.1 stellt die in Tabelle 1 verwendete Symbole den entsprechenden Programmsymbolen des nachfolgenden Computerprogramms gegenüber.

Eine elektronische Kopie dieses Programms zur Berechnung des Modells der vorhergesagten Wärmebeanspruchung kann von der folgenden Internetadresse

<http://www.md.ucl.ac.be/hytr/new/Download/iso7933n.txt>

heruntergeladen werden.

Tabelle E.1 — Gegenüberstellung der in Tabelle 1 angegebenen Symbole und der im Computerprogramm verwendeten Symbole

Symbol	Symbol im Computerprogramm
—	defspeed
—	defdir
α	—
α_i	TskTcrwg
α_{i-1}	TskTcrwg0
ε	—
θ	Theta
A_{Du}	Adu
A_p	Ap
A_r	Ardu
C	Conv
c_e	—
$C_{orr,cl}$	CORcl
$C_{orr,la}$	CORia
$C_{orr,tot}$	CORTot
$C_{orr,E}$	CORE
c_p	—
C_{res}	Cres
c_{sp}	spHeat
D_{lim}	Dlim
$D_{lim tre}$	Dlimtre
$D_{limloss50}$	Dlimloss50
$D_{limloss95}$	Dlimloss95
D_{max}	Dmax
D_{max50}	Dmax50
D_{max95}	Dmax95
DRINK	DRINK
dS_i	dStorage
dS_{eq}	dStoreq
E	—
E_{max}	Emax
E_p	Ep
E_{req}	Ereq
E_{res}	Eres
f_{cl}	fcl

Symbol	Symbol im Computerprogramm
$F_{cl,R}$	FclR
F_r	Fr
H_b	height
h_{cdyn}	Hcdyn
h_r	Hr
$I_{a st}$	last
$I_{cl st}$	lclst
I_{cl}	lcl
$I_{tot st}$	ltotst
$I_{a dyn}$	ladyn
$I_{cl dyn}$	lcldyn
$I_{tot dyn}$	ltotdyn
i_{mst}	imst
i_{mdyn}	imdyn
$Incr$	Incr
K	—
M	Met
p_a	Pa
$p_{sk,s}$	Psk
R	Rad
r_{req}	Eveff
R_{tdyn}	Rtdyn
S	—
S_{eq}	—
SW_{max}	SWmax
SW_p	-
$SW_{p,i}$	SWp
$SW_{p,i-1}$	SWp0
SW_{req}	SWreq
t	t
t_a	Ta
t_{cl}	Tcl
$t_{cr,eqm}$	Tcreqm
$t_{cr,eq i}$	Tcreq
$t_{cr,eq i-1}$	Tcreq0

Symbol	Symbol im Computerprogramm
t_{cr}	Tcr
$t_{cr,i}$	Tcr
$t_{cr,i-1}$	Tcr0
t_{ex}	Texp
\bar{t}_r	Tr
t_{re}	—
$t_{re, max}$	—
$t_{re,i}$	Tre
$t_{re,i-1}$	Tre0
$\bar{t}_{sk,eq}$	Tskeq
$\bar{t}_{sk,eq nu}$	Tskeqnu
$\bar{t}_{sk,eq cl}$	Tskeqcl
$\bar{t}_{sk,i}$	Tsk
$\bar{t}_{sk,i-1}$	Tsk0
\dot{V}	—
v_a	Va
v_w	Walksp
v_{ar}	Var
w	w
W	Work
W_a	—
W_b	weight
W_{ex}	—
w_{max}	wmax
w_p	wp
w_{req}	wreq

E.2 Programm

```
' INITIALISATION
  CLS
  ' The user must make sure that, at this point in the programme,
  ' the following parameters are available.
  ' Standard values must be replaced by actual values if necessary.
  ' The water replacement is supposed to be sufficient so that the workers
    can drink freely (DRINK=1), otherwise the value DRINK=0 must be used
  weight = 75: ' body mass kilograms
  height = 1.8: ' body height meters
  Adu = .202 * weight ^ .425 * height ^ .725
  spHeat = 57.83 * weight / Adu

  SWp = 0
  SWtot = 0: Tre = 36.8: Tcr = 36.8: Tsk = 34.1: Tcreq = 36.8: TskTcrwg = .3
  Dlimtre = 0: Dlimloss50 = 0: Dlimloss95 = 0
  Dmax50 = .075 * weight * 1000
  Dmax95 = .05 * weight * 1000

' EXPONENTIAL AVERAGING CONSTANTS
' Core temperature as a function of the metabolic rate: time constant: 10 minutes
  ConstTeq = EXP(-1 / 10)
' Skin Temperature: time constant: 3 minutes
  ConstTsk = EXP(-1 / 3)
' Sweat rate: time constant: 10 minutes
  ConstSW = EXP(-1 / 10)

Duration = 480: 'the duration of the work sequence in minutes

FOR time = 1 TO Duration
' INITIALISATION MIN PER MIN
Tsk0 = Tsk: Tre0 = Tre: Tcr0 = Tcr: Tcreq0 = Tcreq: TskTcrwg0 = TskTcrwg

' INPUT OF THE PRIMARY PARAMETERS
' The user must make sure that, at this point in the programme,
' the following parameters are available. In order for the user
' to test rapidly the programme, the data for the first case
' in annex E of the ISO 7933 standard are introduced.
Ta = 40: 'air temperature degrees celsius
Tr = 40: 'mean radiant temperature degrees celsius
Pa = 2.5: 'partial water vapour pressure kilopascals
Va = .3: 'air velocity metres per second
Met = 150: 'metabolic rate Watts per square meter
Work = 0: 'effective mechanical power Watts per square metre
'Posture posture = 1 sitting, =2 standing, =3 crouching
posture = 2
Icl = .5: 'static thermal insulation clo
imst = .38: 'static moisture permeability index dimensionless
Ap = .54: 'fraction of the body surface covered
  'by the reflective clothing dimensionless
Fr = .97: 'emissivity of the reflective clothing dimensionless
  '(by default: Fr=0.97)
'Ardu dimensionless
defspeed = 0: 'code =1 if walking speed entered, 0 otherwise
Walksp = 0: 'walking speed metres per second
defdir = 0: 'code =1 if walking direction entered, 0 otherwise
THETA = 0: 'angle between walking direction and wind direction degrees
```

```

accl = 100: 'code =100 if acclimatised subject, 0 otherwise
' Effective radiating area of the body
  IF posture = 1 THEN Ardu = .7
  IF posture = 2 THEN Ardu = .77
  IF posture = 3 THEN Ardu = .67

' EVALUATION OF THE MAXIMUM SWEAT RATE AS A FUNCTION OF THE METABOLIC RATE
  SWmax = (Met - 32) * Adu
  IF SWmax > 400 THEN SWmax = 400
  IF SWmax < 250 THEN SWmax = 250
' For acclimatised subjects (accl=100), the maximum Sweat Rate is greater by 25%
  IF accl >= 50 THEN SWmax = SWmax * 1.25
  IF accl < 50 THEN Wmax = .85 ELSE Wmax = 1

' EQUILIBRIUM CORE TEMPERATURE ASSOCIATED TO THE METABOLIC RATE
  Tcreqm = .0036 * Met + 36.6
' Core temperature at this minute, by exponential averaging
  Tcreq = Tcreq0 * ConstTeq + Tcreqm * (1 - ConstTeq)
' Heat storage associated with this core temperature increase during the last minute
  dStoreq = spHeat * (Tcreq - Tcreq0) * (1 - TskTcrwg0)

' SKIN TEMPERATURE PREDICTION
' Skin Temperature in equilibrium
' Clothed model
  Tskeqcl = 12.165 + .02017 * Ta + .04361 * Tr + .19354 * Pa - .25315 * Va
  Tskeqcl = Tskeqcl + .005346 * Met + .51274 * Tre
' Nude model
  Tskeqnu = 7.191 + .064 * Ta + .061 * Tr + .198 * Pa - .348 * Va
  Tskeqnu = Tskeqnu + .616 * Tre
' Value at this minute, as a function of the clothing insulation
  IF lcl >= .6 THEN Tskeq = Tskeqcl: GOTO Tsk
  IF lcl <= .2 THEN Tskeq = Tskeqnu: GOTO Tsk
' Interpolation between the values for clothed and nude subjects, if 0.2 < clo < 0.6
  Tskeq = Tskeqnu + 2.5 * (Tskeqcl - Tskeqnu) * (lcl - .2)
' Skin Temperature at this minute, by exponential averaging
Tsk:
  Tsk = Tsk0 * ConstTsk + Tskeq * (1 - ConstTsk)
' Saturated water vapour pressure at the surface of the skin
  Psk = .6105 * EXP(17.27 * Tsk / (Tsk + 237.3))

' CLOTHING INFLUENCE ON EXCHANGE COEFFICIENTS
' Static clothing insulation
  lclst = lcl * .155
' Clothing area factor
  fcl = 1 + .3 * lcl
' Static boundary layer thermal insulation in quiet air
  last = .111
' Total static insulation
  Itotst = lclst + last / fcl

' Relative velocities due to air velocity and movements
  IF defspeed > 0 THEN
    IF defdir = 1 THEN
      ' Unidirectional walking
      Var = ABS(Va - Walksp * COS(3.14159 * THETA / 180))
    ELSE
      ' Omni-directional walking
      IF Va < Walksp THEN Var = Walksp ELSE Var = Va
    END IF
  
```

EN ISO 7933:2004 (D)

```
ELSE
  ' Stationary or undefined speed
  Walksp = .0052 * (Met - 58): IF Walksp > .7 THEN Walksp = .7
  Var = Va
END IF
' Dynamic clothing insulation
' Clothing insulation correction for wind (Var) and walking (Walksp)
  Vaux = Var: IF Var > 3 THEN Vaux = 3
  Waux = Walksp: IF Walksp > 1.5 THEN Waux = 1.5
  CORcl = 1.044 * EXP((.066 * Vaux - .398) * Vaux + (.094 * Waux - .378) * Waux)
  IF CORcl > 1 THEN CORcl = 1
  CORia = EXP((.047 * Var - .472) * Var + (.117 * Waux - .342) * Waux)
  IF CORia > 1 THEN CORia = 1
  CORtot = CORcl
  IF lcl <= .6 THEN CORtot = ((.6 - lcl) * CORia + lcl * CORcl) / .6

  Itotdyn = Itotst * CORtot
  IAdyn = CORia * Iast
  Icldyn = Itotdyn - IAdyn / fcl

' Permeability index
' Correction for wind and walking
  CORE = (2.6 * CORtot - 6.5) * CORtot + 4.9
  imdyn = imst * CORE: IF imdyn > .9 THEN imdyn = .9
' Dynamic evaporative resistance
  Rtdyn = Itotdyn / imdyn / 16.7

' HEAT EXCHANGES
' Heat exchanges through respiratory convection and evaporation
  ' temperature of the expired air
  Texp = 28.56 + .115 * Ta + .641 * Pa
  Cres = .001516 * Met * (Texp - Ta)
  Eres = .00127 * Met * (59.34 + .53 * Ta - 11.63 * Pa)

' Mean temperature of the clothing: Tcl
' Dynamic convection coefficient
  Z = 3.5 + 5.2 * Var
  IF Var > 1 THEN Z = 8.7 * Var ^ .6
  Hcdyn = 2.38 * ABS(Tsk - Ta) ^ .25
  IF Z > Hcdyn THEN Hcdyn = Z

  auxR = 5.67E-08 * Ardu
  FclR = (1 - Ap) * .97 + Ap * Fr
  Tcl = Tr + .1

Tcl:
' Radiation coefficient
  Hr = FclR * auxR * ((Tcl + 273) ^ 4 - (Tr + 273) ^ 4) / (Tcl - Tr)
  Tcl1 = ((fcl * (Hcdyn * Ta + Hr * Tr) + Tsk / Icldyn)) / (fcl * (Hcdyn + Hr) + 1 / Icldyn)

IF ABS(Tcl - Tcl1) > .001 THEN
  Tcl = (Tcl + Tcl1) / 2
  GOTO Tcl
END IF

' Convection and Radiation heat exchanges
  Conv = fcl * Hcdyn * (Tcl - Ta)
  Rad = fcl * Hr * (Tcl - Tr)
' Maximum Evaporation Rate
  Emax = (Psk - Pa) / Rtdyn
' Required Evaporation Rate
```

$$E_{req} = Met - dStoreq - Work - Cres - Eres - Conv - Rad$$

' INTERPRETATION

' Required wettedness

$$w_{req} = E_{req} / E_{max}$$

' Required Sweat Rate

' If no evaporation required: no sweat rate

IF $E_{req} \leq 0$ THEN $E_{req} = 0$: $SW_{req} = 0$: GOTO SWp

' If evaporation is not possible, sweat rate is maximum

IF $E_{max} \leq 0$ THEN $E_{max} = 0$: $SW_{req} = SW_{max}$: GOTO SWp

' If required wettedness greater than 1.7: sweat rate is maximum

IF $w_{req} \geq 1.7$ THEN $w_{req} = 1.7$: $SW_{req} = SW_{max}$: GOTO SWp

' Required evaporation efficiency

$$E_{eff} = (1 - w_{req}^2) / 2$$

IF $w_{req} > 1$ THEN $E_{eff} = (2 - w_{req})^2 / 2$

$$SW_{req} = E_{req} / E_{eff}$$

IF $SW_{req} > SW_{max}$ THEN $SW_{req} = SW_{max}$

SWp:

' Predicted Sweat Rate, by exponential averaging

$$SWp = SWp \cdot ConstSW + SW_{req} \cdot (1 - ConstSW)$$

IF $SWp \leq 0$ THEN $Ep = 0$: $SWp = 0$: GOTO Storage

' Predicted Evaporation Rate

$$k = E_{max} / SWp$$

$$wp = 1$$

IF $k \geq .5$ THEN $wp = -k + \sqrt{k^2 + 2}$

IF $wp > W_{max}$ THEN $wp = W_{max}$

$$Ep = wp \cdot E_{max}$$

' Heat Storage

Storage:

$$dStorage = E_{req} - Ep + dStoreq$$

' PREDICTION OF THE CORE TEMPERATURE

$$T_{cr1} = T_{cr0}$$

TskTcr:

' Skin - Core weighting

$$TskTcrwg = .3 - .09 \cdot (T_{cr1} - 36.8)$$

IF $TskTcrwg > .3$ THEN $TskTcrwg = .3$

IF $TskTcrwg < .1$ THEN $TskTcrwg = .1$

$$T_{cr} = dStorage / spHeat + Tsk0 \cdot TskTcrwg0 / 2 - Tsk \cdot TskTcrwg / 2$$

$$T_{cr} = (T_{cr} + T_{cr0} \cdot (1 - TskTcrwg0 / 2)) / (1 - TskTcrwg / 2)$$

IF $ABS(T_{cr} - T_{cr1}) > .001$ THEN

$T_{cr1} = (T_{cr1} + T_{cr}) / 2$: GOTO TskTcr

END IF

' PREDICTION OF THE RECTAL TEMPERATURE

$$T_{re} = T_{re0} + (2 \cdot T_{cr} - 1.962 \cdot T_{re0} - 1.31) / 9$$

IF $Dlimtre = 0$ AND $T_{re} \geq 38$ THEN $Dlimtre = time$

' Total water loss rate during the minute (in $W \cdot m^{-2}$)

$$SW_{tot} = SW_{tot} + SWp + Eres$$

$$SW_{totg} = SW_{tot} \cdot 2.67 \cdot Adu / 1.8 / 60$$

IF $Dlimloss50 = 0$ AND $SW_{totg} \geq Dmax50$ THEN $Dlimloss50 = time$

IF $Dlimloss95 = 0$ AND $SW_{totg} \geq Dmax95$ THEN $Dlimloss95 = time$

IF $DRINK = 0$ then $Dlimloss95 = Dlimloss95 \cdot 0.6$: $Dlimloss50 = Dlimloss95$

' End of loop on duration

EN ISO 7933:2004 (D)

NEXT time

```
'Dlim computation
  IF Dlimloss50 = 0 THEN Dlimloss50 = Duration
  IF Dlimloss95 = 0 THEN Dlimloss95 = Duration
  IF Dlimtre = 0 THEN Dlimtre = Duration
```

```
PRINT "tre="; Tre
PRINT "SWtotg="; SWtotg
PRINT "Dlimtre="; Dlimtre
PRINT "Dlimloss50="; Dlimloss50
PRINT "Dlimloss95="; Dlimloss95
```

END

Anhang F (normativ)

Beispiele für die Berechnung des vorhergesagten Wärmebeanspruchungsmodells

Dieser Anhang enthält die Primärdaten und die Hauptausgabedaten für zehn Arbeitsbedingungen. Diese Daten sollten verwendet werden, um zu prüfen, ob eine bestimmte Version des nach Anhang E vorbereiteten Programms innerhalb einer Rechengenauigkeit von 0,1 °C für die vorhergesagte rektale Temperatur und von 1 % für den Wasserverlust korrekte Ergebnisse liefert.

Diese zehn Bedingungen wurden gewählt, um alle unterschiedlichen Komponenten des Programms zu prüfen.

Parameter (Einheiten)	Beispiele für Arbeitsbedingungen									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
akklimatisiert	ja	ja	ja	nein	nein	ja	nein	nein	ja	ja
Körperhaltung	stehend	stehend	stehend	stehend	sitzend	sitzend	stehend	stehend	stehend	stehend
t_a (°C)	40	35	30	28	35	43	35	34	40	40
p_a (kPa)	2,5	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
\bar{t}_r (°C)	40	35	50	58	35	43	35	34	40	40
v_a (m · s ⁻¹)	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
M (W · m ⁻²)	150	150	150	150	150	103	206	150	150	150
I_{cl} (clo)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,4	0,4
θ (Grad)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
Schrittge- schwindigkeit (m · s ⁻¹)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
endgültiger Wert t_{re} (°C)	37,5	39,8	37,7	41,2	37,6	37,3	39,2	41,0	37,5	37,6
Wasserverlust (g)	6 168	6 935	7 166	5 807	3 892	6 763	7 236	5 548	6 684	5 379
$D_{lim\ tre}$ (min)	480	74	480	57	480	480	70	67	480	480
$D_{limloss50}$ (min)	439	385	380	466	480	401	372	480	407	480
$D_{limloss95}$ (min)	298	256	258	314	463	271	247	318	276	339

Literaturhinweise

- [1] Malchaire J. (1999), *Evaluation and control of warm working conditions*, Proceedings of the BIOMED "Heat Stress"-Conference, Barcelona Juni, 14-15.
- [2] Malchaire J., Gebhardt H. J., Piette A. (1999), *Strategy for evaluation and prevention of risk due to work in thermal environment*, The Annals of Occupational Hygiene, 43(5), 367-376.
- [3] Havenith G., Holmér I., den Hartog E. A., Parsons K. C. (1999), *Clothing evaporative heat resistance. Proposal for improved representation in standards and models*, The Annals of Occupational Hygiene, July, 43(5), pp. 339-46.
- [4] Malchaire J., Kampmann B., Havenith G., Mehnert P., Gebhardt H. J. (2000), *Criteria for estimating acceptable exposure times in hot work environment, a review*, International Archives of Occupational and Environmental Health, 73(4), pp. 215-220.
- [5] Malchaire J., Piette A., Kampmann B., Mehnert P., Gebhardt H. J., Havenith G., Den Hartog E., Holmer I., Parsons K., Alfano G., Griefahn B. (2000), *Development and validation of the predicted heat strain model*, The Annals of Occupational Hygiene The Annals of Occupational Hygiene, 45, pp 123-135
- [6] Mehnert P., Malchaire J., Kampmann B., Piette A., Griefahn B., Gebhardt H. J. (2000), *Prediction of the average skin temperature in warm and hot environments*, European Journal of Applied Physiology. 82(1-2), pp. 52-60.
- [7] Parsons K. C., Havenith G., Holmér I., Nilsson H., Malchaire J. (1999), *The effects of wind and human movement on the heat and vapour transfer properties of clothing*, The Annals of Occupational Hygiene, 43(5), pp. 347-352.
- [8] ISO 7243, *Hot environments — Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*.