

	Warmes Umgebungsklima Analytische Bestimmung und Beurteilung der Wärmebelastung durch Berechnung der erforderlichen Schweißrate (ISO 7933:1989 modifiziert) Deutsche Fassung EN 12515:1997	DIN EN 12515
ICS 13.040.20; 13.180 Deskriptoren: Ergonomie, Wärmebelastung, Klima, Schweißrate, Arbeitsschutz Hot environments – Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate (ISO 7933:1989 modified); German version EN 12515:1997 Ambiances thermiques chaudes – Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise (ISO 7933:1989 modifiée) Version allemande EN 12515:1997 Die Europäische Norm EN 12515:1997 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit EN 12515:1997 wurde am 1997-05-03 angenommen. Nationales Vorwort Diese Norm wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 159 "Ergonomie" erarbeitet. Die Sekretariatsführung liegt bei Deutschland. Fortsetzung 20 Seiten EN Normenausschuß Ergonomie (FNErg) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.		

ICS 13.180

Deskriptoren: Ergonomie, Wärmebelastung, Klima, Schweißrate, Arbeitsschutz

Deutsche Fassung

Warmes Umgebungsklima

**Analytische Bestimmung und Beurteilung
der Wärmebelastung durch Berechnung
der erforderlichen Schweißrate
(ISO 7933: 1989 modifiziert)**

Hot environments – Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate (ISO 7933: 1989 modified)

Ambiances thermiques chaudes – Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise (ISO 7933: 1989 modifiée)

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 1997-05-03 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, Tschechische Republik und dem Vereinigten Königreich.

CEN

EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	2	4.2 Berechnung der erforderlichen Verdunstungsrate, des erforderlichen Hautbenetzungsgrades und der erforderlichen Schweißrate	5
0 Einleitung	3	5 Bewertung der erforderlichen Schweißrate	5
1 Anwendungsbereich	3	5.1 Grundlage der Bewertung	5
2 Normative Verweisungen	3	5.2 Analyse der Arbeitssituation	5
3 Grundlagen des Ermittlungsverfahrens	3	5.3 Bestimmung der zulässigen Expositionszeit (DLE, min)	6
4 Hauptschritte der Berechnung	4	5.4 Organisation der Hitzearbeit	6
4.1 Allgemeine Wärmebilanzgleichung	4	Anhang A (informativ) Für die Berechnung der Wärmebilanz erforderliche Daten	6
4.1.1 Metabolische Wärmeproduktion je Quadratmeter Körperoberfläche (M , in W/m^2)	4	Anhang B (informativ) Abschätzung der Wärmeisolation der Bekleidung (Bekleidungskombinationen)	8
4.1.2 Abgegebene mechanische Leistung je Quadratmeter Körperoberfläche (W , in W/m^2)	4	Anhang C (informativ) Kriterien für die Wärmebelastung und für die Wärmebeanspruchung	11
4.1.3 Wärmefluß durch Konvektion bei der Atmung je Quadratmeter Körperoberfläche (C_{res} , in W/m^2)	4	Anhang D (informativ) Computerprogramm zur Berechnung der erforderlichen Schweißrate und der zulässigen Expositionszeit für ein beliebiges Wärmeklima	12
4.1.4 Wärmefluß durch Verdunstung bei der Atmung je Quadratmeter Körperoberfläche (E_{res} , in W/m^2)	4	Anhang E (informativ) A-Abweichung: Nationale Abweichung, die auf Vorschriften beruht, deren Veränderung zum gegenwärtigen Zeitpunkt außerhalb der Kompetenz des CEN/CENELEC-Mitglieds liegt	20
4.1.5 Wärmefluß durch Wärmeleitung je Quadratmeter Körperoberfläche (K , in W/m^2)	4	Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	20
4.1.6 Wärmefluß durch Konvektion an der Hautoberfläche je Quadratmeter Körperoberfläche (C , in W/m^2)	4		
4.1.7 Wärmefluß durch Strahlung an der Hautoberfläche je Quadratmeter Körperoberfläche (R , in W/m^2)	4		
4.1.8 Wärmefluß durch Verdunstung an der Hautoberfläche je Quadratmeter Körperoberfläche (E , in W/m^2)	5		
4.1.9 Wärmespeicherung je Quadratmeter Körperoberfläche (S , in W/m^2)	5		

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom 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 Dezember 1997, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 1997 zurückgezogen werden.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm ISO 7933:1989 wurde von CEN als Europäische Norm genehmigt mit vereinbarten, gemeinsamen Abänderungen, die nachstehend angegeben sind:

1) Abschnitt "Einleitung"

Der dritte Absatz erhielt folgende Fassung:

"In Fällen, in denen die Wärmebelastung, ermittelt nach dem in dieser Internationalen Norm angegebenen Verfahren, sehr hoch ist, ist eine weitere detaillierte Berücksichtigung der belasteten Arbeiter erforderlich: Die Arten der anwendbaren physiologischen Messungen werden in einer zukünftigen Norm behandelt."

2) Abschnitt 1 "Anwendungsbereich"

Im Absatz 5 erhielt der dritte Satz folgende Fassung:

"In der gegenwärtigen Form läßt sich dieses Schätzverfahren nicht auf Fälle anwenden, bei denen besondere Schutzkleidung getragen wird, sowie bei hoher Strahlungstemperatur, hoher Luftgeschwindigkeit und durchnässter Kleidung."

3) Anhang A (informativ) Für die Berechnung der Wärmebilanz erforderliche Daten

In Abschnitt A.6 "Bestimmung des Verdunstungswiderstandes R_T in $m^2 kPa/W$ " wurde folgender Absatz ergänzt:

"Die dargestellte Methode zur Quantifizierung des latenten Wärmeaustauschs ist eine einfache Annäherung, die die Dampfdurchlässigkeit durch leichte poröse Kleidung berücksichtigt. Dies trifft nicht in allen Fällen zu, zum Beispiel dort, wo schweißabsorbierende Kleidung naß wird und Schweiß nicht in Dampfform, sondern durch Kapillarwirkung zur Kleidungsoberfläche transportiert wird. Obwohl Körperbewegungen und Wind (durchnässte) Luftschichten aufwirbeln kann. Die Auswirkung hängt ab von der Luftdurchlässigkeit des Stoffes, von der Gestaltung und Aufbau der Kleidungsstücke, von

der Art der Aktivität und wie die Kleidung getragen wird. Diese Effekte können die Begrenzungen des Wärmedurchgangs, verursacht durch die Kleidung, stark einengen. In einigen Fällen reichen niedrigere Schweißraten aus, um eine ausgeglichene Wärmebilanz des Körpers (Differenz von Wärmeproduktion, -aufnahme und -abgabe des menschlichen Körpers) und eine bedeutend längere Dauer der begrenzenden Expositionszeit zu erreichen als die mit den in diesem Anhang angegebenen Gleichungen berechnete."

4) Anhang C (informativ) Kriterien für die Wärmebelastung und Grenzwerte für die Wärmebeanspruchung

In Abschnitt C.2 "Individuelle Unterschiede und Akklimatisation" erhielt der fünfte Absatz Punkt d) folgende Fassung:

"d) Wasserverlust (Flüssigkeitsverlust) $D_{\max}$ in Wh/m² bzw. in g für eine Standardperson mit einer Körperoberfläche von 1,8 m².

Die empfohlenen Maximalwerte berücksichtigen einen maximalen Wasserverlust des Körpers von 4 bis 6 % der Körpermasse, und zwar in Abhängigkeit davon, ob die Person akklimatisiert ist oder nicht.

Die Norm berücksichtigt eine normale Rehydratation, jedoch nicht Menge und Häufigkeit des Trinkens sowie dessen Effektivität.

Es ist allgemein bekannt, daß Trinken (bei Arbeiten unter Hitzebelastung) förderlich ist, jedoch kompensiert es nicht vollständig die Auswirkungen des Schweißverlusts. Der im Anhang angegebene Ansatz berücksichtigt dies nicht (siehe Werte für $D_{\max}$ in Tabelle C.2): Dort wird angenommen, daß Wasser, das während der Arbeit getrunken wird, nicht zum weiteren Schwitzen auf der Haut zur Verfügung steht.

Die oben genannten allgemeinen Änderungen gegenüber der ISO 7933:1989 sind im Text der Norm durch Randstriche markiert.

0 Einleitung

Diese Europäische Norm ist Teil einer Reihe von Normen zur Bestimmung der Wärmebelastung in einem warmen Umgebungsklima.

Das Verfahren zur analytischen Abschätzung und Bewertung der Wärmebelastung ermöglicht die Voraussage von physiologischen Effekten einer Arbeit in warmem Umgebungsklima und eine rationale Bestimmung der zur Verhinderung oder Begrenzung dieser Effekte erforderlichen Maßnahmen. Dieses Verfahren wird entweder zur direkten Durchführung einer detaillierten Analyse der Hitze-arbeitsbedingungen oder als Ergänzung zu dem auf dem WBGT-Index (siehe ISO 7243) beruhenden Verfahren eingesetzt, wenn die Orientierungswerte für diesen Index überschritten werden.

In Fällen, in denen die Wärmebelastung, ermittelt nach dem in dieser Europäischen Norm angegebenen Verfahren, sehr hoch ist, ist eine weitere detaillierte Berücksichtigung der belasteten Arbeiter erforderlich: Die Arten der physiologischen Messungen, die angewendet werden können, werden in einer zukünftigen Norm behandelt.

b) die Bestimmung der für die Arbeitssituation erforderlichen Änderungen, die zur Reduzierung oder zum Ausschließen dieser Effekte erforderlich sind;

c) die Bestimmung der maximal zulässigen Expositionszeiten, bei denen die Beanspruchung auf einen noch akzeptablen Wert begrenzt wird.

Diese Europäische 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.

Das Berechnungsverfahren und die Interpretation der Wärmebilanz beruhen auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen. Zukünftige Verbesserungen im Hinblick auf die Berechnung der einzelnen Komponenten der Wärmebilanzgleichung oder ihrer Bewertung werden berücksichtigt, sobald diese verfügbar sind. In der gegenwärtigen Form läßt sich dieses Schätzverfahren nicht auf Fälle anwenden, bei denen besondere Schutzkleidung getragen wird, bei hoher Strahlungstemperatur, hoher Luftgeschwindigkeit und durchnässter Kleidung.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gibt ein Verfahren zur analytischen Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung an, der eine Person in warmem Umgebungsklima ausgesetzt ist. Sie enthält ein Verfahren sowohl zur Berechnung der Wärmebilanz als auch der Schweißrate, die der menschliche Körper produzieren muß, um diese Bilanz im Gleichgewicht zu halten: Diese Schweißrate wird die "erforderliche Schweißrate" genannt.

Die verschiedenen, bei der Bestimmung der erforderlichen Schweißrate benutzten Gleichungen zeigen den Einfluß der verschiedenen physikalischen Parameter der Umgebung auf die Wärmebelastung einer 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 muß, um das Risiko einer Überbeanspruchung zu reduzieren.

Die Hauptziele dieser Europäischen Norm sind:

- a) Die Ermittlung der Wärmebelastung in Situationen, die zu einer übermäßigen Erhöhung der Körpertemperatur oder zu übermäßigem Wasserverlust einer "Normalperson" führen können;

2 Normative Verweisungen

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

ISO 7243:1989

Warmes Umgebungsklima – Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (wet bulb globe temperature)

ISO 7726:1985

Umgebungsklima – Instrumente und Verfahren zur Messung physikalischer Größen

3 Grundlagen des Ermittlungsverfahrens

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

- a) der typischen Parameter eines warmen Umgebungsklimas:

- der Lufttemperatur, t_a (in °C);
- der mittleren Strahlungstemperatur, $\bar{t}_r$ (in °C);
- des Partialdampfdrucks, p_a (in kPa);
- der Luftgeschwindigkeit, v_a (in m/s).

(Diese Parameter sind gemäß den Angaben in ISO 7726 zu messen.)

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

- der metabolischen Wärmeproduktion (Energieumsatz pro Quadratmeter Körperoberfläche), M (in W/m²);
- des Wärmedurchlaßwiderstandes der Kleidung, I_{cl} (in m² · K/W).

Abschnitt 4 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 A.

Abschnitt 5 beschreibt das Bewertungsverfahren, mit dem die vorhergesagte Schweißrate sowie die maximal zulässigen Expositionszeiten und 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 der Abschätzung der vorhergesagten Schweißrate und der Expositionszeiten hängt ab von dem verwendeten Modell (d. h. von den im Anhang A vorgeschlagenen Gleichungen) und den eingesetzten Grenzwerten. Ferner ist sie abhängig von der Genauigkeit, mit der die physikalischen Parameter und die körpereigene Wärmeproduktion sowie der Wärmedurchlaßwiderstand der Kleidung bestimmt werden.

4 Hauptschritte der Berechnung

4.1 Allgemeine Wärmebilanzgleichung

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 nach außen abgegebenen mechanischen Leistung (W) entspricht, durch den Wärmeaustausch im Atmungstrakt durch Konvektion (C_{res}) und Verdampfung (E_{res}) sowie durch den Wärmeaustausch auf der Haut: durch Wärmeleitung (K), Konvektion (C), Strahlung (R), Verdunstung (E) sowie die Wärmespeicherung (S) im Körper, 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 A angegeben).

4.1.1 Metabolische Wärmeproduktion je Quadratmeter Körperoberfläche (M , in W/m²)

Die metabolische Wärmeproduktion M entspricht dem Energieumsatz je Quadratmeter Körperoberfläche. Die Abschätzung oder Messung des Energieumsatzes wird in einer zukünftigen Internationalen Norm behandelt.

4.1.2 Abgegebene mechanische Leistung je Quadratmeter Körperoberfläche (W , in W/m²)

W ist die abgegebene mechanische Leistung je Quadratmeter Körperoberfläche. Unter den meisten in industrieller Umgebung vorkommenden Situationen ist sie gering und kann vernachlässigt werden.

4.1.3 Wärmefluß durch Konvektion bei der Atmung je Quadratmeter Körperoberfläche (C_{res} , in W/m²)

Der Wärmefluß durch Konvektion bei der Atmung kann prinzipiell durch die folgende Beziehung angenähert werden:

$$C_{res} = c_p \dot{V} (t_{ex} - t_a) / A_{Du} \quad (2)$$

Hierin sind:

- c_p die spezifische Wärme von trockener Luft bei konstantem Druck, in J/kg trockener Luft;
- $\dot{V}$ die Atmungs-Ventilationsrate, in kg Luft je s;
- t_{ex} die Temperatur der ausgeatmeten Luft, in °C;
- t_a die Lufttemperatur, in °C;
- A_{Du} die Körperoberfläche, in m².

4.1.4 Wärmefluß durch Verdunstung bei der Atmung je Quadratmeter Körperoberfläche (E_{res} , in W/m²)

Der Wärmefluß durch Verdunstung bei der Atmung kann prinzipiell durch die folgende Beziehung ausgedrückt werden:

$$E_{res} = c_e \dot{V} (W_{ex} - W_a) / A_{Du} \quad (3)$$

Hierin sind:

- c_e die Verdampfungswärme von Wasser, in W · s/kg;
- W_{ex} der Feuchtegehalt der ausgeatmeten Luft, in kg Wasser je kg trockener Luft;
- W_a der Feuchtegehalt der eingeatmeten Luft, in kg Wasser je kg trockener Luft;
- $\dot{V}$ und A_{Du} gemäß Definition in Gleichung (2).

4.1.5 Wärmefluß durch Wärmeleitung je Quadratmeter Körperoberfläche (K , in W/m²)

In der Praxis kann der Wärmefluß durch Wärmeleitung über die in Kontakt mit festen Gegenständen stehende Körperoberfläche quantitativ durch die Wärmeflüsse durch Konvektion und Strahlung angenähert werden, die auftreten würden, wenn diese Oberflächen nicht in Kontakt mit einem festen Gegenstand wären. Daher wird der Wärmefluß durch Wärmeleitung nicht explizit berücksichtigt.

4.1.6 Wärmefluß durch Konvektion an der Hautoberfläche je Quadratmeter Körperoberfläche (C , in W/m²)

Der Wärmefluß durch Konvektion an der Hautoberfläche kann durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$C = h_c \cdot F_{cl} (\bar{t}_{sk} - t_a) \quad (4)$$

Hierin sind:

- h_c der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion, in W/(m² · K);
- F_{cl} der Reduktionsfaktor für den konvektiven Wärmeaustausch aufgrund des Tragens von Bekleidung, dimensionslos;
- $\bar{t}_{sk}$ die mittlere Hauttemperatur, in °C;
- t_a gemäß Definition in Gleichung (2).

4.1.7 Wärmefluß durch Strahlung an der Hautoberfläche je Quadratmeter Körperoberfläche (R , in W/m²)

Der Wärmefluß durch Strahlung ist eine Funktion der Houteigenschaften, der Bekleidung, der Haltung, der mittleren Hauttemperatur ($\bar{t}_{sk}$) und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebung ($\bar{t}_r$).

Dieser Wärmefluß kann durch die folgende Gleichung angegeben werden:

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

Hierin sind:

- h_r der Strahlungskoeffizient, in $W/(m^2 \cdot K)$;
 F_{cl} und $\bar{t}_{sk}$ gemäß Definition in Gleichung (4);
 $\bar{t}_r$ die mittlere Strahlungstemperatur, in $^{\circ}C$.

4.1.8 Wärmefluß durch Verdunstung an der Hautoberfläche je Quadratmeter Körperoberfläche (E , in W/m^2)

Der maximale Wärmefluß durch Verdunstung (E_{max}) in W/m^2 ist derjenige, der unter der Annahme einer vollständig benetzten Haut erzielt werden kann. Unter diesen Bedingungen gilt:

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

Hierin sind:

- $p_{sk,s}$ der Sättigungsdampfdruck bei Hauttemperatur, in kPa;
 p_a der Partialdruck des Wasserdampfes in der Luft, in kPa;
 R_T der gesamte Verdunstungswiderstand der Luftgrenzschicht sowie der Bekleidung, in m^2kPa/W .

Im Falle einer nur teilweise benetzten Haut ergibt sich die Verdunstungsrate (E) in W/m^2 :

$$E = wE_{max} \quad (7)$$

Hierin sind:

- w der Hautbenetzungsgrad (dimensionslos); w ist der Anteil der völlig feuchten Hautoberfläche an der gesamten Körperoberfläche;
 E_{max} wie in Gleichung (6) definiert.

4.1.9 Wärmespeicherung je Quadratmeter Körperoberfläche (S , in W/m^2)

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

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

Unter Berücksichtigung der für den Wärmefluß durch Wärmeleitung aufgestellten Vereinfachung kann die allgemeine Wärmeflußbilanzgleichung (1) wie folgt geschrieben werden:

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

Die erforderliche Verdunstungsrate (E_{req} , in W/m^2), definiert als die Verdunstungsrate, die für die Aufrechterhaltung des thermischen Gleichgewichts des Körpers erforderlich ist und damit für eine Wärmespeicherung gleich 0, ergibt sich wie folgt:

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

Der erforderliche Hautbenetzungsgrad (w_{req} , dimensionslos) ist definiert als das Verhältnis zwischen der erforderlichen Verdunstungsrate, E_{req} , und der maximal möglichen Verdunstungsrate, E_{max} .

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

Die Berechnung der erforderlichen Schweißrate erfolgt auf der Basis der erforderlichen Verdunstungsrate unter Berücksichtigung des Schweißanteils, der eventuell aufgrund der großen Unterschiede des örtlichen Hautbenetzungsgrades abtropft.

Die erforderliche Schweißrate (SW_{req} , in W/m^2) ergibt sich als

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

Hierin sind:

- r_{req} die Effektivität der Schweißverdunstung, abhängig vom erforderlichen Hautbenetzungsgrad w_{req} ;

E_{req} gemäß Definition in Gleichung (9).

ANMERKUNG: Die Schweißrate in W/m^2 stellt die Wärmemenge dar, die durch Verdampfung bei einer Schweißrate, ausgedrückt in g Schweiß je m^2 Hautoberfläche und h, abgegeben wird. 1 W/m^2 entspricht einer Schweißrate von 1,47 g/($m^2 \cdot h$) [für eine Normalperson (1,8 m^2 Körperoberfläche) bedeutet dies eine Schweißrate von 2,6 g/h].

5 Bewertung der erforderlichen Schweißrate

5.1 Grundlage der Bewertung

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:

- a) der maximalen Wärmespeicherung (Q_{max} , in Wh/ m^2);
- b) dem maximalen Wasserverlust (D_{max} , in g).

Die erforderliche Schweißrate SW_{req} darf nicht größer werden 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 Akklimatisationszustand der Person ab.

Befindet sich die Wärmebilanz nicht im Gleichgewicht, so muß die Wärmespeicherung durch einen Maximalwert (Q_{max}) in der Art begrenzt werden, daß der resultierende Anstieg der Körperkerntemperatur Δt_{co} (in $^{\circ}C$) nicht zu einem pathologischen Effekt führt.

Und schließlich muß, wie immer auch die Wärmebilanz aussieht, der Wasserverlust auf einen Wert D_{max} beschränkt bleiben, der eine Aufrechterhaltung des hydromineralischen Gleichgewichts im Körper garantiert.

Im Anhang C finden sich Grenzwerte für die Belastungskriterien (w_{max} und SW_{max}) sowie für die Beanspruchungskriterien (Q_{max} und D_{max}). Es sind unterschiedliche Werte für akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen sowie für den angestrebten Schutzgrad (Warnung und Gefahr) angegeben.

5.2 Analyse der Arbeitssituation

Die Analyse der Arbeitssituation besteht aus der Bestimmung der vorhergesagten Werte des Hautbenetzungsgrades, der Verdunstungsrate und der Schweißrate (w_p , E_p , SW_p), wobei die erforderlichen Werte (w_{req} , E_{req} , SW_{req}) sowie die Grenzwerte (w_{max} , SW_{max}) zu berücksichtigen sind.

Ist der erforderliche Hautbenetzungsgrad geringer als der maximal mögliche und der Schweißverlust niedriger als der maximal zulässige, so befindet sich der Körper im Wärme-gleichgewicht und die vorhergesagten Werte ergeben sich aus

$$w_p = w_{req} \quad (12)$$

$$E_p = E_{req} \quad (13)$$

$$SW_p = SW_{req} \quad (14)$$