

	Bewertung von Kälteumgebungen Bestimmung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) (ISO/TR 11079:1993) Deutsche Fassung ENV ISO 11079:1998	Vornorm DIN V ENV ISO 11079
ICS 13.180; 61.020 Deskriptoren: Bekleidung, Wärmebilanz, Isolation, Kälte, Umgebungsbedingung Evaluation of cold environments – Determination of required clothing insulation (IREQ) (ISO/TR 11079:1993); German version ENV ISO 11079:1998 Evaluation des ambiances froides – Détermination de l'isolement requis des vêtements (ISO/TR 11079:1993); Version allemande ENV ISO 11079:1998 Eine Vornorm ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird. Zur vorliegenden Vornorm ist kein Entwurf veröffentlicht worden. Nationales Vorwort DIN V ENV ISO 11079 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 159 "Ergonomie" unter dem maßgeblichen Mitwirken deutscher Fachleute des NA Ergonomie (FNErg) erstellt. Die Sekretariatsführung dieses Technischen Komitees liegt bei Deutschland. Fortsetzung 25 Seiten ENV Normenausschuß Ergonomie (FNErg) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.		



– Leerseite –

ICS 13.180

Deskriptoren:

Deutsche Fassung

Bewertung von Kälteumgebungen
**Bestimmung der erforderlichen Isolation der Bekleidung
(IREQ)**
(ISO/TR 11079:1993)

Evaluation of cold environments – Determination of required
clothing insulation (IREQ) (ISO/TR 11079:1993)

Evaluation des ambiances froides – Détermination de l'isole-
ment requis des vêtements (ISO/TR 11079:1993)

Diese Europäische Vornorm (ENV) wurde vom CEN am 1997-11-30 als eine künftige Norm zur vorläufigen Anwendung angenommen.

Die Gültigkeitsdauer dieser ENV ist zunächst auf drei Jahre begrenzt. Nach zwei Jahren werden die Mitglieder des CEN gebeten, ihre Stellungnahmen abzugeben, insbesondere über die Frage, ob die ENV in eine Europäische Norm umgewandelt werden kann.

Die CEN-Mitglieder sind verpflichtet, das Vorhandensein dieser ENV in der gleichen Weise wie bei einer EN anzukündigen und die ENV auf nationaler Ebene unverzüglich in geeigneter Weise verfügbar zu machen. Es ist zulässig, entgegenstehende nationale Normen bis zur Entscheidung über eine mögliche Umwandlung der ENV in eine EN (parallel zur ENV) beizubehalten.

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

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	A.5 Bestimmung des Koeffizienten für den Wärmeübergang durch Konvektion	14
Einführung	2	A.6 Bestimmung der relativen Luftgeschwindigkeit	14
1 Anwendungsbereich	3	A.7 Bestimmung des Koeffizienten für den Wärmeübergang durch Strahlung	14
2 Normative Verweisungen	3	Anhang B (normativ) Physiologische Kriterien bei Kälteexposition	14
3 Symbole und Abkürzungen	3	B.1 Lokale Abkühlung	14
4 Grundsätze der Bewertungsverfahren	4	B.2 Zulässige Expositionsdauer	15
5 Allgemeine Abkühlung	4	Anhang C (informativ) Wärmeisolation der Bekleidung	15
5.1 Definition der erforderlichen Isolationen, IREQ	4	C.1 Grund- und resultierende Isolation	15
5.2 Berechnung der Einflußfaktoren auf IREQ	4	C.2 Feuchtigkeitsaufnahme	15
5.3 Berechnung von IREQ	5	C.3 Individuelles Verhalten und Bekleidungs- anforderungen	16
5.4 Auswertung von IREQ	5	Anhang D (informativ) Werte zur Berechnung des Windkühl-Faktors	16
5.5 Definition und Berechnung der zulässigen Expositionsdauer, DLE	5	Anhang E (informativ) Bewertungsbeispiele	17
6 Lokale Abkühlung	6	E.1 Ununterbrochene Exposition	17
6.1 Bedingungen für die Arbeit in Innenräumen	6	E.2 Unterbrochene Exposition	18
6.2 Bedingungen für die Arbeit im Freien	6	E.3 Zulässige Expositionsdauer	18
7 Praktische Beurteilung von Kälteumgebungen ..	6	Anhang F (informativ) Computerprogramm für die Berechnung von IREQ, DLE, RT und WCI ...	18
7.1 Verfahrensweise bei der Bestimmung von IREQ ..	6	Anhang G (informativ) Literaturhinweise	24
Anhang A (normativ) Gleichungen für den Wärmeaustausch	13	Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	25
A.1 Bestimmung des Wärmeaustausches bei der Atmung	13		
A.2 Bestimmung des Wärmeaustausches durch Verdunstung	13		
A.3 Bestimmung des Verdunstungswiderstandes	13		
A.4 Bestimmung des Faktors für die Bekleidungsfläche	14		

Vorwort

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

Diese Europäische Norm muß den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 1998, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 1998 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/TR 11079:1993 wurde von CEN als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

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

Einführung

Der Windkühl-Effekt (engl.: wind chill) kommt üblicherweise in Kälteumgebungen vor, niedrige Temperaturen stellen jedoch zuerst eine Gefahr für das Wärmegleichgewicht des menschlichen Körpers dar. Durch eine geeignete Auswahl der Kleidung kann der Mensch den Wärmeverlust häufig kontrollieren und regulieren, um eine Änderung des Umgebungsklimas auszugleichen. Das hier vorgestellte Verfahren basiert daher auf der Ermittlung der Bekleidungsisolation, die erforderlich ist, um die Wärmebilanz des Körpers im Gleichgewicht zu halten. Die verwendete Wärmebilanzgleichung berücksichtigt die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Wärmeaustausch auf der Hautoberfläche und durch die Kleidung.

1 Anwendungsbereich

In diesem Technischen Bericht werden Verfahren und Strategien zur Bewertung der thermischen Belastung vorgeschlagen, die mit einem Aufenthalt in Kälteumgebungen verbunden sind. Sie sind anwendbar auf eine ununterbrochene, unterbrochene und gelegentliche Exposition, und sie gelten sowohl für Arbeiten in Innenräumen als auch im Freien. Spezifische Effekte, die mit bestimmten meteorologischen Erscheinungen verbunden sind (z. B. Niederschlag), werden nicht behandelt, sie sollten mit anderen Verfahren beurteilt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Bestimmungen, die – dadurch, daß in diesem Text auf sie verwiesen wird – Bestimmungen dieses Technischen Berichts darstellen. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichtes waren die angegebenen Ausgaben gültig. Sämtliche Normen unterliegen einer regelmäßigen Überarbeitung. Bei Verträgen, die auf dieser Internationalen Norm beruhen, werden alle Vertragsparteien aufgefordert, die Anwendung der jeweils neuesten Ausgaben der nachstehend aufgeführten Normen in Betracht zu ziehen. Die Mitglieder der IEC und der ISO führen Verzeichnisse der zur Zeit gültigen Internationalen Normen.

ISO 7726:1985

Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities

ISO 7730:1984

Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort

ISO 8996:1990

Ergonomics – Determination of metabolic heat production

ISO 9920:–¹⁾

Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble.

3 Symbole und Abkürzungen

A_{du}	Körperoberfläche, in Quadratmeter (m^2)
A_r	Körperoberfläche, die am Strahlungswärmeaustausch beteiligt ist, in Quadratmeter (m^2)
C	Wärmeaustausch durch Konvektion, in Watt je Quadratmeter (W/m^2)
c_e	latente Verdampfungswärme, in Joules je Kilogramm (J/kg)
c_p	spezifische Wärme von trockener Luft bei konstantem Druck, in Joules je Kilogramm (J/kg) trockener Luft
C_{res}	Wärmeaustausch durch Konvektion bei der Atmung, in Watt je Quadratmeter (W/m^2)
DLE	zulässige Expositionsdauer, in h
E	Wärmeverlust durch Verdunstung beim Schwitzen, in Watt je Quadratmeter (W/m^2)
E_{res}	Wärmeaustausch durch Verdunstung bei der Atmung, in Watt je Quadratmeter (W/m^2)
f_{cl}	Verhältnis zwischen der Oberfläche des bekleideten Körpers und der Oberfläche des unbekleideten Körpers, dimensionslos
h_c	Koeffizient für die Wärmeübertragung durch Konvektion, in Watt je Quadratmeter Grad Celsius ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

h_r	Koeffizient für die Wärmeübertragung durch Strahlung, in Watt je Quadratmeter Grad Celsius ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
I_a	Isolation der Luftgrenzschicht, in Quadratmeter Grad Celsius je Watt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
I_{cl}	Grundisolation der Bekleidung, in Quadratmeter Grad Celsius je Watt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
I_{clr}	resultierende Isolation der Bekleidung, in Quadratmeter Grad Celsius je Watt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
I_T	Gesamtisolation von Bekleidung und Luftgrenzschicht, in Quadratmeter Grad Celsius je Watt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
I_{Tr}	resultierende Gesamtisolation, in Quadratmeter Grad Celsius je Watt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
i_m	Woodcock-Permeabilitätsindex der Bekleidung, dimensionslos
IREQ	erforderliche Isolation der Bekleidung, in Quadratmeter Grad Celsius je Watt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
IREQ _{min}	erforderliche Mindestisolation der Bekleidung, in Quadratmeter Grad Celsius je Watt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
IREQ _{neutral}	erforderliche Isolation der Bekleidung für thermische Neutralität, in Quadratmeter Grad Celsius je Watt ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
K	konduktiver Wärmeaustausch, in Watt je Quadratmeter (W/m^2)
M	Energieumsatz, in Watt je Quadratmeter (W/m^2)
p_a	Partialdruck des Wasserdampfes in der Luft, in Kilopascal (kPa)
p_{ex}	Sättigungsdampfdruck bei der Temperatur der ausgeatmeten Luft, in Grad Celsius ($^\circ C$)
p_{sk}	Partialdruck des Wasserdampfes bei Hauttemperatur, in Kilopascal (kPa)
p_{sks}	Wasserdampfesättigungsdruck bei Hauttemperatur, in Kilopascal (kPa)
Q	Wärmegewinn oder -verlust des Körpers, in Watt Stunde je Quadratmeter ($W \cdot h/m^2$)
Q_{lim}	Grenzwert für Q , in Watt Stunde je Quadratmeter ($W \cdot h/m^2$)
R	Wärmeaustausch durch Strahlung, in Watt je Quadratmeter (W/m^2)
R_T	resultierender Verdunstungswiderstand von Bekleidung und Luftgrenzschicht, in Quadratmeter Kilopascal je Watt ($m^2 \cdot kPa/W$)
RT	Aufwärmzeit, in Stunden (h)
S	Geschwindigkeit der Änderung der Körperwärme, in Watt je Quadratmeter (W/m^2)
t_a	Lufttemperatur, in Grad Celsius ($^\circ C$)
t_{ch}	Windabkühlungs-Temperatur, in Grad Celsius ($^\circ C$)
$\bar{t}_{cl}$	Oberflächentemperatur der Bekleidung, in Grad Celsius ($^\circ C$)
t_{ex}	Temperatur der ausgeatmeten Luft, in Grad Celsius ($^\circ C$)
t_o	operative Temperatur, in Grad Celsius ($^\circ C$)
$\bar{t}_r$	mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung, in Grad Celsius ($^\circ C$)
t_{sk}	lokale Hauttemperatur, in Grad Celsius ($^\circ C$)
$\bar{t}_{sk}$	mittlere Hauttemperatur, in Grad Celsius ($^\circ C$)
V	Luftwechselrate, in Kilogramm je Sekunde (kg/s)
v_a	Luftgeschwindigkeit, in Meter je Sekunde (m/s)
v_{ar}	relative Luftgeschwindigkeit, in Meter je Sekunde (m/s)

¹⁾ Zur Veröffentlichung vorgesehen.

W	abgegebene mechanische Leistung, in Watt je Quadratmeter (W/m^2)
w	Hautbenetzungsgrad, der äquivalente Anteil der Hautoberfläche, der als vollständig benetzt angesehen werden kann, dimensionslos
W_a	Feuchtegehalt der eingeatmeten Luft, in Kilogramm Wasser je Kilogramm trockener Luft ($kg\ H_2O$ je kg trockener Luft)
W_{ex}	Feuchtegehalt der ausgeatmeten Luft, in Kilogramm Wasser je Kilogramm trockener Luft ($kg\ H_2O$ je kg trockener Luft)
WCI	Windkühl-Faktor (engl.: windchill index), in Watt je Quadratmeter (W/m^2)

4 Grundsätze der Bewertungsverfahren

Es wird vorgeschlagen, Kältebelastung hinsichtlich allgemeiner Abkühlung und lokaler Abkühlung von bestimmten Körperteilen (z. B. Extremitäten und Gesicht) zu bewerten.

In Abschnitt 5 wird ein analytisches Verfahren zur Ermittlung und Interpretation der thermischen Belastung für die Abkühlung des gesamten Körpers vorgestellt. Es basiert auf der Berechnung des Wärmeaustausches des menschlichen Körpers und der für die Aufrechterhaltung des thermischen Gleichgewichtes erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ).

Für lokale Abkühlungen werden in Abschnitt 6 mehrere Verfahren zur Bewertung von lokalen thermischen Effekten, z. B. Kälteschäden oder kalte Hände, vorgeschlagen.

Die wissenschaftlichen Grundlagen der einzelnen in diesem Fachbericht vorgeschlagenen Verfahren können in den im Anhang G zitierten einschlägigen Veröffentlichungen nachgelesen werden.

5 Allgemeine Abkühlung

Für die Wärmebilanz des menschlichen Körpers wird eine allgemeine Gleichung definiert. Die bestimmenden Faktoren in dieser Gleichung sind die thermischen Eigenschaften der Bekleidung, die Wärmeerzeugung des menschlichen Körpers und die physikalischen Kenngrößen des Umgebungs-klimas. Die Lösung der Gleichung erfolgt für die erforderliche Isolation der Bekleidung (IREQ), die zur Aufrechterhaltung des Wärmegleichgewichtes unter festgelegten Kriterien einer physiologischen Belastung erforderliche Isolation der Bekleidung (IREQ). Da es einen oberen Grenzwert für die Isolation gibt, die eine Ausführung der Bekleidung gestattet, wird die zulässige Expositionsdauer (DLE) für die Isolation der gegebenen Bekleidung auf der Basis des zulässigen Abkühlungsniveaus des Körpers berechnet. Detaillierte Gleichungen, Koeffizienten und Kriterien werden in Anhang A und B vorgeschlagen.

Das Verfahren umfaßt die folgenden Schritte, die auf Bild 1 schematisch dargestellt sind:

- Messung der Klimagrößen der Umgebung;
- Bestimmung des Aktivitätsniveaus (Energieumsatz);
- Berechnung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ);
- Vergleich mit der Isolation, die die vorhandene Bekleidung gestattet;
- Ermittlung der Bedingungen für das Wärmegleichgewicht und Berechnung der empfohlenen maximalen Expositionsdauer (DLE).

5.1 Definition der erforderlichen Isolationen, IREQ

IREQ ist definiert als die resultierende Isolation der Bekleidung, die unter den tatsächlichen Umgebungsbedingungen erforderlich ist, um den menschlichen Körper bei zulässigen

Werten für die Körper- und Hauttemperatur im Zustand des thermischen Gleichgewichts zu halten.

IREQ kann angewendet werden als:

- Maß für die Kältebelastung, in das die Einwirkungen von Lufttemperatur, mittlerer Strahlungstemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und körpereigener Wärme-erzeugung integriert sind;
- Verfahren zur Analyse der Wirkung bestimmter Parameter und Bewertung von Abhilfemaßnahmen;
- Verfahren zur Festlegung der Anforderungen an die Isolation der Bekleidung und die nachfolgende Auswahl von Bekleidung, die unter den vorherrschenden Umgebungsbedingungen zu tragen ist.

5.2 Berechnung der Einflußfaktoren auf IREQ

Die Berechnung von IREQ basiert auf einer Analyse des Wärmeaustausches des Menschen mit der Umgebung. Die folgenden Unterabschnitte geben einen Überblick über die allgemeinen Grundsätze für die Berechnung der verschiedenen Faktoren, die IREQ beeinflussen.

5.2.1 Allgemeine Wärmebilanzgleichung

Die allgemeine Wärmebilanzgleichung kann wie folgt aufgestellt werden:

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

dabei repräsentiert die linke Seite der Gleichung die körpereigene Wärmeerzeugung, die durch die rechte Seite, die die Summe aus dem Wärmeaustausch im Atmungstrakt, dem Wärmeaustausch durch die Haut und der Wärmespeicherung im Körper darstellt, ausgeglichen wird.

5.2.2 Energieumsatz

M ist der Energieumsatz, der nach den in ISO 8996 festgelegten Verfahren ermittelt wird.

5.2.3 Abgegebene mechanische Leistung

W ist die abgegebene mechanische Leistung. Dieser Wert ist in den meisten Situationen in der Industrie gering und kann vernachlässigt werden.

5.2.4 Wärmeaustausch durch Atmung

Im Atmungstrakt tritt durch Erwärmung und Sättigung der eingeatmeten Luft ein Wärmeverlust auf, der sich aus den Wärmeverlusten durch Konvektion (C_{res}) und durch Verdunstung (E_{res}) zusammensetzt, die wie folgt bestimmt werden:

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

und

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

5.2.5 Wärmeaustausch durch Verdunstung

Der Wärmeaustausch durch Verdunstung, E , wird definiert als:

$$E = w (p_{sks} - p_a) / R_T \quad (4)$$

5.2.6 Wärmeaustausch durch Wärmeleitung

Der Wärmeaustausch durch Wärmeleitung wird auf die Fläche der Körperteile bezogen, die sich in direktem Kontakt mit äußeren Oberflächen befinden. Obwohl er für das lokale Wärmegleichgewicht von signifikanter Bedeutung sein kann, ist der Wärmeaustausch durch Wärmeleitung meist gering und kann durch die Gleichungen für den Wärmeaustausch durch Konvektion und Strahlung berücksichtigt werden.

5.2.7 Wärmeaustausch durch Konvektion

Der konvektive Wärmeaustausch zwischen der Oberfläche der Bekleidung (einschließlich der unbedeckten Haut) und der Umgebung, C , ist definiert als:

$$C = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (5)$$

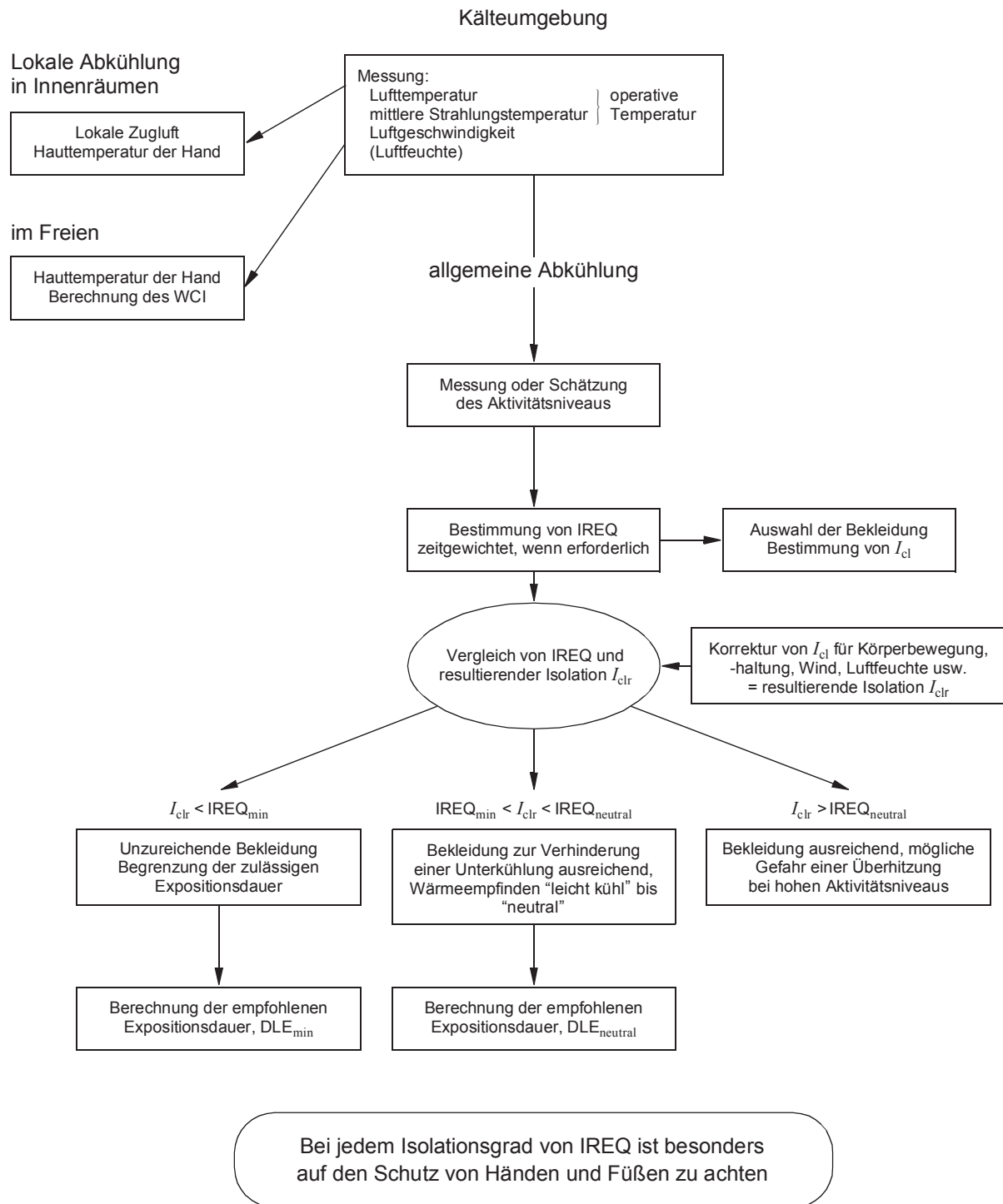


Bild 1: Verfahrensweise bei der Bewertung von Kälteumgebungen

5.2.8 Wärmeaustausch durch Strahlung

Der Strahlungswärmeaustausch zwischen der Oberfläche der Bekleidung (einschließlich der unbedeckten Haut) und der Umgebung, R , ist definiert als:

$$R = f_{cl} h_r (t_{cl} - \bar{t}_r) \quad (6)$$

5.2.9 Wärmeaustausch durch die Bekleidung

Der Wärmeaustausch durch die Bekleidung findet durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung (trockener Wärmeaustausch) und durch Übertragung von Schweiß (latente Wärme) statt. Die Wirkung der Bekleidung auf den latenten Wärmeaustausch wird durch Gleichung (4) berücksichtigt. Die Wirkung der Bekleidung auf den trockenen Wärmeaustausch wird durch die Wärmeisolation der Bekleidungskombination und den Temperaturgradienten von der Haut zur Bekleidungsoberfläche bestimmt. Der "trockene" Wärme fluß zur Oberfläche der Bekleidung entspricht der Wärmeübertragung zwischen der Bekleidungsoberfläche und der Umgebung.

Der Wärmeaustausch durch die Bekleidung kann daher anhand der tatsächlichen, resultierenden Wärmeisolation der Bekleidung, I_{clr} , wie folgt ausgedrückt werden:

$$\frac{\bar{t}_{sk} - t_{cl}}{I_{clr}} = R + C = M - W - E_{res} - C_{res} - E \quad (7)$$

5.3 Berechnung von IREQ

Auf der Basis der Gleichungen (1) bis (7) und unter den Annahmen, die bezüglich des Wärme flusses durch Wärmeleitung getroffen wurden, kann die erforderliche Isolation der Bekleidung, IREQ, jetzt nach folgenden beiden Gleichungen berechnet werden:

$$IREQ = \frac{\bar{t}_{sk} - t_{cl}}{M - W - E_{res} - C_{res} - E} \quad (8)$$

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

Gleichung (8) ist ein Ausdruck für den trockenen Wärmeaustausch auf der Oberfläche der Bekleidung, und sie wurde durch Umstellen von Gleichung (7) erhalten. Gleichung (9) gibt an, daß der trockene Wärmeaustausch die körpereigene Wärme erzeugung abzüglich der Wärmeverluste durch Verdunstung und Atmung ausgleichen muß, sie wurde durch Umstellen von Gleichung (7) erhalten.

Gleichung (8) enthält zwei unbekannte Variablen (IREQ und t_{cl}). Daher wird Gleichung (8) wie folgt nach t_{cl} aufgelöst:

$$t_{cl} = \bar{t}_{sk} - IREQ (M - W - E_{res} - C_{res} - E) \quad (10)$$

Dieser Ausdruck ersetzt t_{cl} in den Berechnungsgleichungen für die Variablen in Gleichung (9), wo t_{cl} in den Gleichungen für R und C enthalten ist [siehe Gleichungen (5) und (6)]. Der Wert für IREQ, der Gleichung (9) erfüllt, wird dann durch Iteration berechnet. Für diesen Zweck wird im Anhang F ein Computerprogramm angegeben. Die Angabe von IREQ erfolgt in $m^2 \cdot ^\circ C/W$. Der Wert darf ebenfalls in clo-Einheiten ausgedrückt werden (1 clo = $0,155 m^2 \cdot ^\circ C/W$).

5.4 Auswertung von IREQ

5.4.1 IREQ als Kälteindex

IREQ ist ein Maß für die thermische Belastung, die sich aus der kombinierten Wirkung von körpereigener Wärme erzeugung und dem Wärmeaustausch mit der Umgebung ergibt. Je größer die Kältebelastung durch die Umgebung, desto höher ist der Wert für IREQ bei einem gegebenen körperlichen Aktivitätsniveau. Bei einer gegebenen klimatischen Bedingung verringert sich die Kältebelastung (und dadurch IREQ) mit steigender Aktivität, weil die im menschlichen Körper erzeugte Wärme berücksichtigt werden muß.

5.4.2 IREQ und physiologische Beanspruchung

Das thermische Gleichgewicht kann bei unterschiedlichen Niveaus einer wärmeregulatorischen Beanspruchung erzielt werden, die durch die Werte für die mittlere Hauttemperatur, das Schwitzen (Hautbenetzungsgrad) und die Änderung des Wärmeinhaltes im menschlichen Körper festgelegt wird. Es wird vorgeschlagen, IREQ bei zwei Niveaus einer physiologischen Beanspruchung festzulegen.

a) $IREQ_{min}$ definiert die minimale Wärmeisolation, die für die Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts bei einer herabgesetzten mittleren Körpertemperatur erforderlich ist. $IREQ_{min}$ repräsentiert die maximal zulässige Abkühlung des Körpers bei der Arbeit.

b) $IREQ_{neutral}$ ist definiert als Wärmeisolation, die erforderlich ist, um einen thermisch neutralen Zustand einzustellen, d.h. das thermische Gleichgewicht wird bei normaler Körpertemperatur aufrechterhalten. Dieses Niveau repräsentiert keine oder nur eine minimale Abkühlung des menschlichen Körpers.

Die maßgeblichen physiologischen Kriterien werden im Anhang B vorgestellt und diskutiert.

5.4.3 IREQ und vorhandene Bekleidungs isolation

IREQ ist der resultierende Isolationswert der Bekleidung, der unter den tatsächlichen Bedingungen erforderlich ist. Er darf folglich als Richtwert für die Auswahl einer geeigneten Bekleidung dienen, indem ein Vergleich mit gemessenen Isolationswerten von Bekleidungskombinationen erfolgt. Nahezu sämtliche angegebenen Wärmeisolationenwerte für vorhandene Bekleidungskombinationen werden mit einem statischen "thermal manikin" (einer beheizten Puppe, die die Abmessungen eines Menschen aufweist) gemessen und als Grundisolationenwerte, I_{cl} , festgelegt. Der Wert ihrer Schutzwirkung während des Tragens, und eine Abschätzung, bis zu welchem Grad er mit IREQ vergleichbar ist, kann nur durch Bestimmung der resultierenden Bekleidungs isolation (I_{clr}) beurteilt werden. Dieses Problem wird im Anhang C behandelt.

Der Bereich zwischen $IREQ_{min}$ und $IREQ_{neutral}$ kann als Regulationszone der Bekleidung betrachtet werden, innerhalb der jede Person den angemessenen Schutzgrad wählt. Bei Isolationswerten unterhalb von $IREQ_{min}$ besteht die Gefahr einer fortschreitenden Abkühlung des Körpers. Bei Werten oberhalb von $IREQ_{neutral}$ werden die Bedingungen als warm empfunden, und es kann Übererwärmung auftreten.

5.5 Definition und Berechnung der zulässigen Expositionsdauer, DLE

Wenn der resultierende Isolationswert für eine ausgewählte Bekleidungskombination (I_{clr}) kleiner als die berechnete erforderliche Isolation (IREQ) ist, muß die Exposition zeitlich begrenzt werden, um eine fortschreitende Abkühlung des Körpers zu verhindern. Bei einer Exposition über einige Stunden ist eine bestimmte Abnahme des Wärmeinhaltes im Körper (Q) zulässig und kann zur Berechnung der Expositionsdauer herangezogen werden, wenn die Geschwindigkeit der Wärmespeicherung bekannt ist.

Die zulässige Expositionsdauer (DLE) für Kälteumgebungen ist definiert als empfohlene maximale Dauer der Exposition mit der vorhandenen oder ausgewählten Bekleidung. DLE wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$DLE = Q_{lim}/S \quad (11)$$

hierbei ist Q_{lim} der Grenzwert für Q , und S wird aus Gleichung (12) berechnet, in der t_{cl} durch den Ausdruck in Gleichung (13) ersetzt wird. Die verfügbare Isolation (I_{clr}) ersetzt IREQ und wird zur Berechnung von t_{cl} und S verwendet. Die Gleichung wird dann durch mathematische Iteration gelöst.

$$S = M - W - C_{\text{res}} - E_{\text{res}} - E - R - C \quad (12)$$

$$t_{\text{cl}} = \bar{t}_{\text{sk}} - I_{\text{clr}} (M - W - C_{\text{res}} - E_{\text{res}} - E - S) \quad (13)$$

DLE darf für beide Beanspruchungsniveaus (siehe 5.4.2) berechnet werden. Für die Verringerung des Wärmehaltes im Körper wird dieselbe Menge eingesetzt. Das Defizit bei der Wärmeisolation zwischen der ausgewählten Bekleidung und IREQ_{min} ist immer kleiner als das zwischen der ausgewählten Bekleidung und $\text{IREQ}_{\text{neutral}}$. Demzufolge verlängert sich für IREQ_{min} die Expositionsdauer (DLE) bei höherem Beanspruchungsniveau. Wenn der Arbeiter zum Beginn der Exposition ein bestimmtes Wärmedefizit angenommen hat, sollte die Expositionsdauer entsprechend verringert werden.

Nach der Exposition sollte durch eine Aufwärmphase ermöglicht werden, daß sich das normale Wärme Gleichgewicht des Körpers wieder einstellt. Die Aufwärmzeit (RT) wird auf dieselbe Weise berechnet wie DLE, indem die "Kältebedingungen" durch die Expositionsbedingungen während der Aufwärmphase substituiert werden. Anders ausgedrückt ist $\text{RT} = Q_{\text{lim}}/S'$, S' ist hierbei die Geschwindigkeit der Wärmespeicherung (positiv) und wird aus den Gleichungen (12) und (13) für die Expositionsbedingungen während der Aufwärmphase berechnet. Da angenommen wird, daß die Aufwärmung beginnt, wenn der Körper ein bestimmtes Wärmedefizit erzielt hat, sollte Q_{lim} bei der Berechnung von RT denselben Wert aufweisen.

Die anzuwendenden physiologischen Kriterien sind im Anhang B dargestellt, und Beispiele für die Anwendung von DLE und RT werden im Anhang D gegeben.

6 Lokale Abkühlung

Lokale Abkühlung eines Körperteils, besonders Hände, Füße und Kopf, kann Unbehaglichkeit, eine Verschlechterung der manuellen und physischen Leistungsfähigkeit und Kälteschäden hervorrufen. Der Umfang der Kenntnisse zur Reaktion auf lokale Abkühlung ist nicht ausreichend, um ein Einzelbewertungsverfahren zu entwickeln. Es werden einige Näherungen vorgeschlagen und mehr Forschungsarbeiten zu diesem Thema ermutigt.

Die Wirkung von lokaler Abkühlung sollte für Innenraumbedingungen und die Bedingungen im Freien getrennt bewertet werden. Das Umgebungsklima in Innenräumen kann relativ leicht technisch verändert werden, die äußeren Umgebungsbedingungen hingegen werden durch Wetter und Klima bestimmt, und Schutzmaßnahmen umfassen meist die Anpassung der Bekleidung oder die Kontrolle der Exposition. Bei sehr niedrigen Temperaturen können Atem- und Augenschutz erforderlich sein.

6.1 Bedingungen für die Arbeit in Innenräumen

Leichte, stationäre Arbeit führt dazu, daß eine Person anfälliger gegen die unangenehme Wirkung einer lokalen Abkühlung ist, die beispielsweise durch Zugluft oder Strahlungswärmeverlust an kalte Oberflächen verursacht werden. Die Bewertung der Unbehaglichkeit, die auf diese Faktoren zurückzuführen ist, sollte anhand derselben Kriterien erfolgen, die für gemäßigtes Umgebungsklima (ISO 7730) herangezogen werden. Zusätzlich wird ein physiologisches Kriterium angewendet, das auf die Hauttemperatur der Hand bezogen ist.

6.2 Bedingungen für die Arbeit im Freien

Für Außenbedingungen wird die Kältebelastung durch Berechnung der lokalen Kühlwirkung des Windes bestimmt, d. h. der Windkühl-Faktor. Ergänzend dazu werden Messungen der Hauttemperatur der Hand angewendet.

6.2.1 Definition und Berechnung des Windkühl-Faktors

Der Windkühl-Faktor (WCI) ist definiert als die Geschwindig-

keit des Wärmeverlustes eines ungeschützten Bereiches der Hautoberfläche. Er ergibt sich aus der allgemeinen Gleichung:

$$\text{WCI} = (h_c + h_r) (t_{\text{sk}} - t_a) \quad (14)$$

dabei sind die Werte für die Koeffizienten h_c und h_r , diejenigen für ein lokales Hautsegment. Der Wert für h_r ist nahezu konstant und unabhängig vom Wind, bei hohen Luftgeschwindigkeiten wird er im Vergleich zu h_c klein. Der Ausdruck kann für die Wärmeübergangskoeffizienten verwendet werden. Beispiele für die Ermittlung von WCI und t_{ch} werden im Anhang D gegeben.

7 Praktische Beurteilung von Kälteumgebungen

7.1 Verfahrensweise bei der Bestimmung von IREQ

Die Verfahrensweise für die Beurteilung von Kälteumgebungen ist schematisch auf Bild 1 dargestellt und verläuft wie folgt:

a) Folgende Klimaparameter werden nach ISO 7726 gemessen:

- 1) Lufttemperatur;
- 2) mittlere Strahlungstemperatur;
- 3) Luftgeschwindigkeit;
- 4) Luftfeuchte.

Luft- und mittlere Strahlungstemperatur dürfen durch die operative Temperatur ersetzt werden. Der Wassergehalt der Luft ist bei tiefen Temperaturen sehr gering, so daß unterhalb von -5°C ein einheitlicher Wert von 50 % relativer Luftfeuchte verwendet werden darf.

b) Bestimmung der körpereigenen Wärmeerzeugung nach ISO 8996.

c) Bestimmung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) nach 5.3 oder durch direktes Ablesen aus den graphischen Darstellungen auf den Bildern 2 bis 6. Bei unterbrochener Exposition oder Tätigkeit (z. B. festgelegte Arbeits- und Ruhezeiten) wird IREQ für jede unterschiedliche Arbeits- und Ruhephase errechnet, und es wird der zeitgewichtete Durchschnittswert für ununterbrochene Exposition berechnet. Die Zeitspanne der ununterbrochenen Exposition muß mindestens 1 h betragen und darf 2 h nicht überschreiten, dies hängt von der Organisation und Art der Tätigkeit ab.

d) Für die ausgewählte oder verfügbare Bekleidungskombination wird die Grundisolation der Bekleidung (I_{cl}) durch Messungen oder anhand von Tabellen (siehe ISO 9920 und Anhang C) bestimmt. Auf der Basis von I_{cl} wird die resultierende Bekleidungsisolation (I_{clr}) berechnet, um die Wirkung von Körperbewegung, -haltung und Wind zu berücksichtigen (siehe Anhang C). Einen repräsentativen Wert für I_{clr} erhält man ebenfalls aus Messungen nach prEN 342.

e) Die Bedingungen für das Wärme Gleichgewicht werden auf der Basis eines Vergleichs von IREQ und I_{clr} bestimmt. Hierfür gibt es drei Situationsmöglichkeiten:

1) $I_{\text{clr}} < \text{IREQ}_{\text{min}}$

Die gewählte Bekleidungskombination bietet keine ausreichende Wärmeisolation, um ein Abkühlen des Körpers zu verhindern. Bei fortschreitender Exposition besteht zunehmende Gefahr von Unterkühlung.

2) $\text{IREQ}_{\text{min}} \leq I_{\text{clr}} \leq \text{IREQ}_{\text{neutral}}$

Die gewählte Bekleidungskombination gestattet eine ausreichende Wärmeisolation. Der Grad der physiologischen Beanspruchung liegt im zulässigen Bereich, die thermischen Bedingungen werden als "leicht kühl" oder "neutral" empfunden.