Inhaltsverzeichnis

7.1 Klima 1
7.1.1 Art der Gefährdungen und ihre Wirkungen - Kälte 5
7.1.2 Art der Gefährdungen und ihre Wirkungen - Hitze 6
7.1.3 Ermittlung und Beurteilung - Kälte 7
7.1.4 Ermittlung und Beurteilung - Hitze 8
7.1.5 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle - Kälte 12
7.1.6 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle - Hitze 14
7.1.7 Vorschriften, Regelwerke, Literatur - Kälte 15
7.1.8 Vorschriften, Regelwerke, Literatur - Hitze 16
7.1.9 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter - Kälte 18
7.1.10 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter - Hitze 19
7.1.11 Autoren, Ansprechpartner und Anlagen 20

7.1 Klima

Der Arbeitsumgebungsfaktor Klima lässt sich durch die physikalischen Größen Temperatur, Feuchtigkeit und Geschwindigkeit der Luft sowie die Wärmestrahlung der Umschließungsflächen beschreiben. Es wirkt maßgeblich auf das thermoregulatorische Gleichgewicht des Menschen zum Konstanthalten der Körperkerntemperatur. Im Zusammenwirken mit Arbeitsintensität und persönlichen Faktoren wie Art der Bekleidung und Akklimatisation, sowie anderen Belastungsfaktoren, wie Beleuchtung oder Lärm hat das Klima zudem einen wesentlichen Einfluss auf Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden der Menschen. Das Klima wirkt sich förderlich auf die Gesundheit des Menschen aus, wenn es optimal an seine Bedürfnisse angepasst ist (z. B. im Behaglichkeitsbereich) bzw. er sich optimal daran angepasst hat (z. B. mit der Bekleidung). Abweichungen, z. B. zu hohe oder zu niedrige Lufttemperaturen, können zu Unbehagen, Leistungsminderung bis hin zu Schädigungen der Gesundheit führen.

Bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigende Belastungsgrößen

- Lufttemperatur (ta [°C])
- Luftfeuchte (relative Luftfeuchte RH [%])
- Luftgeschwindigkeit (mittlere Geschwindigkeit V_a [m/s])
- Wärmestrahlung (von z. B. Maschinen, Lampen, Wandflächen, Fenstern, E_{eff} [W/m²])
- energetische Arbeitsbelastung (Arbeitsenergieumsatz AU oder Energieumsatz in [W] oder auf die Körperoberfläche bezogen in [met], 1 met = 58,15 Wm^{-2})
- Bekleidungsisolation (I_{cl} [clo] vom engl. "Clothing level", 1 clo = 0,155 m² K/W)
- Expositionsdauer (Zeit [min, h])

Klimabereiche am Arbeitsplatz

Für eine systematische Gefährdungsbeurteilung des Klimas wird dieses in drei Bereiche eingeteilt, wie sie auch in der Arbeitswelt anzutreffen sind:

- **Behaglichkeitsbereich:**
  Der Wärmeaustausch des Menschen mit der Umgebung befindet sich im thermoregulatorischen Gleichgewicht. In diesem thermisch neutralen Klima treten keine akuten gesundheitlichen Gefährdungen auf und die Arbeit kann ohne besondere Schutzmaßnahmen ausgeführt werden.
- **Kältebereich:**
  Der Körper verliert kontinuierlich Wärme, mit bestimmten Schutzmaßnahmen kann die Arbeit eine begrenzte Zeit ausgeführt werden, es besteht die Gefahr von Kälteerkrankungen.
- **Warm-/Hitzebereich:**
  Im Warmbereich (auch Erträglichkeitsbereich) kann unter bestimmten Bedingungen über eine Arbeitsschicht ohne akute Gesundheitsgefahren im thermoregulatorischen Gleichgewicht gearbeitet werden. Im Hitzebereich erwärmt sich der Körper mit der Zeit, die Arbeit ist nur begrenzt und mit Schutzmaßnahmen ausführbar, sonst können akute Hitzeerkrankungen eintreten.

Wirkung auf den Menschen

Im **Behaglichkeitsbereich** hat das Klima kaum Auswirkungen auf die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten, jedoch können Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit beeinflusst werden. In Auswertung verschiedener Studien zeigte SEPPÄNEN et al. (2006) mit steigender Raumtemperatur einen Leistungsabfall bezüglich kognitiver und psychomotorischer Tests im Mittel von ca. 2 % je Kelvin. In einer Literaturstudie untersuchten BUX, POLTE (2016) den Einfluss des Raumklimas auf die psychische Gesundheit des Menschen. Demnach können insbesondere Unzufriedenheit mit dem Raumklima (zu warm, zu kalt), Stress durch das Unvermögen, selbst das Raumklima beeinflussen zu können, Leistungsminderung durch niedrige/hohe Temperaturen sowie Auswirkungen bestimmter Klimaphänomene (z. B. Hautreizung infolge trockener Raumluft) indirekt psychische Beanspruchungen hervorrufen. Das Klima kann als Stressor wirken.

Im **Kältebereich** kann es zu einer kältebedingten Minderdurchblutung von Haut und Extremitäten kommen, was Kälteempfindungen, Muskelzittern sowie Einschränkungen von Beweglichkeit, Sensibilität und Geschicklichkeit hervorrufen kann. Die Abkühlung kann zudem zur Unterkühlung und lokalen Erfrierungen des Körpers führen, im extremen Fall kann eine lebensbedrohliche Absenkung der Körperkerntemperatur mit Bewusstseinsverlust eintreten.

Im **Warm-/Hitzebereich** kommt es zu einer erhöhten Durchblutung der Haut verbunden mit steigender Frequenz des Herzschlags und Zunahme der Schweißsekretion. Das kann zur Belastung des Herz-Kreislauf-Systems, der

Atemwege und des Wasser- und Elektrolythaushalts führen. Im extremen Fall können Hitzekrankheiten wie Hitzekrämpfe, Hitzekollaps und Hitzschlag ausgelöst werden.

Thermoregulation

Im thermisch neutralen Klima, das weitgehend identisch mit dem Behaglichkeitsbereich ist, befindet sich der Wärmeaustausch des Menschen mit der Umgebung im Gleichgewicht, d. h. umgewandelte und aufgenommene Wärmeenergie entsprechen der Wärmeabgabe. In relativ engen Grenzen kann der Mensch diese Wärmebilanz regulieren, dafür bestehen folgende Möglichkeiten:

- Wärmeproduktion durch Stoffwechsel (Muskelarbeit)
- Wärmeabgabe durch Verdunstung (Schweißbildung)
- Wärmeübertragung durch Leitung (direkter Kontakt mit Oberflächen)
- Wärmeübertragung durch Konvektion (Luftbewegung)
- Wärmeübertragung durch Strahlung (Strahlungsaustausch mit den Umschließungsflächen des Raumes)
- Wärmeübertragung durch Atmung
- Wärmeisolation durch Kleidung

Bei hochgradiger Wärme- oder Kältebelastung werden die Grenzen der internen (thermophysiologischen) und externen (verhaltensbezogenen) Möglichkeiten zur Thermoregulation überschritten. Es können dann in Abhängigkeit von Art, Intensität und Dauer der thermischen Einwirkung akute oder chronische Gesundheitsschäden entstehen. Abbildung 7.1-1 veranschaulicht die Wärmebilanz des Körpers bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen. So ist z. B. die Kühlung durch Schwitzen nur begrenzt möglich, da der Körper nur eine begrenzte Menge an Schweiß in einer bestimmten Zeit erzeugen kann.

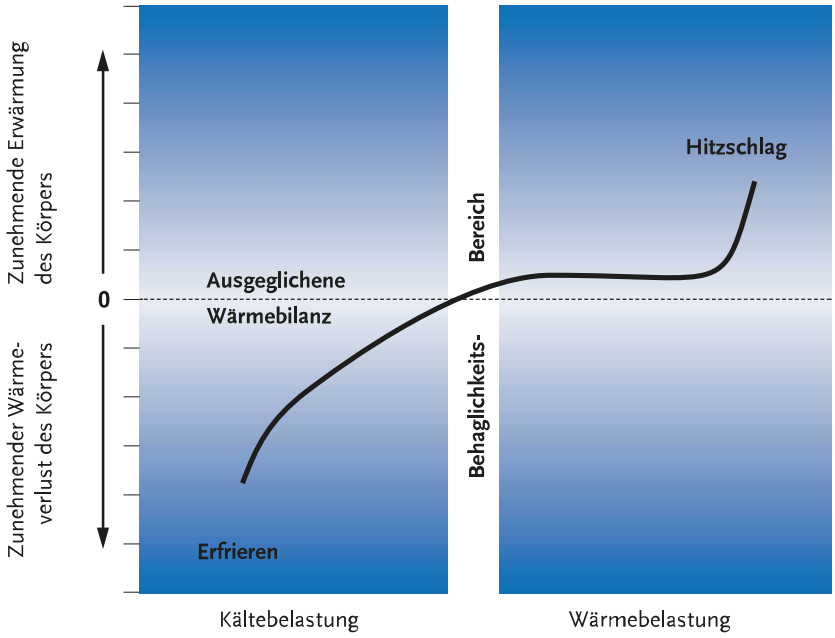


Abbildung 7.1-1. Die Wärmebilanz des Körpers bei verschiedenen Klimabedingungen (nach E. Grandjean)

Den Zusammenhang zwischen den Einflussgrößen auf die Thermoregulation und Körperreaktionen verdeutlicht Abbildung 7.1-2.

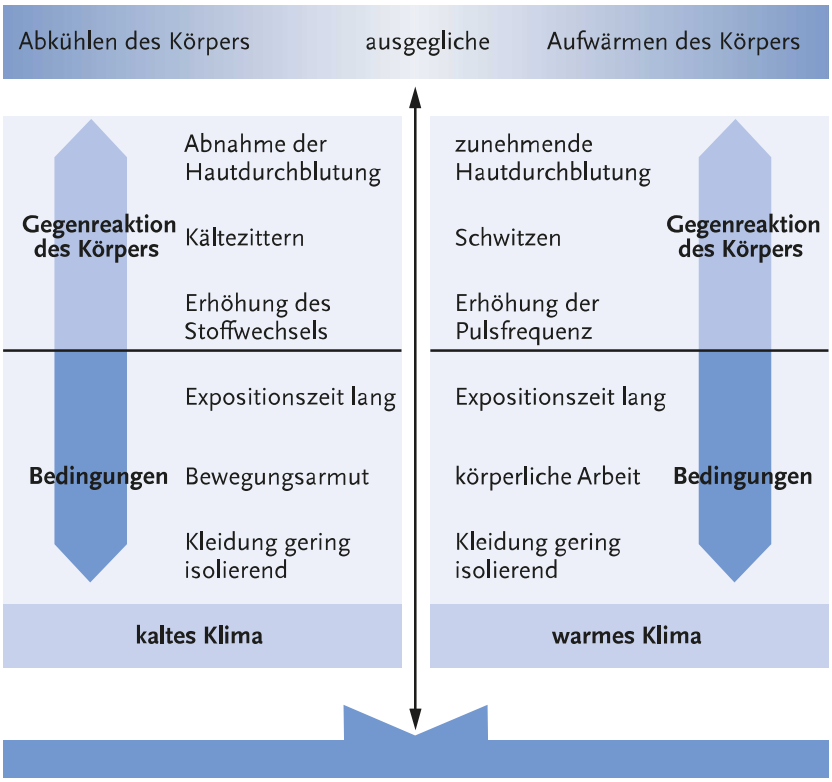


Abbildung 7.1-2. Wärmebilanz des menschlichen Körpers

Hinweise zum thermisch-neutralen Klima - Behaglichkeitsbereich

In Arbeitsstätten wird, sofern nicht betriebstechnische Erfordernisse das Klima bestimmen (z. B. Kühlhaus), ein gesundheitlich zuträgliches Klima angestrebt. Das Klima sollte deswegen im Behaglichkeitsbereich liegen. Dementsprechend werden im Anhang 3.5 und 3.6 ArbStättV Festlegungen zu Raumtemperaturen und Lüftung getroffen, die einzuhalten sind. Konkretisiert wird dies in den ASR A3.5 und ASR A3.6. Hier werden u. a. Mindest- und Höchstwerte der Lufttemperatur sowie Grenzen für Luftgeschwindigkeiten (Zugluft) und relative Luftfeuchte aufgeführt, die das allgemeine Schutzziel "gesundheitlich zuträglich" erfüllen.

Anhaltspunkte für ein behagliches Raumklima bei leichter und hauptsächlich sitzender Tätigkeit gibt Tabelle 7.1-1. Auf geeignete Kleidung und möglichst geringe Wärmeleitung durch Hautkontakt sollte geachtet werden.

Tabelle 7.1-1 Empfohlene Behaglichkeitsgrenzen für das Umgebungsklima bei leichter und hauptsächlich sitzender Tätigkeit nach DIN EN ISO 7730 (gilt für Kategorie B, was Büros o.ä. Bereichen entspricht)

Klimagrößen		Winterbedingungen (Heizperiode)	Sommerbedingungen (Kühlungsperiode)
operative Raumtemperatur[1)]	°C	20-24	23-26
Temperaturdifferenz zwischen 1,10 m und 0,10 m oberhalb des Fußbodens (Kopf- und Fußhöhe)	K	< 3	< 3
Oberflächentemperatur des Fußbodens	°C	19-29	-
mittlere Luftgeschwindigkeit, abhängig von Lufttemperatur und Turbulenzgrad	m/s	< 0,16	< 0,19
relative Luftfeuchtigkeit[2)]	%	40	60

[1)] Die operative Raumtemperatur t_o ist annähernd der Mittelwert von Lufttemperatur t_a in °C und mittlerer Strahlungstemperatur t_R in °C.
[2)] Die Angaben sind Orientierungswerte aus der DIN EN ISO 7730 für klimatisierte Räume. Insbesondere für die kalte Jahreszeit lässt sich aus Sicht des Gesundheitsschutzes noch kein Mindestwert der relativen Luftfeuchte in Innenräumen ableiten (DERBY et al. 2016, WHO 2019, Bux, K., von Hahn, N.: 2020). Bei nicht klimatisierten und natürlich belüfteten Räumen hängt die relative Luftfeuchte stark von den Außenbedingungen ab. Witterungsbedingte Feuchteschwankungen bleiben deswegen unberücksichtigt (siehe auch ASR A3.6)

Klimaermittlung

Grundlagen zur Klimaermittlung und Anforderungen an Messgeräte enthalten DIN SPEC 33428 und DIN EN ISO 7726.

Protokolle von Klimamessungen sollten außer den eigentlichen Messergebnissen der Klimagrößen (z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Witterungsverhältnisse) folgende Angaben enthalten, sofern diese entscheidenden Einfluss auf das Klima haben:

- Messzeit (Datum, Uhrzeit, Dauer)
- Messort, Messpunkte (ggf. Skizze)
- Raummaße, Beschaffenheit der umgebenden Flächen
- Messgeräte (z. B. Hersteller, Typ, Baujahr, Messbereich)
- Betriebsverhältnisse, insbesondere solche, die auf das Klima Einfluss haben, z. B. Anzahl der Personen, Beleuchtung, Lastzustände von Maschinen und Anlagen und andere Wärmequellen sowie Luftströmungen aufgrund von Fenstern, Toren und Hallendachöffnungen
- Außenklimaverhältnisse (z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Sonne, Luftgeschwindigkeit).

Ein Messprotokoll zur Klimamessung befindet sich in der Anlage 1. Anlage 2 enthält Begriffserklärungen.

7.1.1 Art der Gefährdungen und ihre Wirkungen - Kälte

Kältebereiche

Nach DIN 33403-5 unterscheidet man fünf Kältebereiche:

Tabelle 7.1-2 Kältebereiche nach DIN 33403-5

Kältebereich	Benennung	Lufttemperatur t_a [°C]
I	kühler Bereich	von +15 bis +10
II	leicht kalter Bereich	unter +10 bis -5
III	kalter Bereich	unter -5 bis -18
IV	sehr kalter Bereich	unter -18 bis -30
V	tiefkalter Bereich	unter -30

Kälte kann durch Geräte, Verfahren oder Witterungsbedingungen verursacht werden, z. B.
– in Kühlhäusern, in der Lebensmittel-, Getränkeindustrie, bei Arbeiten im Freien,
– in der Land- und Forstwirtschaft oder Bauindustrie.

Gesundheitsgefahren

Die Minderdurchblutung von Haut und Extremitäten kann bei starker Abkühlung örtliche Schäden des Körpergewebes (Erfrierungen 1. bis 4. Grades) verursachen. Anhaltender starker Wärmeentzug kann zu einer Abkühlung des Gesamtorganismus führen [BUX, K.; KAMPMANN, B. 2014]. Die Abkühlung kann im extremen Fall eine lebensbedrohliche Absenkung der Körperkerntemperatur zur Folge haben. Bei unter +35 °C können z. B. Kältezittern, vertiefte Atmung, erhöhte Herzschlagfrequenz, blasse Hautfarbe und eine Beeinträchtigung der geistigen Funktionen auftreten.

7.1.2 Art der Gefährdungen und ihre Wirkungen - Hitze

Ursachen

An vielen Arbeitsplätzen, z. B. in der Metall-, Glas-, Keramik- und Gummiindustrie, treten neben den witterungsbedingten Hitzeeinwirkungen auch technologisch bedingte Wärmebelastungen durch hohe Temperaturen und hohe Wärmestrahlungsintensitäten auf.

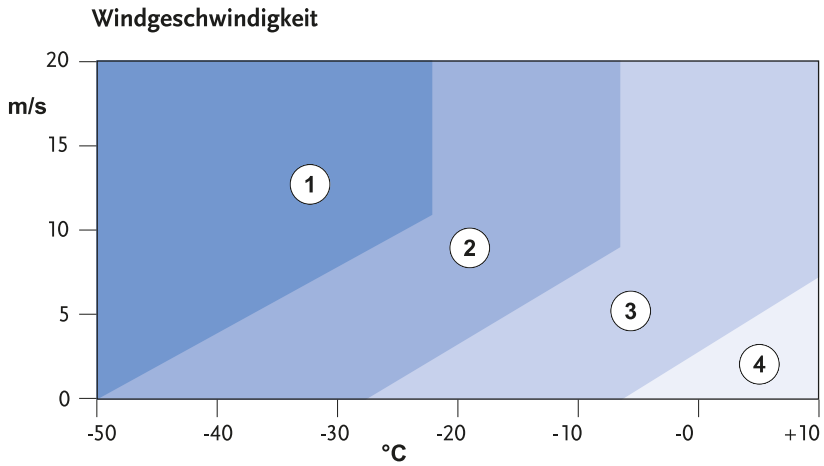
Gesundheitsgefahren

Steigen die Umgebungstemperaturen über den Behaglichkeitsbereich an, ist mit Konzentrationsmängeln, Leistungsabfall, Zunahme von Arbeitsfehlern, Erschöpfung, Ermüdung und Zunahme von Unfällen zu rechnen. Hochgradige Wärmeeinwirkung kann auch zur Belastung des Herz-Kreislauf-Systems, der Atemwege und des Wasser- und Elektrolythaushalts führen. Im extremen Fall können Hitzekrankheiten wie Hitzekrämpfe, Hitzekollaps und Hitzschlag ausgelöst werden. Durch direkten Kontakt mit heißen Oberflächen, Flüssigkeiten, Dämpfen oder durch Einwirkung intensiver Wärmestrahlung können lokale Gewebeschäden entstehen (Verbrennungen, Verbrühungen, siehe [BUX, K.; KAMPMANN, B. 2014] auch Abschnitt "Thermische Gefährdungen").

7.1.3 Ermittlung und Beurteilung - Kälte

Gefährdungsabschätzung

Für eine grobe Einschätzung des Gesundheitsrisikos bei **Arbeiten im Freien** unter Berücksichtigung auch höherer Luftgeschwindigkeiten kann Abbildung 7.1-3 als Anhaltspunkt dienen (siehe auch DIN EN ISO 15743).



(1) große Gefährdung
(2) erhöhte Gefährdung für Erfrierungen ungeschützter Körperteile
(3) geringe Gefährdung bei hinreichender Bekleidung
(4) Gefahr durch Unterschätzung der notwendigen Schutzmaßnahmen

Abbildung 7.1-3. Bereiche kalter Klimabedingungen mit verschieden großer Gefährdung des Menschen

Einflussgrößen

Folgende Einflussgrößen, die sich nach DIN SPEC 33428 und DIN 33403-5 ermitteln bzw. anhand von Tabellen abschätzen lassen, sind für thermische Belastung an Kältearbeitsplätzen maßgebend:

- Lufttemperatur
- Luftgeschwindigkeit
- Wärmestrahlung
- energetische Arbeitsbelastung
- Wärmeisolation der Bekleidung
- Expositionszeit

Die DIN 33403-5 gilt nur für **Arbeiten in Räumen** (z. B. Kühlhaus). Für Arbeiten im Freien (z. B. Baustellen) ist die DIN EN ISO 15743 zu verwenden.

Mittlere Hauttemperatur

Die thermische Belastung bei Kältearbeit sollte so gering wie möglich sein oder im Erträglichkeitsbereich liegen. Erträgliche Bedingungen sind nach DIN 33403-5 dann gegeben, wenn die mittlere Hauttemperatur (gemessen nach DIN EN ISO 9886) nicht unter +30 °C absinkt.

Besonders häufig treten lokale Unterkühlungen an Kopf, Gesicht (Nase, Kinn, Ohren), Händen (Finger) und Füßen (Zehen) auf. Allgemein sollten die Schutzmaßnahmen mindestens sicherstellen, dass an keiner dieser Körperstellen die Hauttemperatur unter +12 °C absinkt.

7.1.4 Ermittlung und Beurteilung - Hitze

Die Ermittlung und Beurteilung einer Gefährdung durch Hitzeeinwirkungen erfordert eine komplexe Erhebung verschiedener Einflussgrößen und eine individuelle Beurteilung, wofür i. d. R. Klimasummenmaße verwendet werden. Dabei müssen die verschiedenen Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden.

Einflussgrößen

Einflussgrößen der thermischen Belastung sind:
- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Luftgeschwindigkeit
- Wärmestrahlung
- energetische Arbeitsbelastung
- Wärmeisolation der Bekleidung
- Expositionszeit

Klimasummenmaße

Klimasummenmaße sollen die durch verschiedene Einflussgrößen bedingte komplexe thermische Beanspruchung des Menschen in einem Zahlenwert zusammenfassen.

Beurteilungsmaßstäbe

Als Beurteilungsmaßstab im Hitzeklima können die Klimasummenmaße nach DIN 33403-3 dienen:
- Normal-Effektivtemperatur NET (ohne Wärmestrahlung, normale Kleidung)
- Basis-Effektivtemperatur BET (ohne Wärmestrahlung, Arbeit mit unbekleidetem Oberkörper)
- WBGT-Index (Wet Bulb Globe Temperature, mit Wärmestrahlung, Anlage 4)
- vorhergesagte Wärmebeanspruchung PHS (DIN EN ISO 7933, Anlage 6)

Die zur Ermittlung der Klimasummenmaße erforderlichen Klimagrößen werden in DIN SPEC 33428 sowie DIN EN ISO 7726 beschrieben.

Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen

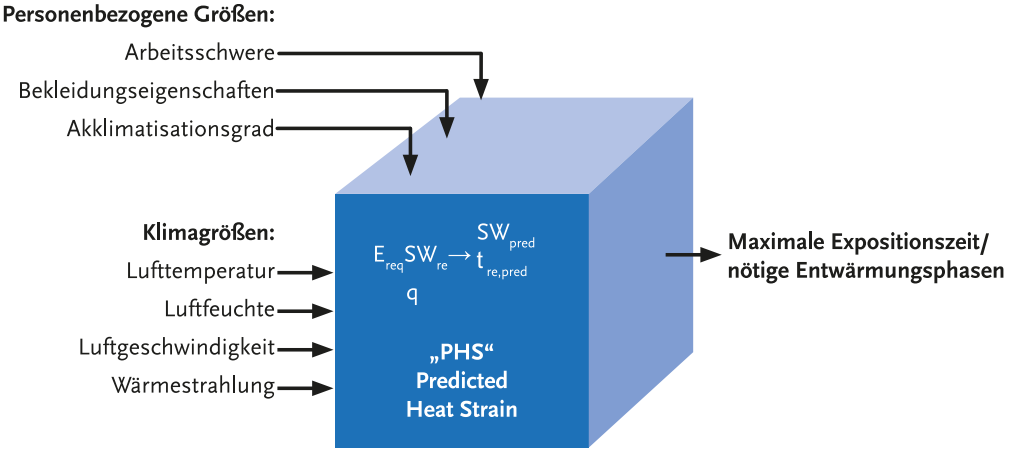
Bei der Anwendung der Klimasummenmaße muss berücksichtigt werden, dass sie nicht bei allen Umgebungsbedingungen zuverlässige Orientierungswerte liefern.

Die Normal-Effektivtemperatur unterschätzt die Klimabelastung im trocken-warmen Klimabereich und berücksichtigt die Belastung durch Wärmestrahlung nicht. Sie wird aus einem Nomogramm ermittelt und in den Auswahlkriterien für die arbeitsmedizinische Vorsorge als Klimamaß für die Angabe von Richtwerten verwendet (siehe [17] DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen bzgl. Hitzearbeiten). Hinweise zur Anwendung von NET enthält z.B. die DGUV Information 213-002 und die DIN SPEC 33428.

Die Anwendung der Basis-Effektivtemperatur ist besonders im feucht-warmen Klima durch Erfahrungswerte aus dem Bergbau abgesichert, berücksichtigt aber ebenfalls die Belastung durch Wärmestrahlung nicht.

Der WBGT-Index ist relativ einfach zu erfassen. Er ist für die Bewertung zeitlich konstanter Klimabedingungen geeignet.

Das Klimasummenmaß "Vorhergesagte Wärmebeanspruchung" beruht auf einem physiologischen und physikalischen Modell der Wärmeabgabe des Menschen an die Umgebung und berücksichtigt alle Einflussgrößen der thermischen Belastung (vgl. Abb. 7.1-4). Es bestimmt die für den Ausgleich der Wärmebilanz (Wärmeabgabe = Wärmezufuhr) erforderliche Schweißabgabe und erlaubt es, innerhalb eines weiten Bereichs der Klimaparameter maximale zulässige Expositionsdauern abzuschätzen (Anlage 6: Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung - PHS).



Wärmebilanz des menschlichen Körpers

Abbildung 7.1-4 PHS-Modell nach DIN ISO 7933 - vorhergesagte Wärmebeanspruchung des Menschen (PHS - Predicted Heat Strain)

Orientierungswerte für die Erträglichkeit von Klimabelastungen

Ermittlung der Erträglichkeitsgrenze

In Tabelle 7.1-3 sind Orientierungswerte für die Erträglichkeitsgrenze anhand des WBGT-Indexes (siehe Anlage 4) angegeben. Zur Einstufung des Arbeitsenergieumsatzes ist Tabelle 1 der DIN 33403-3 anzuwenden. Die Orientierungswerte gelten für eine achtstündige Expositionszeit bei konstanten Klimabedingungen. Bei zeitlich schwankenden Klimabelastungen ist ein angemessen langer Beurteilungszeitraum zu betrachten (siehe DIN EN ISO 2743).

Tabelle 7.1-3 WBGT-Richtwerte für fünf Klassen von Energieumsatzniveaus für akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen (nach DIN EN ISO 7243)

Energieumsatz (Klasse)	Energieumsatz [W]	WBGT-Richtwert für akklimatisierte Personen [°C]	WBGT-Richtwert für nicht akklimatisierte Personen [°C]
Klasse 0 Energieumsatz im Ruhezustand	115	33	32
Klasse 1 Niedriger Energieumsatz	180	30	29
Klasse 2 Mittlerer Energieumsatz	300	28	26
Klasse 3 Hoher Energieumsatz	415	26	23
Klasse 4 Sehr hoher Energieumsatz	520	25	20

Wärmestrahlung

Belastungen durch technisch bedingte Wärmestrahlung lassen sich nicht immer ausschließen. Grenzwerte zum Schutz vor Schädigungen durch die Einwirkung optischer Strahlung sind in der EU-Richtlinie 2006/25/EG "Künstliche optische Strahlung" festgelegt und durch die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung OStrV in Deutschland rechtsverbindlich umgesetzt. Orientierungswerte der Belastungsgrenzen durch Wärmestrahlung sind zudem in Bild 5 der DIN 33403-3 für Dauerbelastung (Achtstundenschicht) und in Bild 6 der DIN

33403-3 für Kurzzeitbelastung (bis 1,5 Stunden) angegeben. In der Empfehlung des IFA 2011 [15] wird das abgestimmte Zusammenwirken zwischen der Norm DIN 33403-3 und den Rechtstexten dargestellt.

Effektive Bestrahlungsstärke

Durch Wärmestrahlung nimmt der Mensch aus seiner Umgebung Wärme auf und gibt gleichzeitig Wärme ab. Die Differenz zwischen der durch Strahlung zugeführten und der durch Strahlung abgeführten Wärmestromdichte wird effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} genannt. Sie wird aus Gründen einer einheitlichen Bezugsbasis auf eine Haut- oder Oberflächentemperatur des Menschen von 32 °C bezogen. Sie stellt damit den auf diese Basis bezogenen, aus Wärmestrahlung resultierenden Wärmestrom je Fläche dar.

Die Wärmestrahlungsexposition kann in Abhängigkeit von der effektiven Bestrahlungsstärke (siehe DIN 33403-3) grob in drei Bereiche (A, B, C) unterteilt werden.

(A) E_{eff} =< 35 W/m²:

Ist die mittlere effektive Bestrahlungsstärke nicht höher als 35 W/m², so hat die Wärmestrahlung keinen zusätzlich arbeitsbelastenden Einfluss. Hier sind die übrigen Klimaparameter insbesondere Lufttemperatur und Luftfeuchte ausschlaggebend. Arbeitsenergieumsätze bis zu 300 W sind möglich.

(B) 35 W/m² < E_{eff} =< 300 W/m²:

In diesem Wertebereich der mittleren effektiven Bestrahlungsstärke ist eine Dauerexposition nur bei Arbeitsenergieumsätzen unterhalb der in Abbildung 7.1-5 eingetragenen Geraden möglich (Bereich 1). Oberhalb dieser Geraden sind Muskelerholzeiten erforderlich (Bereich 2). Ein Verbleib im Wärmestrahlungsbereich ist möglich.

(C) E_{eff} > 300 W/m²:

Bei mittleren effektiven Bestrahlungsstärken oberhalb von 300 W/m² sind in jedem Fall Entwärmungsphasen erforderlich (Bereich 3). Eine Dauerexposition ist nicht zulässig. Bei höherer Bestrahlungsstärke ist auch bei kurzer Einwirkung auf die ungeschützte Haut u. U. eine Verbrennungsgefahr gegeben.

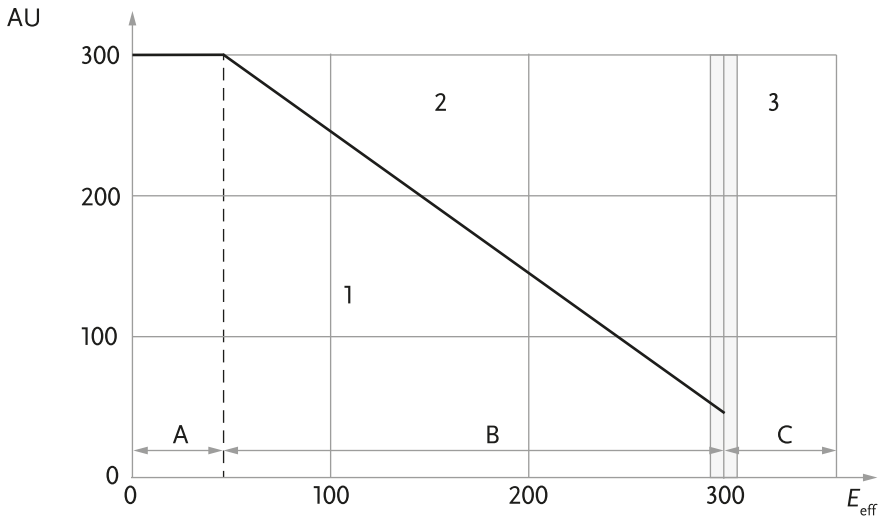


Abbildung 7.1-5 Orientierungsbereich für die Wärmestrahlungsexposition in Abhängigkeit vom Arbeitsenergieumsatz AU (nach DIN 33403-3)

Unbekleidete Hautpartien

Auf unbekleidete Hautpartien darf Wärmestrahlung nicht unbegrenzt einwirken. Abbildung 7.1-6 ist zu entnehmen, ob eine Wärmestrahlungs-Schutzkleidung zum Schutz vor Verbrennungen getragen bzw. ob die Zeitspanne des Arbeitseinsatzes ohne Verwendung von Schutzkleidung begrenzt werden muss (siehe auch Empfehlung des IFA 2011 [16]).

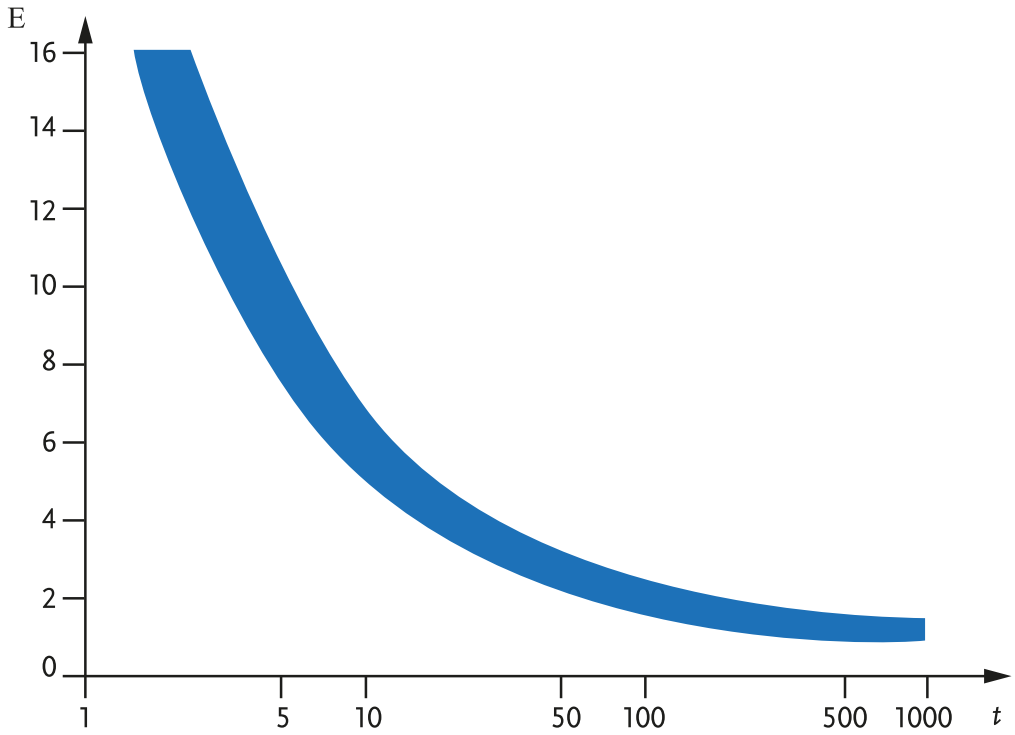


Abbildung 7.1-6 Schmerzgrenze der unbekleideten Haut in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke und der Expositionszeit (nach DIN 33403-3), Angaben Zeit in Sekunden [s] und effektive Bestrahlungsstärke Eeff in 103 W/m²

Arbeitsmedizinische Vorsorge

Arbeitgeber haben für Beschäftigte, die einer extremen Hitzebelastung ausgesetzt sind, arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge zu veranlassen (siehe § 4 Absatz 1 in Verbindung mit Anhang Teil 3 Absatz 1 Nummer 1 ArbMedVV). Das wird mit der AMR Nr. 13.1 konkretisiert. Richtwerte der Normal-Effektivtemperatur (NET) in [°C] sowie für die effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} in [W/m²], die für die Auswahl der zu untersuchenden Beschäftigten dienen, sind in der DGUV Empfehlung für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen "Hitzearbeiten" [17] zu finden.

7.1.5 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle - Kälte

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf Arbeitsplätze in technisch gekühlten Räumen, wie z. B. Kühlräume, Tiefkühllager oder Frischeräume in der Lebensmittelindustrie. Arbeitsplätze im Freien müssen gesondert betrachtet werden, da hier zusätzliche Einflüsse hinzukommen, insbesondere durch die witterungsbedingte Belastung wie Wind und Niederschläge. Praktische Hinweise für Arbeitsplätze im Freien bei Kälte sind in der Norm DIN EN ISO 15743 "Ergonomie der thermischen Umgebung - Arbeitsplätze in der Kälte - Risikobewertung und Management" zu finden, z. B. bezüglich Arbeitsplanung, technischer Schutzmaßnahmen, Schutzkleidung, Schulung und beruflicher Gesundheitsfürsorge.

Maßnahmen zur Reduzierung der Kältebelastung

Maßnahmen zur Reduzierung der Kältebeanspruchung der Beschäftigten können sein:

– **Kältebelastung reduzieren**
  Die Lufttemperatur ist die grundlegende und wichtigste Belastungsgröße und sollte nicht niedriger als technologisch erforderlich sein.
– **Zugluft vermeiden**
  Die Luftgeschwindigkeit ist möglichst gering zu halten. DIN 33403-5 empfiehlt für vorwiegend sitzende oder stehende Tätigkeiten eine mittlere Luftgeschwindigkeit von < 0,20 ± 0,10 m/s.
– **Wärmestrahler einsetzen**

Arbeitsschutzmaßnahmen bei häufig wechselnden Klimabelastungen

häufig wechselnde Klimabelastung zwischen den Kältebereichen sowie zwischen Kältebereich und Außenklima einschränken, z. B. durch
  - überbaute Rampen mit möglichst klimadichtem Abschluss an Lastkraftwagen
  - beheizbare Fahrerkabinen (Gabelstapler)
  - Einrichtung von Zwischenlagerräumen
  - Arbeitsteilung zwischen den Klimabereichen

– persönliche Schutzausrüstung (PSA) verwenden
– Die Bekleidung ist an die jeweiligen Arbeits- und Klimabedingungen anzupassen, eventuell ist beheizbare Kälteschutzkleidung zur Verfügung zu stellen, siehe Anlage 3: Beispiele für Isolationswerte verschiedener Bekleidungen (trocken).
– nach DIN 33403-5 empfohlene Kälteexpositions- und Aufwärmzeiten möglichst einhalten (siehe Tabelle 7.1-4).

Tabelle 7.1-4 Kälteexpositions- und Aufwärmzeiten nach DIN 33403-5

Kältebereich	Lufttemperatur t_a(°C)	Maximale, ununterbrochene Kälteexpositionszeit (min)	Empfohlene Aufwärmzeit in % zur Kälteexpositionszeit	Empfohlene Aufwärmzeit (gerundete Werte) (min)
I	von +15 bis +10	150	5	10
II	unter +10 bis - 5	150	5	10
III	unter -5 bis -18	90	20	15
IV	unter -18 bis -30	90	30	30
V	unter -30	60	100	60

Bedingungen in Pausenräumen
  - Aufwärm- und Umkleideräume einrichten (Anhang 4.1 und 4.2 ArbStättV, ASR A4.1, ASR A4.2))
  - Raumtemperatur muss mindestens +21 °C betragen, Räume sollen trocken und zugluftfrei sein
  - eventuell Einrichtungen zur Wiedererwärmung der Hände und Füße vorsehen (Warmluftgeräte, Wärmeplatten)

Kleidung trocknen/Trockenschränke vorsehen

- Möglichkeit schaffen, Kälteschutzkleidung abzulegen und zu trocknen
- für die Arbeit in den Kältebereichen III und IV sollten Einrichtungen zur Trocknung (Trockenschränke) und Erwärmung der Kleidung, Stiefel und Handschuhe vorgesehen werden.

– Kontaktkälte

Kontaktkälte ist möglichst zu vermeiden (siehe "Kalte Medien")

– arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen

Beschäftigte, die bei Temperaturen unter -25 °C arbeiten, sind gemäß Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen zu unterziehen (Pflichtvorsorge).Die BGI 504-21 "Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 21 Kältearbeiten" wurde zurückgezogen. Dafür wurde eine DGUV Empfehlung für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen für Kältearbeiten veröffentlicht [4].

7.1.6 Arbeitsschutzmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle - Hitze

Neben technischen Maßnahmen können ergonomisch-organisatorische Maßnahmen die Klimabelastung und auch die Beanspruchung der Beschäftigten wirkungsvoll reduzieren.

Technische Maßnahmen

- **Gebäudegestaltung**
  Dachüberstände, Auskragungen, Jalousien, absorbierendes oder reflektierendes Fensterglas können die Sonnenstrahlung erheblich abschirmen.
- **Luftführung**
  Natürliche Lüftung oder lüftungstechnische Anlagen (Ventilatoren, Luftduschen) sorgen für Abkühlung durch erhöhten Luftwechsel oder höhere Luftgeschwindigkeiten.
- **Luftkühlung**
  In räumlich eng umgrenzten Bereichen (Steuerstände, Krankabinen) sollte die zugeführte Luft gekühlt werden. Die Temperaturdifferenz zwischen dem gekühlten Raum und der Umgebung sollte nicht mehr als 4 bis 6 K betragen.
- **Klimatisierung**
  Die Klimatisierung von Arbeitsplätzen und -bereichen ist anzustreben. Strahlungswärme muss auf andere Art beseitigt werden.

  Wärmestrahlenschutz
  Die Wärmestrahlung sollte verringert werden, zum Beispiel durch:
  - Anlagenkapselung
  - Schutzgläser
  - Drahtgewebe
  - Hitzeschutzschirme
  - Kettenvorhänge

Ergonomisch-organisatorische Maßnahmen

- **Reduzierung der Arbeitsschwere**
  Muskelarbeit der großen Muskelgruppen (Arm-, Bein- und Rumpfmuskulatur) ist möglichst zu reduzieren.
- **Muskel-Erholungszeiten**
  Viele kurze muskuläre Pausen im klimabelasteten Bereich sind effektiver als wenige längere.
- **Entwärmungsphasen**
  Die Entwärmungsphasen sollten länger als 10 Minuten sein. Das Klima in den Aufenthaltsräumen sollte im Behaglichkeitsbereich liegen (Anlage 5: Entwärmungsphasen).
- **persönliche Schutzausrüstung**
  Lassen sich durch technische und ergonomisch-organisatorische Maßnahmen die Klimabelastungen nicht weiter reduzieren, müssen persönliche Schutzausrüstungen getragen werden, die den jeweiligen Anforderungen (§ 4 ArbSchG; PSA-BV) entsprechen müssen.
- **Akklimatisation, Hitzegetränke**
  Eine langsame Gewöhnung an Hitzearbeit (Akklimatisation) und eine ausreichende Getränkeaufnahme tragen wesentlich zur Herabsetzung der Hitzebeanspruchung bei.
- **Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen**
  Für Beschäftigte, die Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung ausüben, sind regelmäßig arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen nach ArbMedVV zu veranlassen (AMR 13.1).

7.1.7 Vorschriften, Regelwerke, Literatur - Kälte

Gesetze, Verordnungen

www.gesetze-im-internet.de; https://eur-lex.europa.eu/homepage.html

- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)
- Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)
- PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV)

Technische Regelwerke zu den Arbeitsschutzverordnungen

www.baua.de

- ASR A3.5: Raumtemperatur
- ASR A3.6: Lüftung
- ASR A4.2 Pausen- und Bereitschaftsräume

Vorschriften der Unfallversicherungsträger

www.dguv.de/de/praevention/vorschriften_regeln

- DGUV Vorschrift 1: Grundsätze der Prävention

Weitere Regeln der Technik

www.beuth.de

- DIN EN 342: Schutzkleidung - Kleidungssysteme und Kleidungsstücke zum Schutz gegen Kälte
- DIN 33403-5: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen
- DIN EN 340: Schutzkleidung: Allgemeine Anforderungen
- DIN EN ISO 7726: Umgebungsklima - Instrumente zur Messung physikalischer Größen
- DIN EN ISO 9886: Ergonomie – Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen
- DIN SPEC 33428 (ehemals DIN-Fachbericht 128): Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Grundlagen zur Klimaermittlung
- DIN EN ISO 9920: Ergonomie der thermischen Umgebung - Abschätzung der Wärmeisolation und des Verdunstungswiderstandes einer Bekleidungskombination
- DIN EN ISO 11079: Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung und Interpretation der Kältebelastung bei Verwendung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) und lokalen Kühlwirkungen
- DIN EN ISO 15743: Ergonomie der thermischen Umgebung - Arbeitsplätze in der Kälte - Risikobewertung und Management

Literatur

- [1] BUX, K.: Klima am Arbeitsplatz - Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse; Bedarfsanalyse für weitere Forschungen. Dortmund, Dresden: BAuA 2006 (Forschung Projekt, F 1987)
- [2] BUX, K.; KAMPMANN, B.: B III-1 Raumklima. In LETZEL, S.; NOWAK, D. (Hrsg.), Handbuch der Arbeitsmedizin - Arbeitsphysiologie, Arbeitspsychologie, Klinische Arbeitsmedizin, Gesundheitsförderung und Prävention, Heidelberg: ecomed MEDIZIN
- [3] Bux, K., von Hahn, N.: "Trockene Luft" - Literaturstudie zu den Auswirkungen auf die Gesundheit. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2020. DOI: 10.21934/baua:bericht20200624
- [4] DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen, Herausgegeben von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, ISBN: 978-3-87247-783-5, 1.Auflage 2022, gebunden, 1064 Seiten

7.1.8 Vorschriften, Regelwerke, Literatur - Hitze

Gesetze, Verordnungen

www.gesetze-im-internet.de; https://eur-lex.europa.eu/homepage.html

- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)
- PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV)
- Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)
- Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV)
- EU-Richtlinie 2006/25/EG "Künstliche optische Strahlung"

Technische Regelwerke zu den Arbeitsschutzverordnungen

www.baua.de

- ASR A3.5: Raumtemperatur
- ASR A3.6: Lüftung
- ASR A4.1 Sanitärräume
- AMR 13.1: Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können

Vorschriften der Unfallversicherungsträger

www.dguv.de/de/praevention/vorschriften_regeln

- DGUV Vorschrift 1: Grundsätze der Prävention
- DGUV Statistik: Arbeitsunfallgeschehen 2018

Weitere Regeln der Technik

www.beuth.de

- DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße
- DIN EN 340: Schutzkleidung - Allgemeine Anforderungen
- DIN EN ISO 11612: Schutzkleidung - Kleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen - Mindestleistungsanforderungen
- DIN EN ISO 7726: Umgebungsklima - Instrumente zur Messung physikalischer Größen
- DIN EN ISO 7730 Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit
- DIN EN ISO 7933: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung
- DIN EN ISO 9886: Ergonomie - Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen
- DGUV Information 213-002 (bisher BGI/GUV-I 579): Hitzearbeit; Erkennen - beurteilen - schützen
- DGUV Information 213-022 (bisher BGI/GUV-I 7002): Beurteilung von Hitzearbeit - Tipps für Wirtschaft, Verwaltung, Dienstleistung
- DGUV Information 215-510 (bisher BGI/GUV-I 7003): Beurteilung des Raumklimas

Literatur

- [1] BUX, K.; KAMPMANN, B.: B III-1 Raumklima. In LETZEL, S.; NOWAK, D. (Hrsg.), Handbuch der Arbeitsmedizin - Arbeitspsychologie, Klinische Arbeitsmedizin, Prävention und Gesundheitsförderung (Vol. 35. Erg. Lfg. 12/14, S. 1–5). Heidelberg: ecomed MEDIZIN
- [2] SPITZER, H.; HETTINGER, Th.; KAMINSKY, G.: Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit 6. Auflage Berlin: Beuth 1982
- [3] WENZEL, H. G.; PIEKARSKI, G.: Klima und Arbeit. München: Bayerisches Staatsministerium für Arbeit 1982
- [4] HETTINGER, Th.; MÜLLER, B. H. et al.: Belastung und Beanspruchung bei unterschiedlicher Effektivtemperatur und Arbeitsschwere. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1991 (Bundesanstalt für Arbeitsschutz: Forschung, Fb 634)
- [5] GEBHARD, H.; KAMPMANN, B. et. al.: Systematische Analyse aktueller Klimasummenmaße für Hitzearbeitsplätze. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1999 (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin:

Forschung, Fb 829)
– [6] PANGERT, R.; BUX, K.; FRENER, P.: Hitzearbeit - Hitzepausen. ErgoMed (2003), 3, S. 82–89
– [7] GEBHARD, H.; KAMPMANN, B.; MÜLLER, B.: Arbeits- und Entwärmungsphasen in wärmebelasteten Arbeitsbereichen. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeits-schutz und Arbeitsmedizin 2007 (Forschung Projekt, F 1860)
– [8] GRANDJEAN, E.: Physiologische Arbeitsgestaltung 4. Auflage Landsberg: ecomed 1991
– [9] BUX, K.; PANGERT, R.: Sommerlich bedingte hohe Raumtemperaturen in Arbeitsstätten - Rechtliche Lage, Wirkungen auf den Menschen und Maßnahmen. ErgoMed 2007, 3, S. 84–88
– [10] BUX, K.: Klima am Arbeitsplatz - Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse; Bedarfsanalyse für weitere Forschungen, Dortmund, Dresden: BAuA 2006 (Forschung Projekt, F 1987)
– [11] BUX, K.: Klima. In SEIDLER, A.; EULER, U.; LETZEL, S.; NOWAK, D. (Hrsg.): Gesunde Gestaltung von Büroarbeitsplätzen - Arbeitsmedizinische Aspekte, Physikalische Einflussfaktoren, Gefahrstoffexposition, Organisationsformen. Landsberg: ecomed Medizin 2015, S. 34–51
– [12] SEPPÄNEN, O.; FISK, W. J.; LEI, Q. H. 2006. Effect of temperature on task performance in office environment. Cold Climate HVAC 2006, Moscow
– [13] BUX, K. & POLTE, C. (2016). Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt - Klima, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 54
– [14] WHO: Non-pharmaceutical public health measures for mitigating the risk and impact of epidemic and pandemic influenza. In: World Health Organization GLOBAL INFLUENZA PROGRAMME (2019), 91
– [15] DERBY; ECKELS; SHULAN: Update the Scientific Evidence for Specifying Lower Limit Relative Humidity Levels for Comfort, Health and IEQ in Occupied Spaces. In: ASHRAE Research Project Report 1630-RP (2016)
– [16] Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Haut vor Verbrennungen durch Wärmestrahlung. Empfehlung des IFA (2011)
– [17] DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen, Herausgegeben von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, ISBN: 978-3-87247-783-5, 1.Auflage 2022, gebunden, 1064 Seiten

7.1.9 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter - Kälte

Prüffragen

– Werden Kältebelastungen durch Witterungsbedingungen, Geräte oder Verfahren weitestgehend verhindert?
– Ist die Lufttemperatur nicht niedriger als technologisch unbedingt erforderlich?
– Wird Zugluft weitgehend vermieden?
– Sind vorhandene Schutzmaßnahmen ausreichend?

Festgestellte Gefährdungen und Mängel

– Kältebeanspruchung durch Witterungsbedingungen
– Kältebeanspruchung durch Geräte/Verfahren

Maßnahmen

– Lufttemperatur nicht niedriger als technologisch unbedingt erforderlich einstellen
– Zugluft vermeiden durch z. B. Abdichten von Fenstern/Türen; Windschutz; geringe Luftgeschwindigkeit
– Wärmestrahler einsetzen
– persönliche Schutzausrüstung anwenden
– Aufwärmzeiten nach DIN 33403-5 einhalten
– Umkleideräume einrichten
– Aufwärmräume einrichten
– Warmluftgeräte/Wärmeplatten zur Wiedererwärmung der Hände aufstellen
– Trockenschränke zum Vorwärmen und Trocknen der Kleidung vorsehen
– Kontaktkälte vermeiden

Maßnahmen bei häufig wechselnden Klimabelastungen

– überbaute Rampen zum klimadichten Abschluss an Lastkraftwagen vorsehen, beheizbare Fahrerkabinen einrichten
– Zwischenlagerräume einrichten
– Arbeitsteilung zwischen den Klimabereichen vorsehen

7.1.10 Textbausteine für Prüflisten und Formblätter - Hitze

Prüffragen

– Bestehen Hitzebelastungen durch Witterungseinflüsse, Geräte und Verfahren oder durch Wärmestrahlung?
– Ist die Sonneneinstrahlung ausreichend durch bauliche Einrichtungen, Jalousien oder Vorhänge abgeschirmt?
– Wird ausreichend für natürliche Lüftung gesorgt?
– Werden Lüftungsanlagen/Klimaanlagen regelmäßig gereinigt und gewartet?
– Sind Pausen zur Muskelerholung (Arbeitsschwere) und zur Entwärmung ausreichend?

Festgestellte Gefährdungen/Mängel

– Hitzebelastung durch Geräte/Verfahren
– Hitzebelastung durch Witterungseinflüsse
– Hitzebelastung durch Wärmestrahlung

Maßnahmen

– Sonnenstrahlung abschirmen (z. B. durch Jalousien, Dachüberstände)
– natürliche Lüftung ermöglichen
– Lüftungsanlagen installieren (z. B. Ventilatoren, Luftduschen)
– Steuerständen oder Kabinen gekühlte Luft zuführen
– Arbeitsbereiche klimatisieren
– Wärmestrahlung verringern durch (Anlagenkapselung; Schutzgläser)
– Arbeitsschwere reduzieren
– viele kurze Pausen zur Muskelerholung vorsehen
– längere Entwärmungsphasen (Anlage 5) einplanen
– PSA anwenden

7.1.11 Autoren, Ansprechpartner und Anlagen

Autoren:

– Dr.-Ing. Kersten Bux
Fachgruppe 2.4 "Arbeitsstätten, Maschinen- und Betriebssicherheit"

Mit Verwendung der Texte von:
– Dr. med. D. Krastel
– Dipl.-Ing. I. Lepenies

Ansprechpartner:

– Dr.-Ing. Kersten Bux
Fachgruppe 2.4 "Arbeitsstätten, Maschinen- und Betriebssicherheit"

Kontakt

Anlagen

– Anlage 1: Protokoll Klimamessung
– Anlage 2: Begriffe in Anlehnung an DIN SPEC 33428
– Anlage 3: Beispiele für Isolationswerte verschiedener Bekleidungen (trocken, in Anlehnung an DIN 33403-3)
– Anlage 4: WBGT-Index in Anlehnung an DIN 33403-3
– Anlage 5: Gestaltung von Entwärmungsphasen bei Hitzearbeit in Anlehnung an DGUV Information 213-002 und [6]
– Anlage 6: Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung (PHS) in Anlehnung an DIN 33403-3

Anlage 1

Protokoll Klimamessung

Datum		Messung	Blatt
_____	_____ _____	☐ mobil ☐ stationär	____ von ___

Messhöhen	Temperatur	Windrichtung	Wärmestrahlung
1 – 170 cm 2 – 210 cm 3 – 10 cm	t Lufttemperatur t_w Feuchttemperatur t_{nw} natürliche Feuchtthermometer-temperatur t_G Globetemperatur	N, O, S, W 1 2 3 4 5 6 7 8 9	

Lfd. Nr.	Uhrzeit	Messort	Mess-höhe	rel. Feuchte RF (%)	Temperatur t (°C)	Temperatur t_w (°C)	Temperatur t_{nw} (°C)	Temperatur t_G (°C)	Luftgeschwindigkeit v (m/s)	Luftgeschwindigkeit Richtg.	Wärmestrahlung E_{eff} (W/m²)	Wärmestrahlung Richtg.	Bemerkungen

Anlage 2

Begriffe in Anlehnung an DIN SPEC 33428

Wärmestrahlung

Für die Einwirkung von Wärme am Arbeitsplatz ist der auf den menschlichen Körper bezogene, durch Wärmestrahlung bedingte Wärmestrom maßgebend. Die Wirkung der Wärmestrahlung auf den Menschen kann auch aus der Kenntnis der effektiven Bestrahlungsstärke E_{eff}, der Globe-Temperatur t_{g} oder der mittleren Strahlungstemperatur t_{r} beurteilt werden.

Effektive Bestrahlungsstärke

Durch Wärmestrahlung nimmt der Mensch aus seiner Umgebung Wärme auf; gleichzeitig gibt er Wärmestrahlung an der Körperoberfläche ab. Die Differenz zwischen der durch Strahlung zugeführten und der durch Strahlung abgeführten Wärmestromdichte wird hier effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} genannt. Um eine einheitliche Bezugsbasis zu erhalten, wird die effektive Bestrahlungsstärke auf eine Haut- oder Oberflächentemperatur des Menschen von 32 °C bezogen. Sie stellt damit den auf diese Basis bezogenen, aus Wärmestrahlung resultierenden Wärmestrom je Fläche dar. Die effektive Bestrahlungsstärke kann direkt mit geeigneten Messgeräten gemessen werden. Dabei ist zu beachten, dass bei der Messung der gesamte umschließende Raum erfasst wird.

Globetemperatur

Die Globetemperatur t_G ist die Temperatur im Innern einer geschwärzten Hohlkugel aus einem dünnen, gut wärmeleitenden Material. Die Globetemperatur t_G stellt sich in Abhängigkeit von den folgenden Größen ein:

- Lufttemperatur
- Luftgeschwindigkeit
- Wärmestrahlung
- Durchmesser der Kugel (15 cm) und
- Absorptionsvermögen der Kugeloberfläche (Emissionsgrad e = 0,95)

Bei der Messung ist zu beachten, dass die Einstellzeit des Globethermometers 20 bis 30 Minuten beträgt.

Mittlere Strahlungstemperatur

Die mittlere Strahlungstemperatur t_R ist eine Größe, die insbesondere im Behaglichkeitsbereich zur Kennzeichnung der Wärmestrahlung benutzt wird. Sie ist die äquivalent einwirkende Strahlungstemperatur der umschließenden Flächen auf einen Empfänger unter Berücksichtigung der Raumwinkel und des Emissionsvermögens in einer temperierten Umgebung.

Die mittlere Strahlungstemperatur t_r in °C wird aus der Lufttemperatur t_a, der Luftgeschwindigkeit v_a und der Globetemperatur t_G nach folgender Näherungsformel berechnet:

$$\overline{t_{\text{r}}} = \sqrt[4]{\left(t_{\text{g}} + 273\right)^4 + 2{,}5 \cdot 10^8 \cdot \left(t_{\text{g}} - t_{\text{a}}\right) \cdot {v_{\text{a}}}^{0{,}6}} - 273$$

Anlage 3

Beispiele für Isolationswerte verschiedener Bekleidungen (trocken in Anlehnung an DIN 33403-3)

Bekleidung	Isolationswert I_{cl}	
	[m^2 K/W]	[clo]
unbekleidet	0	0
Overall (Baumwolle) – Oberhemd, kurze Unterwäsche, Socken, Schuhe	0,124	0,8
feste Arbeitskleidung – lange Unterwäsche, einteiliger Arbeitsanzug, Socken, feste Schuhe	0,155	1,0
leichter Straßenanzug – kurze Unterwäsche, geschlossenes Oberhemd, leichte Jacke, lange Hose, Socken, Schuhe	0,155	1,0
Schmelzeranzug (flammenhemmende Ausrüstung) – Oberhemd, kurze Unterwäsche, Socken, Schuhe	0,155	1,0
Schmelzeranzug und Hitzeschutzmantel – Oberhemd, kurze Unterwäsche, Socken, Schuhe	0,217	1,4
leichter Straßenanzug mit leichtem Mantel	0,233	1,5
Kleidung für nasskaltes Wetter – lange Unterwäsche, geschlossenes langes Oberhemd, feste Jacke und Hose, Pullover, Wollmantel, Wollsocken, feste Schuhe	0,233 bis 0,310	1,5 bis 2,0

Anlage 4

WBGT-Index in Anlehnung an DIN 33403-3

WBGT-Index (Wet Bulb Globe Temperature)

Der WBGT-Index wird in °C angegeben und kann nach folgenden Formeln bestimmt werden:

- innerhalb und außerhalb von Gebäuden und ohne direkte Einwirkung von Sonnenstrahlung, $WBGT = 0{,}7 * t_{nw} + 0{,}3 * t_g$
- außerhalb von Gebäuden und bei direkter Einwirkung von Sonnenstrahlung, $WBGT = 0{,}7 * t_{nw} + 0{,}2 * t_g + 0{,}1 * t_a$

mit:

- t_{nw} Temperatur eines natürlich belüfteten, befeuchteten Thermometers in [°C]
- t_g Globetemperatur in [°C]
- t_a Lufttemperatur in [°C]

Die Globetemperatur und die Temperatur eines natürlich belüfteten Feuchtthermometers sind Mischgrößen. Sie werden von den Klimagrößen Lufttemperatur, Luftfeuchte (nur t_{nw}), Wärmestrahlung und Luftgeschwindigkeit beeinflusst.

Die Messung der Temperatur t_{nw} wird definitionsgemäß mit einem Thermometer nach folgender Form vorgenommen:

> Es wird ein zylindrisches Thermometergefäß mit einem Durchmesser von 6 ± 1 mm und einer Länge von mindestens 30 mm angewendet. Das Thermometergefäß ist mit einem weißen Strumpf überzogen, der eine gute Saugfähigkeit für Wasser aufweist. Die Messung erfolgt bei vollständiger Befeuchtung dieses Strumpfes durch destilliertes Wasser ohne zusätzliche Belüftung des Gerätes. Die vollständige Befeuchtung ist besonders bei starker Wärmestrahlung zu beachten.

Es ist zu beachten, dass es sich bei der Größe t_{nw} um die Temperatur eines durch die am Messort vorhandenen (natürlichen) Luftbewegungen beeinflussten Feuchtthermometers handelt; sie ist nicht zu verwechseln mit der Feuchttemperatur t_w (DIN EN ISO 7726 sowie im DIN SPEC 33428) eines zwangsbelüfteten Psychrometers nach Aßmann. Bei der Ermittlung der Globetemperatur ist die Einstellzeit des Globethermometers, die etwa 20 bis 30 Minuten beträgt, zu beachten. Das Messgerät muss entsprechend lange am Messort verbleiben.

Der WBGT-Index ist zur Beurteilung der Klimawirkungen im Bereich thermischer Behaglichkeit nicht geeignet.

Anlage 5

Gestaltung von Entwärmungsphasen bei Hitzearbeit in Anlehnung an DGUV Information 213-002 und [6]

Ist die Hitzebelastung so hoch, dass ein dauernder Aufenthalt auch nach einer Reduzierung der Arbeitsschwere nicht mehr möglich ist, sind Entwärmungsphasen vorzusehen. Entwärmungsphasen sind Zeiträume, in denen der Körper durch den Aufenthalt in weniger belastenden Klimabereichen Wärme abgeben kann. Dabei kann leichte körperliche Arbeit durchgeführt werden.

Nach sehr hohen Hitzebelastungen können auch Hitzepausen (ohne körperliche Arbeit) innerhalb der Entwärmungsphasen notwendig sein. Die Entwärmungsphasen und Hitzepausen sind in einem Bereich zu verbringen, der kühler ist als der Arbeitsbereich, jedoch keine zu großen Temperaturunterschiede aufweist. Der Temperaturbereich von 25 bis 35 °C hat sich unter Berücksichtigung der Bekleidung als zweckmäßig erwiesen. Die Entwärmungsphasen und Hitzepausen müssen zur Aufnahme geeigneter Getränke genutzt werden, um die durch Schwitzen verlorene Flüssigkeit wieder zu ersetzen.

Die Dauer der Entwärmungsphasen richtet sich nach den vorangegangenen Belastungen. Legt der Beschäftigte nicht schon aufgrund seiner eigenen Einschätzung früher eine Unterbrechung ein, werden die nachfolgenden Zeiten (Richtwerte nach Tab. A5-1) in Abhängigkeit von Lufttemperatur und Luftfeuchte empfohlen (Abb. A5-1). Der Grad der Belastung durch Hitzearbeit orientiert sich an den Bereichen H1, H2 und H3. Die Hitzearbeit kann nach der Entwärmungsphase wieder aufgenommen werden. Bei nennenswerter zusätzlicher Wärmestrahlung wird empfohlen, die Lufttemperatur durch eine „resultierende Temperatur“ (t_{res}) zu ersetzen, die auf der Grundlage der Lufttemperatur (t_a) und der Globetemperatur (t_g) nach folgender Formel bestimmt wird:

$$t_{res} = 0{,}7 * t_g + 0{,}3 * t_a$$

Tabelle 2 gibt eine Übersicht zu Bedingungen und Handlungsempfehlungen bei der Gestaltung von Arbeits- und Entwärmungsphasen. Generell bzw. darüber hinaus gilt:

- Beschäftigte auf Gefahren hinweisen und für Anzeichen einer Überbeanspruchung sensibilisieren, nur gesunde und nicht vorgeschädigte Beschäftigte einsetzen;
- ausreichendes Trinkregime sicherstellen;
- Entwärmungsphasen in klimaneutraler Umgebung bei Ruhe oder höchstens leichter körperlicher Arbeit gewährleisten;
- sonstige Vorschriften und Regelungen besonderer Berufsgruppen beachten.

Ungünstigere Bedingungen liegen z. B. dann vor, wenn die Bekleidungsisolation > 0,9 clo ist oder der Arbeitsenergieumsatz während der Expositionsphasen > 200 W ist. Ebenso wird die Anwendung des PHS-Modells empfohlen, wenn der Bezug auf eine Stunde aufgrund der organisatorischen Randbedingungen nicht sinnvoll erscheint, d. h., längere Entwärmungsphasen möglich sind und hieraus die Frage resultiert, wie lang unter diesen Umständen die Expositionsphase sein kann.

Zum Schutz der Gesundheit der Beschäftigten, aber auch aus wirtschaftlichen Überlegungen, sollte generell vorab geprüft werden, ob eine Reduzierung der Belastungssituation während der Expositionsphase möglich ist, d. h., ob Klimabedingungen, Arbeitsschwere und/oder Bekleidungsisolation reduziert werden können. Bei der Bekleidungsisolation sind jeweils u. U. erforderliche zusätzliche Schutzanforderungen zu berücksichtigen.

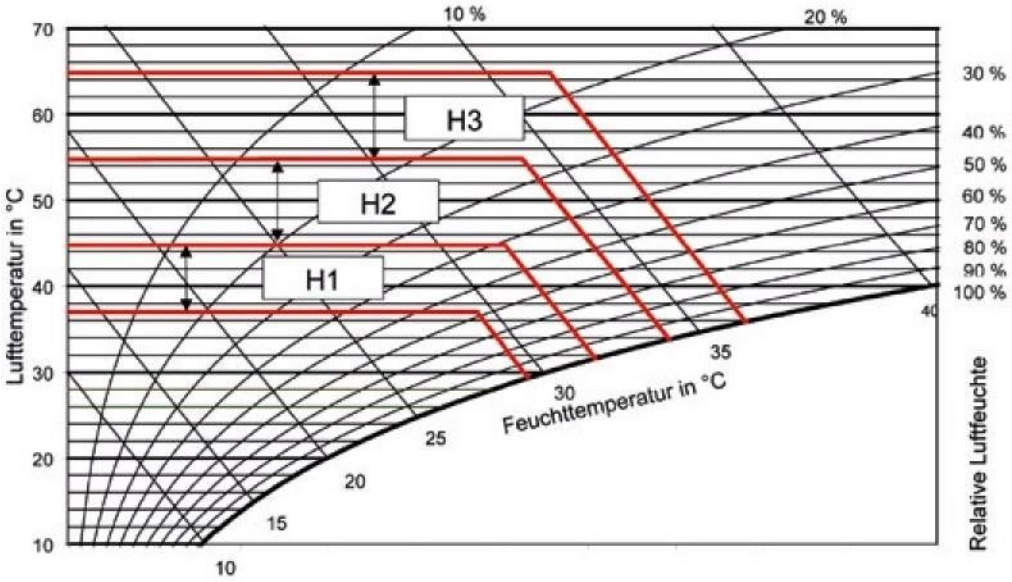
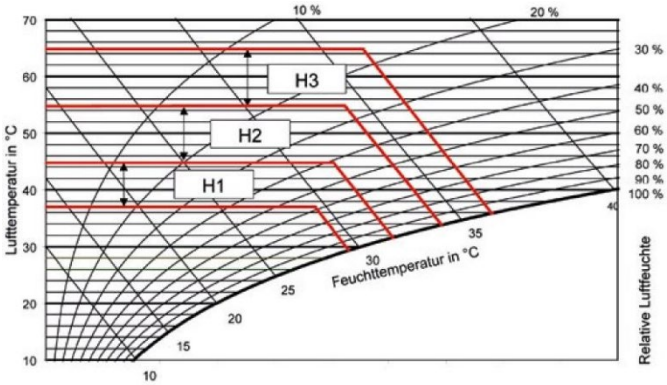


Abb. A5-1 Richtwerte für Entwärmungsphasen bei Hitzearbeit

Tab. A5-1 Richtwerte der Entwärmungsphasen je Stunde

Hitzebereich	Entwärmungsphase
H1	15 Minuten/Stunde
H2	30 Minuten/Stunde
H3	45 Minuten/Stunde
Über H3	keine gesicherte Angabe möglich

Tab. A5-2 Handlungs- und Entscheidungshilfe bei der Gestaltung von Arbeits- und Entwärmungsphasen

Bedingung	**Handlungsempfehlung**
Die Randbedingungen für die Anwendung des Diskussionsvorschlages sind erfüllt, d. h. während der Expositionsphase: - leichte bis mittlere Bekleidungsisolation (ca. 0,6 – 0,9 clo) - leichte bis mittlere Arbeitsschwere (bis ca. 200 W Arbeitsenergieumsatz) - geringe Luftgeschwindigkeiten (bis ca. 0,20 – 0,50 m/s) - weitestgehend konstante Klimabedingungen - Lufttemperatur unter ca. 65 °C und Feuchttemperatur unter ca. 36 °C - keine zusätzliche Wärmestrahlung, z. B. durch heiße Oberflächen oder Aggregate	 Anwendung des Diagramms (vgl. Abb. A5-1) zur Bestimmung der Dauer von Expositions- und Entwärmungsphasen auf der Grundlage von Lufttemperatur und rela-tiver Luftfeuchte während der Expositionsphasen.
Während der Expositionsphasen besteht zusätzliche Wärmestrahlungsbelastung, z. B. durch heiße Oberflächen oder Aggregate.	Bestimmung einer resultierenden Temperatur (t_{res}) aus Globetemperatur (t_g) und Lufttemperatur (t_a) nach folgender Formel: $t_{res} = 0{,}7 * t_g + 0{,}3 * t_a$ Ersatz der Lufttemperatur durch die resultierende Tem-peratur bei der Anwendung des Diagramms (vgl. Abb. A5-1) zur Bestimmung der Dauer von Expositions- und Entwärmungsphasen.
geringere Belastbarkeit z. B. von weiblichen Beschäftigten berücksichtigen	Zur Anpassung an die bei gleichen Anforderungen erhöhte Beanspruchungsreaktion sollte der angesetzte Arbeitsenergieumsatz erhöht werden, z. B. im Fall von weiblichen Beschäftigten +30 %.
schwere körperliche Arbeit, d. h. Arbeitsenergieumsatz > 200 W und/oder schwere Bekleidung (0,9 clo) erforderlich	Überprüfung des Ergebnisses auf der Grundlage des PHS-Modells: Wenn die Expositionsphasen kürzer sind/ausfallen, diese kürzeren Zeiten anwenden.
erhöhte Luftgeschwindigkeiten und/oder nicht weitgehend konstante Klimabedingungen während der Expositionsphasen	
Lufttemperatur über ca. 65 °C oder Feuchttemperatur über ca. 36 °C oder auf der Grundlage des PHS-Modells ermittelte Expositionsdauer < 15 Minuten	Einleitung technischer Schutzmaßnahmen bzw. Kontrolle physiologischer Parameter während der Belastung (z. B. Herzfrequenz, Körperkerntemperatur) unter Hinzuziehung der Betriebsärztin/des Betriebsarztes

Anlage 6

Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung (PHS) in Anlehnung an DIN 33403-3

Das Klimasummenmaß „Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung“ beruht auf einem physiologischen und physikalischen Modell der Wärmeabgabe des Menschen an die Umgebung. Da die Anpassung an eine Wärmebelastung physiologisch im Wesentlichen durch eine Erhöhung der Schweißbildung erfolgt, bestimmt das Klimasummenmaß die für den Ausgleich der Wärmebilanz (Wärmeabgabe = Wärmezufuhr) erforderliche Schweißabgabe.

Die „Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung“ wird nach einem Verfahren durchgeführt, in dem die klima- und die personenbezogenen Größen als Eingangsgrößen berücksichtigt werden. Im Einzelnen werden der Wärmeaustausch durch Konvektion und Strahlung sowie die zum Ausgleich der Wärmebilanz erforderliche Schweißverdunstung berechnet. Die erforderliche Schweißrate wird aus der zum Ausgleich der Wärmebilanz erforderlichen Schweißverdunstung bestimmt, indem zusätzlich zum verdunsteten auch der von der Bekleidung aufgesogene und der von der Haut abgetropfte Schweiß Berücksichtigung findet (Abb. A6-1).

Bei einem Ungleichgewicht der Wärmebilanz, d. h., wenn die Wärmezufuhr die mögliche Wärmeabgabe übersteigt, tritt eine mit der Erhöhung der Körpertemperatur einhergehende Wärmespeicherung auf. Zur Vermeidung von Gesundheitsrisiken darf die Körpertemperatur (rektal) für die Gesamtheit exponierter Personen im Mittel einen Wert von 38 °C nicht überschreiten.

Die Dehydratation des Körpers durch Schweißabgabe darf einen Betrag von 3 % des Körpergewichtes nicht überschreiten, um pathologische Effekte zu vermeiden.

Wenn mindestens einer dieser Maximalwerte unter den vorgegebenen Bedingungen überschritten wird, weist das Modell eine maximal zulässige Expositionszeit aus. Für die Durchführung der Berechnungen ist der Einsatz von Datenverarbeitungsprogrammen zu empfehlen; ein entsprechendes BASIC-Programm ist in DIN EN ISO 7933 enthalten.

Die Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung PHS erlaubt es, innerhalb eines weiten Bereichs der Klimaparameter (DIN EN ISO 7933; Tab. A.1) maximale zulässige Expositionsdauern abzuschätzen.

Die maximalen zulässigen Expositionsdauern entsprechend PHS lassen sich für vorgegebene Belastungsgrößen – und auch für Folgen unterschiedlicher Klimaexpositionen – mithilfe des angegebenen Computerprogramms errechnen.

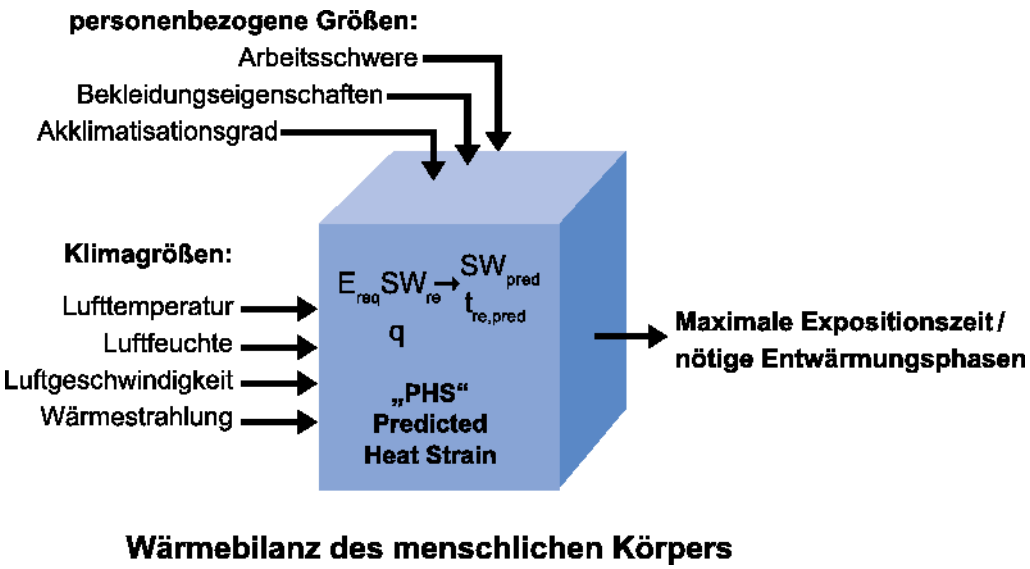


Abb. A6-1 PHS-Modell nach DIN ISO 7933 – Vorhergesagte Wärmebeanspruchung des Menschen (PHS – Predicted Heat Strain)

Impressum

Zitiervorschlag:
Marlies Kittelmann, Lars Adolph, Alexandra Michel, Rolf Packroff, Martin Schütte, Sabine Sommer, Hrsg., 2023.
Handbuch Gefährdungsbeurteilung
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
DOI: 10.21934/baua:fachbuch20230531
[Bitte Zugriffsdatum einfügen]
Verfügbar unter: www.baua.de/gefaehrdungsbeurteilung

Fachliche Herausgeber:
Marlies Kittelmann, Lars Adolph, Alexandra Michel, Rolf Packroff, Martin Schütte, Sabine Sommer

Herausgeber:
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1–25, 44149 Dortmund
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund

Telefon: 0231 9071-2071
Telefax: 0231 9071-2070
E-Mail: *info-zentrum@baua.bund.de*
Internet: *www.baua.de*

Redaktion: Strategische Kommunikation und Kooperation, BAuA
Gestaltung: Susanne Graul, BAuA; eckedesign, Berlin
Fotos: Uwe Völkner, Fotoagentur FOX, Lindlar/Köln; Kapitel "Biostoffe": Nancy Heubach, BAuA

Diese Handlungshilfe benutzt eine geschlechtergerechte Sprache. Dort, wo das nicht möglich ist oder die Lesbarkeit stark eingeschränkt würde, gelten die gewählten personenbezogenen Bezeichnungen für beide Geschlechter.

Alle Urheberrechte bleiben vorbehalten. Die auf der Website der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin hinterlegten Datenbankinhalte, Texte, Grafiken, Bildmaterialien, Ton-, Video- und Animationsdateien sowie die zum Download bereitgestellten Publikationen sind urheberrechtlich geschützt. Wir behalten uns ausdrücklich alle Veröffentlichungs-, Vervielfältigungs-, Bearbeitungs- und Verwertungsrechte an den Inhalten vor.

Die Inhalte dieser Handlungshilfe wurden mit größter Sorgfalt erstellt und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die BAuA jedoch keine Gewähr.

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.