



AWMF-Register Nr.	002/045	Klasse:	S2k
--------------------------	----------------	----------------	------------

Arbeiten unter klimatischen Belastungen

**S2k-Leitlinie
der**

**Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.
(DGAUM)**

und

der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA),

der Deutschen Physiologischen Gesellschaft e.V. (DPG) und

**des Verbands für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit e.V.
(VDSI)**

DGAUM
DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR
ARBEITSMEDIZIN UND UMWELTMEDIZIN

GfA


DPG DEUTSCHE
PHYSIOLOGISCHE
GESELLSCHAFT

VDSI
Verband für Sicherheit,
Gesundheit und Umweltschutz
bei der Arbeit

Herausgebende

Federführende Fachgesellschaft

Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.

Schwanthaler Straße 73 b

80336 München

Tel.: +49 (0) 89 / 330 396-0

Fax: +49 (0) 89 / 330 396-13

E-Mail: gs@dgaum.de

Web: www.dgaum.de

Leitlinienkoordinator

Prof. Dr. André Klußmann,

Professur Arbeitswissenschaft, Fakultät Life Sciences, Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg und Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER), Wuppertal

Bitte wie folgt zitieren:

Karl Jochen Glitz, Kersten Bux, Beate Catrein, Paul Dietl, Bianca Engelmann, Hansjürgen Gebhardt, Sandra Groos, Bernhard Kampmann, Karsten Kluth, Dieter Leyk, Petra Zander, André Klußmann

Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.

AWMF-S2k-Leitlinie Arbeiten unter klimatischen Belastungen

1. Auflage, Version 1 vom 10.06.2022

verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/002-045.html>

Was gibt es Neues?

Dieser Leitlinie sind die S1-Leitlinien „Arbeit unter klimatischer Belastung: Hitze“ (002-039, vgl. Glitz et al., 2012a), „Arbeit unter klimatischer Belastung: Kälte“ (002-041, vgl. Glitz et al., 2012b) und „Arbeit unter klimatischer Belastung: Isolierende Schutzbekleidung als Sonderfall einer Hitzebelastung“ (002-040, vgl. Glitz et al., 2013) vorausgegangen. Die vorliegende Leitlinie „Arbeiten unter klimatischen Belastungen“ ersetzt die o.g. Leitlinien. Die Inhalte wurden aktualisiert, gebündelt und die Leitlinie u.a. unter Einbindung weiterer Fachgesellschaften auf ein S2k-Niveau angehoben.

Kernaussagen und Empfehlungen auf einen Blick

Allgemeine Kernaussagen und Empfehlungen zu Arbeiten unter klimatischen Belastungen

1	Kernaussage
<p>Klima kann allgemein in die drei Bereiche „Behaglichkeitsbereich“, „wärmebelasteter Arbeitsbereich“ und „kältebelasteter Arbeitsbereich“ eingeteilt werden. Klimabedingte gesundheitliche Gefährdungen können insbesondere in wärme- und kältebelasteten Arbeitsbereichen auftreten, wenn</p> <ul style="list-style-type: none">a) ein thermoregulatorischer Gleichgewichtszustand nicht mehr möglich ist, der Körper also sich zu stark erwärmt oder auskühlt oderb) es zu lokaler Erwärmung oder Auskühlung kommt, so dass Verbrennungen oder Erfrierungen insbesondere der Extremitäten (Finger, Zehen, Ohren ...) auftreten, auch wenn die Körperkerntemperatur konstant bleibt.	
Konsensstärke: starker Konsens	
2	Kernaussage
<p>Die alleinige Betrachtung der Temperatur ist für die Bewertung der klimatischen Belastung in der Regel nicht ausreichend. Einzelne Klimaparameter und personenbezogene Größen wirken auf den Menschen ein. Diese werden in sogenannten Klimasummenmaßen zusammengefasst. Hierin werden i.d.R. mehrere Klimaparameter und gegebenenfalls weitere Größen wie Arbeitsschwere, Bekleidungsisolierung und Akklimatisationsgrade von Personen zu einem Wert zusammengefasst. Dieses ist bei der Beurteilung der Arbeitsbedingung zu beachten.</p>	
Konsensstärke: starker Konsens	
3	Kernaussage
<p>Das Raumklima wird über die vier physikalischen Grundparameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit (sowie ggfs. Wärmestrahlung, wenn sich die umgebenden Flächen hinsichtlich ihrer mittleren Strahlungstemperatur deutlich von der Lufttemperatur unterscheiden) definiert. Für die Beurteilung der Klimabelastung sind zudem arbeitssystembezogene Größen wie Expositionszeit, Arbeitsschwere, Bekleidungsisolierung, und individuelle Eigenschaften wie Grad der Akklimatisation und Gesundheitszustand zu beachten.</p>	
Konsensstärke: starker Konsens	

4	Kernaussage
Neben zu hohen/niedrigen Raumtemperaturen können lokale Effekte wie Zugluft, zu warme/kalte Fußböden oder zu warme/kalte Wände, Fensterflächen, Decken zu Beeinträchtigung des Wohlbefindens und zu Beschwerden über das Raumklima führen.	
Konsensstärke: starker Konsens	

1	Empfehlung	↑↑
Bei Beschwerden über trockene Raumluft im Winter empfehlen wir, auf		
<ul style="list-style-type: none"> • ausreichende Luftfeuchte, • zugfreie Lüftung, • ergonomische Gestaltung von z. B. Bildschirmarbeitsplätzen (bei Augenbeschwerden), • die Anwendung von individuell geeigneter Hautcreme und • ausreichende Flüssigkeitszufuhr 		
zu achten.		
Konsensstärke: starker Konsens		

Zusätzliche Kernaussagen und Empfehlungen zu Arbeiten in kältebelasteten Arbeitsbereichen

5	Kernaussage
Hautoberflächentemperaturen unter +32 °C gehen bereits mit einer Verschlechterung der Oberflächenwahrnehmung einher. Ein Absinken der Hautoberflächentemperatur unter +8 °C kann dazu führen, dass Nervenblockaden auftreten, die dafür sorgen, dass die Gefahr einer bevorstehenden Erfrierung nicht mehr wahrgenommen wird.	
Konsensstärke: starker Konsens	

6a	Kernaussage
Bei Kältearbeit ist eine psychische Belastung zu berücksichtigen, die zu einer individuellen Fehlbeanspruchung mit diverser Symptomatik führen kann.	
Konsensstärke: starker Konsens	

2	Empfehlung	↑↑
Wir empfehlen, beim Absinken der Körperkerntemperatur unter 35,5 °C unverzüglich Maßnahmen nach Tab. 3-4 (siehe Abschnitt 3.2.4.2 in dieser Leitlinie) zu ergreifen. Zur Ermittlung und Interpretation der Körperkerntemperatur wird auf Abschnitt 4.3.2 in dieser Leitlinie verwiesen.		
Konsensstärke: starker Konsens		

3	Empfehlung	↑↑
Wir empfehlen, dass Beschäftigte in kältebelasteten Arbeitsbereichen in Innenräumen ab Kältebereich II immer mindestens zu zweit arbeiten und zudem in Sichtkontakt verbleiben. Des Weiteren wird empfohlen, in Innenräumen Notruf-Knöpfe auf Bodenniveau einzurichten. Beschäftigte, die in kältebelasteten Arbeitsbereichen arbeiten, sind regelmäßig hinsichtlich der Verhaltensmaßnahmen und der Erste-Hilfe-Maßnahmen zu unterweisen.		
Konsensstärke: starker Konsens		

4	Empfehlung	↑↑
Für die Arbeitsgestaltung in kältebelasteten Arbeitsbereichen empfehlen wir, dass		
<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsbereiche nicht kälter sind, als es betriebstechnisch unbedingt erforderlich ist, • verbindliche Regelungen für Arbeits- und Pausenzeiten geschaffen werden, wobei der Fokus auf einer möglichst kurzen Kälteexposition und einer möglichst langen Aufwärmphase liegen sollte, • Arbeitgeber in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und der Arbeitsschwere die bestmögliche Kälteschutzkleidung bereitstellen, • Arbeitgeber gewärmte Aufenthaltsbereiche sowie warme Getränke vorhalten. Wir schlagen vor, Kleidertrocknungsanlagen zu installieren sowie • Arbeitgeber den Einsatz neuer Technologien, die dazu beitragen die Kälteexpositionsdauer zu verringern, fördern. 		
Auf Abschnitt 7.1.2 dieser Leitlinie wird verwiesen.		
Konsensstärke: starker Konsens		

Zusätzliche Kernaussagen und Empfehlungen zu Arbeiten in wärmebelasteten Arbeitsbereichen

7	Kernaussage
Gesundheit und Leistungsfähigkeit bei Wärmebelastung sind nicht allein durch einzelne Gestaltungsmaßnahmen zu gewährleisten, sondern erfordern eine übergreifende Festlegung und Durchführung von Präventionsmaßnahmen wie arbeitsmedizinische Prävention, Akklimatisation.	
Konsensstärke: starker Konsens	

6b	Kernaussage
Bei Hitzearbeit ist eine psychische Belastung zu berücksichtigen, die zu einer individuellen Fehlbeanspruchung mit diverser Symptomatik führen kann.	
Konsensstärke: starker Konsens	

5	Empfehlung	↑↑
Wir empfehlen, Maßnahmen zu ergreifen, dass die Körperkerntemperatur bei Arbeiten unter Hitzebelastung dauerhaft nicht über 38,5 °C ansteigt.		
Konsensstärke: starker Konsens		

6	Empfehlung	↑↑
<p>Beim Auftreten eines der in Tab 3-6 (siehe Abschnitt 3.3.3.2 dieser Leitlinie) beschriebenen Krankheitsbilder, insbesondere beim Verdacht eines anstrengungsbedingten Hitzschlags, sind unverzüglich die dort beschriebenen Maßnahmen der präklinischen Therapie einzuleiten. Beschäftigte, die in wärmebelasteten Arbeitsbereichen arbeiten, sind regelmäßig hinsichtlich der Verhaltensmaßnahmen und der Erste-Hilfe- Maßnahmen zu unterweisen.</p>		
Konsensstärke: starker Konsens		

7	Empfehlung	↑↑
<p>Die physiologischen Anpassungen der Akklimatisation verbessern wesentlich die Erträglichkeit von Hitzebelastungen. Wir empfehlen eine Akklimatisationsphase von mindestens 7 Tagen, in denen die Arbeitszeit und/oder die Arbeitsintensität verringert werden. Hinweis: Eine Unterbrechung der Hitzeexposition kann schon nach einer Woche zu erheblichen Einbußen führen, bei drei Wochen ist ein kompletter Akklimatisationsverlust möglich.</p>		
Konsensstärke: starker Konsens		

8	Empfehlung	↑↑
<p>Bei hohen Außentemperaturen über +26 °C gilt das Stufenmodell nach ASR A3.5: Bei Lufttemperaturen in Arbeitsräumen bis +30 °C sollen, bis +35 °C müssen Maßnahmen ergriffen werden. Wir empfehlen geeignete Regelungen zur Arbeitsorganisation und Arbeitszeit zu treffen. Unabhängig davon sollen bis 30 °C, bei höheren Temperaturen müssen geeignete Getränke bereitgestellt werden. Über +35 °C ist der Arbeitsraum ohne Maßnahmen wie bei Hitzearbeit als solcher nicht geeignet.</p>		
Konsensstärke: starker Konsens		

Zusätzliche Kernaussagen und Empfehlungen zu Arbeiten in thermisch isolierender Schutzbekleidung

8	Kernaussage	
<p>Das Tragen von Schutzbekleidung ist häufig mit einer vermehrten Muskelarbeit und in der Folge mit einer erhöhten metabolischen Wärmebildung verbunden. Gleichzeitig beeinträchtigt die thermische Isolation vor allem die Schweißverdunstung, den wichtigsten Entwärmungsmechanismus der Beschäftigten bei Hitzearbeit. Vergleichbar einer Hitzebelastung im Umgebungsklima kann es daher auch im Mikroklima einer Schutzbekleidung zu Einschränkungen der Leistungsfähigkeit und zur gesundheitlichen Gefährdung durch anstrengungsbedingte Überhitzungen bis hin zum Hitzschlag kommen.</p>		
Konsensstärke: starker Konsens		

9	Empfehlung	↑↑
<p>Sofern eine Schutzbekleidung den Wärmeaustausch zwischen dem/der Träger*in und der Umgebung erheblich beeinträchtigt, empfehlen wir zur Prävention einer Hyperthermie grundsätzlich eine Tragezeitbegrenzung.</p>		
<p>Konsensstärke: starker Konsens</p>		
10	Empfehlung	↑↑
<p>Wir empfehlen, dass Einsatzkräfte regelmäßig in ihren Schutzanzügen unter einsatznahen Bedingungen trainieren, um sich auf die Einschränkungen der Schutzbekleidung einzustellen.</p>		
<p>Konsensstärke: starker Konsens</p>		
11	Empfehlung	↑↑
<p>Zur Vermeidung einer übermäßigen metabolischen Wärmeentwicklung empfehlen wir, die Arbeitsschwere an das Mikroklima einer thermisch isolierenden Schutzbekleidung anzupassen. Erfahrene Beschäftigte richten ihre Arbeitsintensität am eigenen Beanspruchungsempfinden aus (self-pacing) und vermeiden oder verzögern damit eine übermäßige Erwärmung oder vorzeitige Ermüdung.</p>		
<p>Konsensstärke: starker Konsens</p>		

Schlüsselwörter:

Wärmebelastete Arbeitsbereiche, kältebelastete Arbeitsbereiche, Hitzearbeit, Kältarbeit, Isolierende Schutzbekleidung, Arbeitsmedizinische Vorsorge, Komfortbereich, Arbeitsklima, Belastung, Beanspruchung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Herausgebende	1
Was gibt es Neues?	2
Kernaussagen und Empfehlungen auf einen Blick	2
Inhaltsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung	11
1.1 Geltungsbereich und Zweck	11
1.1.1 Zielsetzung und Fragestellung	11
1.1.2 Versorgungsbereich	11
1.1.3 Patient*innenzielgruppe	11
1.1.4 Adressat*innen	11
1.1.5 Weitere Dokumente zu dieser Leitlinie	11
1.2 Vorbemerkungen	12
1.3 Bedeutung des Themas	13
1.4 Begrifflichkeiten	14
1.4.1 Einteilung in Klimabereiche	14
1.4.2 Bewertung von klimatischen Beanspruchungen	15
1.4.3 Veränderung der Anpassung über längere Zeiträume	16
1.4.4 Bewertung von klimatischen Belastungen durch Klimasummenmaße (Klima-Indizes)	17
1.4.5 Übersicht über die Klimabereiche	17
2 Rechtliche Grundlagen und Bezüge	18
2.1 Staatliches Regelwerk	18
2.2 Regelungen der Unfallversicherungsträger	20
2.3 DIN, DIN EN, DIN ISO und DIN EN ISO-Normen	20
2.4 Weitere Literatur	20
3 Physiologische Grundlagen	21
3.1 Allgemeines	21
3.2 Physiologie bei Kälte	22
3.2.1 Kälteantworten	22
3.2.2 Anpassungen bei langanhaltender Kälteexposition	23
3.2.3 Systemische Gefahren der Kälteexposition	24
3.2.4 Erkrankungen durch Kälteexposition und Sofortmaßnahmen	26
3.2.5 Arbeitsmedizinische Beurteilung bei Arbeiten in kältebelasteten Bereichen	30
3.2.6 Abbruchkriterien bei Arbeiten in kältebelasteten Bereichen	31
3.3 Physiologie bei Wärme	32
3.3.1 Wärmeantworten	32
3.3.2 Anpassungen an Wärme	32
3.3.3 Erkrankungen durch Wärmeexposition – Sofortmaßnahmen	33
3.3.4 Arbeitsmedizinische Beurteilung bei Arbeiten in wärmebelasteten Bereichen	35
3.3.5 Abbruchkriterien bei Arbeiten in wärmebelasteten Bereichen bzw. mit thermisch isolierender Schutzbekleidung	36

4	Messung	38
4.1	Allgemeine Hinweise zur Messung von Klimaparametern und zur Bestimmung von Einflussgrößen	38
4.2	Messgeräte und Bedingungen	39
4.2.1	Messung der Lufttemperatur	39
4.2.2	Messung der Luftfeuchte	39
4.2.3	Messung der Luftgeschwindigkeit	39
4.2.4	Messung der Wärmestrahlung	40
4.3	Ermittlung personenbezogener Größen	40
4.3.1	Arbeitsschwere und Bekleidungsisololation	40
4.3.2	Ermittlung der Körperkerntemperatur	40
4.4	Anwendung auf ausgewählte Klimasummenmaße	41
4.4.1	Ermittlung der Normal-Effektiv-Temperatur (NET)	42
4.4.2	Vereinfachte Ermittlung der thermischen Beanspruchung	44
4.4.3	Weitere Klimasummenmaße	44
5	Beurteilung und Gestaltung des Komfortbereichs	45
5.1	Allgemeine Einflussfaktoren, Modelle und Summenmaße	45
5.2	Spezielle Beurteilung des Klimas im Komfortbereich	46
5.2.1	Beurteilungsmaßstäbe	46
5.2.2	Sommerhitze – Auswirkungen und Gefahren	48
5.2.3	Trockene Raumluft im Winter – Ursachen und Wirkungen	48
5.2.4	Subjektives Empfinden der thermischen Behaglichkeit	49
5.3	Gestaltungsmaßnahmen im Komfortbereich	49
5.3.1	Gestaltungsmaßnahmen bei Sommerhitze	49
5.3.2	Gestaltungsmaßnahmen bei trockener Raumluft im Winter	51
5.3.3	Gestaltungsmaßnahmen beim subjektiven Empfinden der thermischen Behaglichkeit	52
6	Beurteilung und Gestaltung von wärmebelasteten Arbeitsbereichen	53
6.1	Modelle und Summenmaße zur Beurteilung von wärmebelasteten Arbeitsbereichen	53
6.2	Gestaltungs- und Präventionsmaßnahmen bei Wärmebelastung	54
6.2.1	Arbeitsplatzgestaltung/ -organisation	54
6.2.2	Medizinisch orientierte Präventionsmaßnahmen	55
6.2.3	Hitzestressmanagement	58
6.3	Wärmebelastung durch Schutzbekleidung	58
6.3.1	Wirkung von Schutzbekleidung	58
6.3.2	(Arbeitsplatz-) Gestaltung	59
6.3.3	Medizinisch orientierte Präventionsmaßnahmen	59
6.3.4	Hitzestressmanagement	62
7	Beurteilung und Gestaltung von kältebelasteten Arbeitsbereichen	64
7.1	Einflussfaktoren und Modelle	64
7.1.1	Physikalische Einflussgrößen	64
7.1.2	Arbeits- und Pausenzeiten für Arbeiten in kalter Umgebung	65
7.1.3	Arbeitsmedizinische Vor- und Nachsorge für Arbeitnehmer in Kälte	66
7.2	Kältebelastungen in Innenräumen und im Freien	67
7.3	Erforderliche Bekleidungsisololation	68
7.4	Forschungsprojekt Kältarbeit mit Praxistransfer	69
7.5	Abschließendes Fazit zur Kältarbeit	70
8	Ausblick	71

9	Wichtige Forschungsfragen	72
10	Zusammensetzung der Leitliniengruppe	74
10.1	Leitlinienkoordinator*in/Ansprechpartner*in	74
10.2	Beteiligte Fachgesellschaften und Organisationen	74
10.3	Patient*innen/Bürger*innenbeteiligung	75
10.4	Methodische Begleitung	75
11	Informationen zu dieser Leitlinie	76
11.1	Methodische Grundlagen	76
11.2	Systematische Recherche, Auswahl und kritische Bewertung der Evidenz	76
11.3	Strukturierte Konsensfindung	76
11.4	Empfehlungsgraduierung und Feststellung der Konsensstärke	77
12	Redaktionelle Unabhängigkeit	78
12.1	Finanzierung der Leitlinie	78
12.2	Darlegung von Interessen und Umgang mit Interessenkonflikten	78
13	Verabschiedung	79
14	Gültigkeitsdauer und Aktualisierungsverfahren	80
15	Literatur	81
15.1	Fachliteratur	81
15.2	Staatliches Regelwerk	89
15.2.1	Europäische Richtlinien	89
15.2.2	Gesetze und Verordnungen	89
15.2.3	Technische Regeln	89
15.3	Regeln, Informationen und Grundsätze der DGUV	90
15.3.1	Regeln der DGUV	90
15.3.2	Informationen der DGUV	90
15.3.3	Empfehlungen für arbeitsmedizinische Untersuchungen	90
15.4	Nationale und internationale Normen	91
15.4.1	Nationale Normen (DIN)	91
15.4.2	Europäische Normen (EN)	91
15.4.3	Internationale Normen (ISO)	91
15.5	Ratgeber, Positionspapiere, Statistiken etc.	92
15.6	Weitere ausgewählte Literatur (in der Leitlinie nicht zitiert)	93

Abkürzungsverzeichnis

AMR	Arbeitsmedizinische Regel
ArbMedVV	Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge
ArbSchG	Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz)
ArbStättV	Verordnung über Arbeitsstätten
ASR	Technische Regeln für Arbeitsstätten
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BET	Basis-Effektivtemperatur
C	Rate der konvektiven Wärmeabgabe/-aufnahme (Austausch mit umströmendem Medium)
CAV	Clothing Adjustment Value
CIVD	Cold-induced vasodilatation
clo	„clothing unit“: Thermische Isolation von Bekleidung 1 clo entspricht dem Wert $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
C_{res}	Rate der Wärmeabgabe durch Konvektion bei Atmung (Austausch)
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DLE	Duration Limited Exposure
E	Rate der Wärmeabgabe/-aufnahme durch Verdunstung/Kondensation auf der Haut
ECLS	ExtraCorporal Life Support (extrakorporale Erwärmung mit Life-Support Systemen)
E_{res}	Rate der Wärmeabgabe durch Verdunstung bei der Atmung (Verlust)
IREQ	Insulation REQuired (required clothing insulation)
K	Rate der konduktiven Wärmeabgabe/-aufnahme (Wärmeleitung)
K	Kelvin
LLPZ	Lower Limit of the Prescriptive Zone
M	körper eigener Energieumsatz (metabolische Wärmeproduktion)
NET	Normal-Effektivtemperatur
PHS	Predicted Heat Strain
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
R	Rate der Wärmeabgabe/-aufnahme durch Strahlung (Austausch)
S	Rate der Wärmespeicherung bzw. Wärmeabgabe im Körper
TRP	Transient Receptor Potential
TSH	Thyreoidea-stimulierendes Hormon
ULPZ	Upper Limit of the Prescriptive Zone
UTCI	Universal Thermal Climate Index
W	mechanische Nutzleistung
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature

1 Einleitung

1.1 Geltungsbereich und Zweck

1.1.1 Zielsetzung und Fragestellung

Das Ziel dieser Leitlinie ist die bessere Information von Arbeits-/Betriebsmediziner*innen und Fachkräften für Arbeitssicherheit über

- den Zusammenhang von Arbeitsbedingungen (Klima) und gesundheitlichen Wirkungen (Symptome/Erkrankungen),
- Modelle und Methoden zur Bewertung von Klimaeinwirkungen sowie
- Gestaltungsempfehlungen bei Arbeiten unter klimatischen Belastungen (Hitze, Kälte und Schutzkleidung) im Sinne von verhältnis- und verhaltenspräventiven Maßnahmen.

Darüber hinaus werden Empfehlungen für die Ausgestaltung der arbeitsmedizinischen Vorsorge bei arbeitsbedingter Hitze- oder Kältebelastung gegeben.

1.1.2 Versorgungsbereich

Der Versorgungsbereich ist die arbeits- und betriebsmedizinische Beratung und Vorsorge sowie die menschengerechte Arbeitsgestaltung zum Erhalt der Arbeitsfähigkeit.

1.1.3 Patient*innenzielgruppe

Gesunde Beschäftigte, deren Gesundheit gegen klimatische Einwirkungen geschützt werden soll (Primärprävention).

1.1.4 Adressat*innen

Die Leitlinie richtet sich an Betriebsärzt*innen, Arbeitsmediziner*innen, Ergonom*innen, Fachkräfte für Arbeitssicherheit, Arbeitgeber*innen sowie alle weiteren Akteur*innen des praktischen Arbeitsschutzes.

Adressat*innen, die nicht direkt an der Leitlinienerstellung beteiligt waren: Arbeitgeber*innen und Beschäftigte

1.1.5 Weitere Dokumente zu dieser Leitlinie

Der Leitlinienreport zu dieser Leitlinie ist unter folgender URL abrufbar:

<https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/002-045.html>

1.2 Vorbemerkungen

Arbeiten unter klimatischen Belastungen können eine ausgeglichene Wärmebilanz des menschlichen Körpers gefährden und damit zu gesundheitlichen Risiken führen. Kälte kann u.a. lokal begrenzte Erfrierungen oder eine pathologische Unterkühlung des Gesamtkörpers (Hypothermie) insbesondere bei Arbeiten unter extremer und/oder langandauernder Kälteeinwirkung hervorrufen.

Hitze kann zu Einschränkungen der körperlichen Leistungsfähigkeit und zu Hitzeerkrankungen bis hin zum lebensbedrohlichen anstrengungsbedingten Hitzschlag führen. Selbst bei gemäßigten Umgebungstemperaturen kann gefährlicher Hitzestress z. B. durch schwere Arbeit und/ oder durch die hohe Bekleidungsisolierung von Schutzkleidung entstehen.

Für derartige Arbeiten sind eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen und geeignete Schutzmaßnahmen abzuleiten. Werden bestimmte Kriterien erreicht oder überschritten, ist zusätzlich zu prüfen, ob für die betroffenen Beschäftigten eine arbeitsmedizinische Vorsorge nach ArbMedVV (2008) vorzusehen ist. Es existiert derzeit bereits eine arbeitsmedizinische Regel für die Belastungsart Hitzearbeit (AMR 13.1, 2020), in der die belastenden Tätigkeiten sowie die Anlässe für die arbeitsmedizinische Vorsorge näher beschrieben sind. Darüber hinaus existieren DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen. Relevant im Zusammenhang mit Arbeiten unter klimatischen Belastungen können hier die DGUV Empfehlungen Hitzearbeiten (DGUV, 2022a), Atemschutzgeräte (DGUV, 2022b) und Kältearbeiten (2022c) sein¹. Darüber hinaus existieren diverse Normen und Empfehlungen, zu denen auch die dieser Leitlinie vorausgegangenen AWMF S1-Leitlinien mit der AWMF-Register Nr.002-039 „Arbeit unter klimatischer Belastung: Hitze“ (Glitz et al., 2012a), 002-041 „Arbeit unter klimatischer Belastung: Kälte“ (Glitz et al., 2012b) und 002-040 „Arbeit unter klimatischer Belastung: Isolierende Schutzkleidung als Sonderfall einer Hitzebelastung“ (Glitz et al., 2013) gehören. Die vorliegende Leitlinie „Arbeiten unter klimatischen Belastungen“ ersetzt die o.g. Leitlinien. Die Inhalte wurden aktualisiert, gebündelt und die Leitlinie u.a. unter Einbindung weiterer Fachgesellschaften auf ein S2k-Niveau angehoben.

Der Fokus der vorliegenden Leitlinie liegt überwiegend auf den Belastungen des Organismus¹. Nicht, bzw. in nur begrenztem Umfang Gegenstand dieser Leitlinie sind Belastungen von Haut und Augen durch Wärmestrahlung. Hierzu wird auf die AWMF S2e-Leitlinie 002-010 „Arbeit unter Einwirkung von Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) - Gefährdungen und Schädigungen von Augen und Haut“ (Wild et al., 2019) verwiesen.

¹ Vormals DGUV Grundsatz G 30 Hitzearbeiten, DGUV Grundsatz G 26 Atemschutzgeräte und DGUV Grundsatz G 21 Kältearbeiten.

1.3 Bedeutung des Themas

Das Thema „Arbeiten unter klimatischen Belastungen“ ist in vielen Arbeitsbereichen von Relevanz, auch wenn sich die Schwerpunkte verändert haben. So nimmt die Anzahl der von „Hitzearbeit“ betroffenen Beschäftigten in „klassischen Hitzeberufen“ ab, wie zum Beispiel im Bergbau oder in der Eisen- und Stahlindustrie bei Arbeiten an Hochöfen oder in Gießereien. Andererseits gibt es eine Reihe weiterer Berufe, in denen Beschäftigte ebenfalls in wärmebelasteten Arbeitsbereichen tätig sind, beispielsweise bei Tätigkeiten, bei denen sie neben erhöhten Temperaturen auch einer hohen Luftfeuchtigkeit ausgesetzt sind, wie Arbeiten in Spülküchen oder Wäschereien. Auch das Arbeiten im Freien erfährt durch die Veränderungen des globalen Klimas eine zunehmende Bedeutung. Dies gilt insbesondere dort, wo auch hohe physische Belastungen existieren, beispielsweise im Straßenbau oder im Baugewerbe im Freien. Zugenommen haben auch die Beschäftigtenzahlen in Kältebereichen, z. B. in allen Bereichen gekühlter und tiefgekühlter Lebensmittel. Eine Übersicht wesentlicher Berufe und Tätigkeiten, in denen die Thematik „Arbeiten unter klimatischen Belastungen“ von Bedeutung sein kann, ist in Tab. 1-1 zusammengestellt.

Tab. 1-1: Darstellung wesentlicher Berufe und Tätigkeiten, in denen die Thematik „Arbeiten unter klimatischen Belastungen“ von Bedeutung sein kann (nicht abschließend). Legende: X sehr relevant; (X) kann in bestimmten Situationen relevant sein; – nicht ausgeschlossen aber eher selten

Berufe/Tätigkeiten	(erweiterter) Komfortbereich	Wärmebelastete Arbeitsbereiche	Kältebelastete Arbeitsbereiche	Isolierende Schutzbekleidung
öffentliche Verwaltung und Bürohäuser mit Zellen-, Gruppen- oder Großraumbüros	X	-	-	-
neue Formen der Arbeitswelt wie Co-Working, Open-Space, Desk Sharing	X	-	-	-
Handwerk und Gewerbe (z. B. Werkstätten)	X	X	X	X
Servicebereich (z. B. Geschäfte, Kaufhäuser)	X			
Industrie (z. B. Textilherstellung, Logistik und Handel (z. B. Lager, Logistik- und Verteilzentren)	X	X	X	(X)
Öffentliche Einrichtungen (z. B. Flughäfen, Bahnhöfe)	X	X	X	X
Hoch- und Tiefbau		X	X	
Land- und Forstwirtschaft		X	X	
Gartenbau		X	X	
Abfallwirtschaft		X	X	
Post-/Paketzustellung		X	X	
Tätigkeiten, die das Tragen ballistischer Schutzbekleidung erfordern (z. B. Polizei, Bundeswehr)		X	(X)	X
Tätigkeiten die das Tragen von Säureschutzanzügen erfordern (z. B. Chemische Industrie)				X
Tätigkeiten, die das Tragen von Einweganzügen erfordern (z. B. Lackierereien)				X
Gesundheitswesen	X			(X)*
Feuerwehr	X	X	X	X

*z. B. Tragen von Einwegschutzanzügen

1.4 Begrifflichkeiten

In diesem Abschnitt werden spezielle Begriffe erläutert, die die Arbeit unter klimatischer Belastung betreffen. Dazu gehören

- Abschnitt 1.4.1 zur Einteilung in Klimabereiche,
- Abschnitt 1.4.2, in dem die Bewertung von klimatischen Beanspruchungen („prescriptive zone“, Erträglichkeit, Ausführbarkeit) erläutert wird,
- Abschnitt 1.4.3 zur Veränderung der Anpassung über längere Zeiträume (Akklimation) sowie
- Abschnitt 1.4.4 zur Übersicht über Klimasummenmaße (Klima-Indizes).

1	Kernaussage
	<p>Klima kann allgemein in die drei Bereiche „Behaglichkeitsbereich“, „wärmebelasteter Arbeitsbereich“ und „kältebelasteter Arbeitsbereich“ eingeteilt werden. Klimabedingte gesundheitliche Gefährdungen können insbesondere in wärme- und kältebelasteten Arbeitsbereichen auftreten, wenn</p> <ul style="list-style-type: none">a) ein thermoregulatorischer Gleichgewichtszustand nicht mehr möglich ist, der Körper also sich zu stark erwärmt oder auskühlt oderb) es zu lokaler Erwärmung oder Auskühlung kommt, so dass Verbrennungen oder Erfrierungen insbesondere der Extremitäten (Finger, Zehen, Ohren ...) auftreten, auch wenn die Körperkerntemperatur konstant bleibt.
	Konsensstärke: starker Konsens

1.4.1 Einteilung in Klimabereiche

1.4.1.1 Behaglichkeitsbereich / Komfortbereich

Der Behaglichkeitsbereich wird als thermisch neutraler Bereich betrachtet; es herrscht ein thermoregulatorisches Gleichgewicht: Die Wärmeproduktion im Körper und die Wärmezufuhr von außen in den Körper sowie die Wärmeabgabe des Körpers entsprechen sich.

Nach DIN EN ISO 7730 (2006) ist thermische Behaglichkeit (Komfort) definiert als ein Gefühl, das Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima ausdrückt. Thermischer Komfort kann allgemein (für den gesamten Körper) oder auch nur lokal (für einzelne Körperteile) bestehen. Ursachen für lokale Unbehaglichkeit können beispielsweise Zugluft, vertikale Temperaturunterschiede in Räumen sowie auch asymmetrische oder inhomogene Wärmestrahlung sein.

Da sich physiologische Messgrößen im Komfortbereich kaum verändern, werden zur Bewertung des Komforts Likert-Skalen (nach Likert, 1932) verwendet, die die persönliche Empfindung einer exponierten Person wiedergeben. Eine siebenstufige Likert-Skala (siehe z. B. DIN EN ISO 7730, 2006) wäre:

kalt – kühl – etwas kühl – neutral – etwas warm – warm – heiß

Solche Skalen können – außerhalb des Komfort-Bereichs – bei Bedarf auch erweitert werden.

1.4.1.2 Wärmebelastete Arbeitsbereiche

Unter Wärmebelastung versucht der Körper, die im Körper erzeugte Stoffwechselwärme an die Umgebung abzugeben; das führt zu einer erhöhten physiologischen Beanspruchung:

- Zunächst wird die Durchblutung der Peripherie durch Vasodilatation gesteigert, was die Wärmeabgabe bei erhöhten Umgebungstemperaturen erleichtert. Dies führt zu einer erhöhten Herzschlagfrequenz.
- Bei erhöhten Haut- und Körperkerntemperaturen setzt Schweißbildung ein, die evaporative Wärmeabgabe bewirken kann.
- Wenn beide Mechanismen nicht ausreichen, die im Körper entstehende Wärme an die Umgebung abzugeben, steigt die Körpertemperatur an: Es stellt sich dann kein Gleichgewichtszustand („steady-state“) mehr ein.

1.4.1.3 Kältebelastete Arbeitsbereiche

Unter Kältebelastung ...

- wird die Durchblutung der Peripherie verringert: Es wird die Wärmeabgabe an die Umgebung geringer, als sie bei gleichbleibender Durchblutung bei tieferer Umgebungstemperatur wäre.
- setzt bei noch größerer Abkühlung des Körpers ein Muskelzittern ein, wodurch eine erhebliche Wärmeerzeugung stattfinden kann.
- können bei großer lokaler Abkühlung der Extremitäten kälteinduzierte Vasodilatationen beobachtet werden („cold induced vasodilatation“ – CIVD), bei denen hohe Wärmeleistungen z. B. an einzelne Finger verbracht werden (z. B. Daanen, 2003).
- kann braunes Fettgewebe aktiv zur Wärmebildung beitragen („nonshivering thermogenesis“), z. B. Nedergaard et al. (2007).

Wenn insgesamt mehr Wärme abgegeben wird, als im Körper erzeugt wird, ist kein thermoregulatorischer Gleichgewichtszustand mehr möglich und der Körper kühlt aus. Unter Kältebelastung ist zu beachten, dass auch lokale Auskühlung der Extremitäten (Finger, Zehen, Ohren...) zu Beeinträchtigungen oder Gesundheitsschäden führen können, auch wenn die Körperkerntemperatur bei milder Kältebelastung annähernd konstant bleiben sollte.

1.4.2 Bewertung von klimatischen Beanspruchungen

1.4.2.1 Zumutbarer Bereich (prescriptive zone)

Unter Wärmebelastung zeigt sich eine Beanspruchungsreaktion des Körpers zunächst in einem Anstieg von Herzschlagfrequenz und Schweißrate; die Körperkerntemperatur bleibt bei zunehmender Wärmebelastung zunächst noch unverändert. Diesen Bereich der Beanspruchung nennt Lind (1963) „prescriptive zone“ (zumutbarer Bereich). Da die Körpertemperatur nicht vom Umgebungsklima beeinflusst ist, verhält sich der Organismus noch „homiotherm“. Eine entsprechende Klimabedingung kann bei entsprechender Flüssigkeitszufuhr „unbegrenzt“ lange ausgehalten werden. Die Grenze dieses Bereichs nennt Lind „upper limit of the prescriptive zone“ (ULPZ). Jenseits die-

ser Grenze steigt die Körperkerntemperatur an. Hier beginnt der „poikilotherme Bereich“ in dem die Wärmebelastung zu einer Erhöhung der Körpertemperatur führt. Auch in diesem Bereich ist noch ein thermoregulatorisches Gleichgewicht möglich.

Entsprechend gibt es auch bei zu kühlen Klimabedingungen einen Bereich, in dem sich die Körperkerntemperatur noch nicht verändert (analog bezeichnet als „lower limit of the prescriptive zone“ = LLPZ). Jenseits der LLPZ fällt die Körperkerntemperatur ab. Es beginnt der poikilotherme Bereich, in dem zunächst noch ein thermoregulatorischer Gleichgewichtszustand möglich ist.

1.4.2.2 Erträglichkeit und Ausführbarkeit

Der Erträglichkeitsbereich klimatischer Belastungen beschreibt denjenigen Bereich, in dem Belastungen über eine Arbeitsschicht ertragen werden können. Dies umfasst den Bereich des thermoregulatorischen Gleichgewichts und ebenso den Bereich, in dem sich die Körpertemperatur nur bis zu einem vorgegebenen (erträglichen) Wert verändert. Die Grenzbelastungen für solche Veränderungen können durch sogenannte Klimasummenmaße (vgl. Abschnitt 4.1), z. B. mit WBGT und PHS unter Wärmebelastung und z. B. Wind-Chill-Index unter Kältebelastung abgeschätzt werden.

Wenn die Grenzwerte der Beanspruchung durch Klimabelastung innerhalb einer Arbeitsschicht überschritten werden, muss die Klimaexposition zeitlich begrenzt werden (Duration Limited Exposure – DLE) und es müssen vor einer erneuten Klimaexposition ausreichende Entwärmungs- (in der Hitze) bzw. Aufwärmzeiten (in der Kälte) vorgesehen werden. Bei Kältebelastung ist auch die Betrachtung lokaler Abkühlung (Finger, Zehen, Gesicht inkl. Ohren) von Bedeutung.

1.4.3 Veränderung der Anpassung über längere Zeiträume

Im Folgenden werden die Begriffe Akklimatisation und Thermoregulation kurz beschrieben. Eine weiterführende Beschreibung in Bezug auf Kälte findet sich in Abschnitt 3.2.2 bzw. in Bezug auf Hitze in Abschnitt 3.3.2.

1.4.3.1 Akklimatisation

Der Körper kann sich langfristig auf klimatische Belastungen einstellen:

- In der Hitze erhöht sich die Schweißrate und der Salzgehalt im Schweiß verringert sich. Eine initiale Akklimatisationsphase ist nach einer Woche i.d.R. weitgehend abgeschlossen (siehe hierzu Abschnitt 3.3.2).
- In der Kälte gibt es sowohl eine Eingewöhnung (Habituation) als auch Akklimatisation (siehe hierzu Abschnitt 3.2.2)

Im angelsächsischen Sprachbereich wird teilweise zwischen „acclimation“ und „acclimatization“ unterschieden (nicht immer einheitlich), wobei „acclimation“ die Einstellung eines Organismus auf experimentell erzeugte Veränderungen von Klimafaktoren beschreibt, während „acclimatization“ dann Anpassungsvorgänge in Bezug auf das natürlich vorhandene Klima (Jahreszeiten, Einstellung auf geographische Veränderungen) bezeichnet (IUPS Thermal Commission, 2003).

1.4.3.2 Thermoregulation – Verhaltensregulation

Neben der autonomen Thermoregulation kann der Mensch seine Klimabelastung auch willkürlich steuern, etwa durch An- oder Ablegen von Bekleidung oder durch Anpassung der Arbeitsschwere (self-pacing). Die Bekleidungsisolations und die metabolische Wärmeproduktion beeinflussen die Lage der oben angesprochenen unterschiedlichen Bereiche (Abb. 1-1).

1.4.4 Bewertung von klimatischen Belastungen durch Klimasummenmaße (Klima-Indizes)

Die einzelnen Klimaparameter und die personenbezogenen Größen (siehe Kapitel 3) wirken auf den Menschen ein. So entsteht eine große Vielfalt von möglichen Kombinationen der Belastungsgrößen, die zu unterschiedlichen Beanspruchungsreaktionen des Menschen führen können. Daher wurden Wege gesucht, mehrere Größen zu Kennwerten zusammenzufassen, sogenannten Klimasummenmaßen. Ein Klimasummenmaß ist eine Zusammenfassung von mehreren Klimaparametern und gegebenenfalls weiteren Größen wie Arbeitsschwere und Bekleidungsisolations oder auch des Akklimatisationsgrades der Person in einen Wert. Der gleiche Wert eines Klimasummenmaßes soll dabei eine gleiche Beanspruchungsreaktion des Menschen widerspiegeln.

1.4.5 Übersicht über die Klimabereiche

In der folgenden Abbildung (Abb. 1-1) werden die oben beschriebenen Klimabereiche dargestellt.

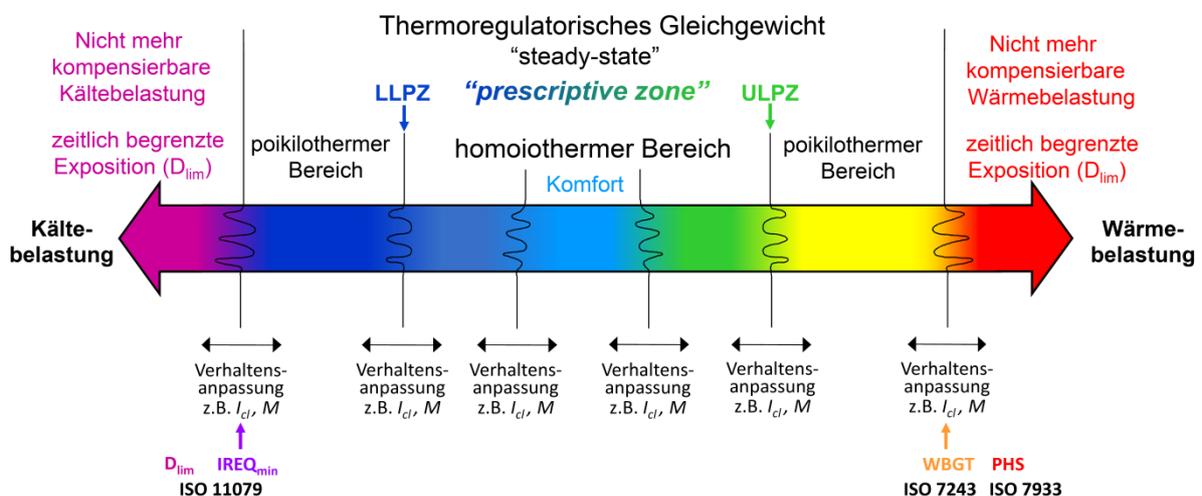


Abb. 1-1: Übersicht über die Klimabereiche (in Anlehnung an Bux & Kampmann, 2014). Zu den Klimasummenmaßen in der unteren Zeile vgl. Abschnitt 6.1.

2	Kernaussage
	Die alleinige Betrachtung der Temperatur ist für die Bewertung der klimatischen Belastung in der Regel nicht ausreichend. Einzelne Klimaparameter und personenbezogene Größen wirken auf den Menschen ein. Diese werden in sogenannten Klimasummenmaßen zusammengefasst. Hierin werden i.d.R. mehrere Klimaparameter und gegebenenfalls weitere Größen wie Arbeitsschwere, Bekleidungsisolations und Akklimatisationsgrade von Personen zu einem Wert zusammengefasst. Dieses ist bei der Beurteilung der Arbeitsbedingung zu beachten.
	Konsensstärke: starker Konsens

2 Rechtliche Grundlagen und Bezüge

Hinweis: Die in diesem Kapitel beschriebenen rechtlichen Grundlagen und Bezüge geben den Stand zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Leitlinie wieder. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und können sich zwischenzeitlich geändert haben. Dies betrifft insbesondere die Verweise auf die arbeitsmedizinischen Regeln und die DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen sowie zugehörige Informationsschriften, die sich parallel zur Entwicklung dieser Leitlinie in Überarbeitung befanden. Dieses Kapitel ist strukturiert in die Bereiche „staatliches Regelwerk“, „Regelwerk der Unfallversicherungsträger“, „Normen“ und „weitere Literatur“. Im Literaturverzeichnis wird die Literatur zur besseren Auffindbarkeit in einer vergleichbaren Strukturierung angezeigt.

2.1 Staatliches Regelwerk

Anforderungen an das Klima bzgl. Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten erwachsen in Umsetzung der EU-Richtlinien über Mindestvorschriften für Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten aus dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG, 1996); nach § 5 Abs. 3 können sich Gefährdungen aus der Gestaltung der Arbeitsstätte und durch physikalische Einwirkungen ergeben. Konkretisiert wird dies über die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, 2004). Im Anhang 3.5 Abs.1 wird eine „gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur“ gefordert. „Einem störenden Luftzug“ (Zugluft) dürfen Beschäftigte nach Anhang 3.6 Abs. 3 durch raumluftechnische Anlagen nicht ausgesetzt sein. Beschäftigte müssen bei im Freien liegenden Arbeitsplätzen und auf Baustellen nach Anhang 5 vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Die Arbeitsstättenverordnung enthält keine Detailforderungen und Maßzahlen, ausschlaggebend ist deswegen eine Gefährdungsbeurteilung nach § 3 ArbStättV durch den Arbeitgeber, in deren Ergebnis entsprechende Schutzmaßnahmen festzulegen sind, d. h. auch die klimatischen Bedingungen.

Die allgemeinen Anforderungen aus der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, 2004) werden im untergesetzlichen Regelwerk mit Technischen Regeln für Arbeitsstätten (Arbeitsstättenregeln – ASR) konkretisiert, die vom Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) erstellt werden. In der ASR A3.5 „Raumtemperatur“ (2010) finden sich Angaben zu Mindest- und Maximalwerten der Lufttemperatur sowie Maßnahmen bei Unter- bzw. Überschreitung dieser Werte. Die Mindestwerte sind dabei in Abhängigkeit der Arbeitsschwere und der Körperhaltung gestaffelt. Punkt 4.4 enthält ein Stufenmodell für den "Sommerfall", das zeigt, wie Beschäftigte bei Lufttemperaturen in Arbeitsräumen bis +30 °C, bis +35 °C und über +35 °C weiter tätig sein können. Hitze-/Kältearbeitsplätze und Arbeitsräume, an die aus betriebstechnischen Gründen besondere Anforderungen gestellt werden (z. B. Kühlhaus, Sauna), sind hier nicht geregelt. Die ASR A3.6 „Lüftung“ (2012) enthält Werte für maximale relative Luftfeuchten, ein Mindestwert wird nicht genannt. In den ASR wird nur das Klima im erweiterten Komfortbereich geregelt. Arbeitsplätze mit Belastung durch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeiten oder Wärmestrahlung sowie in Kombination mit erhöhter Arbeitsschwere und Bekleidungsisolierung müssen gesondert im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung über Klimasummenmaße beurteilt werden.

Die Arbeitsmedizinische Vorsorgeverordnung (ArbMedVV, 2008) hat das Ziel, arbeitsbedingte Erkrankungen einschließlich Berufskrankheiten durch Gefährdungen am Arbeitsplatz frühzeitig zu erkennen und zu verhüten. Arbeitsmedizinische Vorsorge ist eine individuelle Arbeitsschutzmaßnahme, die technische und organisatorische Maßnahmen zum Gesundheitsschutz der Beschäftigten im Bedarfsfall ergänzt.

In den allgemeinen Pflichten nach §3 ArbMedVV wird der Arbeitgeber verpflichtet, auf der Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung (die unter Beteiligung der Betriebsärztin / des Betriebsarztes erstellt werden soll), eine angemessene arbeitsmedizinische Vorsorge, unterschieden nach Pflicht-, Angebots- und Wunschvorsorge durch qualifizierte Betriebsärzte sicher zu stellen. Im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge gehört zu den Pflichten der Ärzte nach §6 (4), bei Hinweisen auf unzureichende Arbeitsschutzbedingungen, dies dem Arbeitgeber umgehend mitzuteilen, damit nötige Schutzmaßnahmen ergänzt bzw. getroffen werden können.

Im Anhang Teil 3 (1) ArbMedVV „Tätigkeiten mit physikalischen Einwirkungen“ wird Pflichtvorsorge vorgesehen für „1. Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können“, wobei konkrete Temperaturen nicht angegeben werden; „2. Tätigkeiten mit extremer Kältebelastung ab Temperaturen von – 25° Celsius und kälter“. Eine Angebotsvorsorge ist nicht vorgesehen.

Die vom Ausschuss für Arbeitsmedizin (AfaMed) erstellten Arbeitsmedizinischen Regeln (AMR) konkretisieren die ArbMedVV, indem sie den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse in der Arbeitsmedizin wiedergeben und aufgrund dieser Erkenntnisse den Anlass, Inhalt und Umfang der konkreten arbeitsmedizinischen Vorsorge vorgeben. Bei Einhaltung der Vorgaben in den AMR kann der Arbeitgeber davon ausgehen, dass er die Anforderungen der ArbMedVV erfüllt (sog. Vermutungswirkung). Die AMR 13.1 (2020) „Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können“ gibt als Auslösekriterium für Pflichtvorsorge neben Aufzählung und Darstellung kritischer Hitze Arbeitsplätze auch konkrete Temperaturbereiche hinsichtlich Lufttemperatur, Wärmestrahlungsbereiche und dazugehörige Expositionszeiten an. Hiermit wird dem Arbeitgeber eine Handlungshilfe zur Einschätzung von Arbeitsplätzen mit extremer Hitzebelastung an die Hand gegeben. Eine entsprechende AMR für Kälte Arbeitsplätze ist derzeit² noch nicht geplant.

² Stand Februar 2022

2.2 Regelungen der Unfallversicherungsträger

Auch das Regelwerk der Unfallversicherungsträger, insbesondere aus der Reihe von DGUV-Informationen (ehemals BGI, GUV-I), gibt Hilfestellung zur Beurteilung von klimatischen Verhältnissen an Arbeitsplätzen unterschiedlicher Prägung sowie zu den jeweils zutreffenden branchenspezifischen Maßnahmen und zur Durchführung von arbeitsmedizinischer Vorsorge.

Die DGUV- Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen „Hitzearbeiten“ (DGUV, 2022a) und „Kältearbeiten“ (DGUV, 2022c) (ehemals Grundsätze) geben konkrete Anleitungen zu Umfang und Durchführung (möglicher Inhalt, Umfang und Ablauf) einer arbeitsmedizinischen Untersuchung. Diese DGUV-Empfehlungen sind nicht rechtsverbindlich. Auswahlkriterien zur Durchführung der arbeitsmedizinischen Untersuchung bei Hitzearbeit gibt die DGUV-Information 240-300 (2010). Hinweise zur Verwendung von Klimasummenmaßen wie der NET sowie der Einfluss von Wärmestrahlung werden z. B. in der DGUV Information 213-002 (2013) gegeben. Insgesamt gibt es seitens der Unfallversicherungen wesentlich mehr Informationen zu Hitzearbeit als zur Arbeit in Kälte.

2.3 DIN, DIN EN, DIN ISO und DIN EN ISO-Normen

DIN, DIN EN, DIN ISO und DIN EN ISO Normen werden als anerkannte Regeln der Technik von sachverständigen Experten erstellt und legen Anforderungen an Produkte oder Verfahren fest. Sie haben primär keine Rechtsverbindlichkeit, es sei denn auf sie wird durch Rechtsvorschriften (z. B. EU-Richtlinien) verwiesen oder sie werden vertraglich als bindend festgesetzt (beispielsweise privatrechtliche Verträge zwischen Bauträger und Auftraggeber). Es gibt eine Reihe von DIN-Normen, die technische und physikalische Grundlagen für die Messung von Klimaparametern festlegen und für die Bewertung von klimatischen Belastungen durch Hitze oder Kälte herangezogen werden, auf die sich ASR, AMR und DGUV-Informationen beziehen.

2.4 Weitere Literatur

Neben der o.g. Literatur gibt es zudem u.a. einen Ratgeber zum Thema „Sommerhitze im Büro - Tipps für Arbeit und Wohlbefinden“ (BAuA, 2019), ein Positionspapier zum Thema „Trockene Luft“ (FBVW-501, 2020), eine „LASI Schrift“ zu „Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter“ (LASI, 2011) sowie die praxisorientierten Informationsschriften der DGUV wie „Beurteilung des Raumklimas - Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen“ (DGUV Information 215-510, 2016) und „Klima im Büro - Antworten auf die häufigsten Fragen“ (DGUV Information 215-520, 2016). Praktische Hinweise für Beurteilungsmaßstäbe und geeignete Schutzmaßnahmen sind im Handbuch Gefährdungsbeurteilung der BAuA zu finden (Kittlmann et al., 2021).

3 Physiologische Grundlagen

3.1 Allgemeines

Eine ausgeglichene Wärmebilanz des menschlichen Körpers setzt voraus, dass sich die Wärmeproduktion und die Wärmeaufnahme zusammen im Gleichgewicht mit der Wärmeabgabe befinden. In Anlehnung an Burton (1934) und DIN EN ISO 11079 (2008) werden die im Folgenden dargestellte Formel angewendet:

Allgemeine Wärmebilanzgleichung: $M - W = E_{\text{res}} + C_{\text{res}} + E + K + R + C + S$

hierbei sind:

- M körpereigener Energieumsatz
- W mechanische Nutzleistung
- E_{res} Rate der Wärmeabgabe durch Verdunstung bei der Atmung (Verlust)
- C_{res} Rate der Wärmeabgabe durch Konvektion bei der Atmung (Austausch)
- E Rate von Wärmeabgabe / -aufnahme durch Verdunstung / Kondensation auf der Haut (Verlust)
- K Rate der konduktive Wärmeabgabe / -aufnahme (Wärmeleitung)
- R Rate der Wärmeabgabe / -aufnahme durch Strahlung (Austausch)
- C Rate der konvektiven Wärmeabgabe / -aufnahme (Austausch mit umströmendem Medium)
- S Rate der Wärmespeicherung bzw. Wärmeabgabe im Körper

(alle Parameter in Watt)

Ein positiver Wert von S führt zur Erhöhung der gespeicherten Wärme, ein negativer zum Abfall der gespeicherten Wärme. Da Menschen homoiotherme Lebewesen (Warmblüter) sind, setzen bei positiver oder negativer Wärmebilanz Mechanismen ein, die zum Ziel haben, die gespeicherte Wärme konstant zu halten.

Die thermische Neutral- oder Indifferenztemperatur ist jener Bereich der Umgebungstemperatur, in der wir uns wohl fühlen. Sie liegt in Luft bei etwa 26 °C, im Wasser hingegen bei 35 °C (Castellani and Young, 2016). Dies liegt an der 25-fach höheren Wärmeleitfähigkeit von Wasser gegenüber Luft. Die Indifferenztemperatur in Luft kann erheblich abweichen, wenn Wärme durch Strahlung aufgenommen oder abgegeben wird. Dies spielt insbesondere dann eine Rolle, wenn der strahlende oder bestrahlte Körper stark von der Hauttemperatur abweicht (Sonne bei Tag, unbedeckter Himmel bei Nacht). Dies gilt ebenfalls bei erhöhter Wärmeproduktion durch Körperarbeit.

Im Bereich zwischen etwa 21 °C und 30 °C Umgebungstemperatur können wir unsere gespeicherte Körperwärme allein durch Änderung der akralen Hautdurchblutung (Hauttemperatur der Extremitäten) konstant halten. Dieser Bereich wird oft als thermische Neutralzone bezeichnet (Aschoff et al., 1971). In diesem Bereich sind der Energieumsatz und somit die metabolische Wärmeproduktion am niedrigsten. Jenseits dieses Bereichs steigt der Energieumsatz und somit die Wärmeproduktion an. Während dies beim Kältezittern erwünscht und sinnvoll ist, ist der erhöhte Energieumsatz beim Schwitzen störend und vermindert die Effizienz der evaporativen Wärmeabgabe.

Der zentrale Regler für die Einstellung der Körpertemperatur liegt im Hypothalamus. Dieser erhält sensorische Informationen über Thermosensoren (freie Nervenendigungen), die sowohl im Körperkern, als auch in der Körperschale liegen. Wärmerezeptoren liegen sowohl im Inneren (z. B. vorderer Hypothalamus, Rückenmark, Bauchhöhle) als auch in der Haut. Kälterezeptoren befinden sich hauptsächlich in der Haut, wobei deren Dichte jene der Wärmerezeptoren 3 – 10-mal übersteigt. Die Dichte der Kälterezeptoren ist überdies stark variabel, mit höchster Dichte ($>13/\text{cm}^2$) im Hals- und Rückenbereich, und niedrigster ($0-3/\text{cm}^2$) in den peripheren Extremitäten. Der Hypothalamus integriert all diese Signale zu einem „Ist-Wert“. Weicht dieser vom „Soll-Wert“ (z. B. bei Fieber nach oben verstellt) ab, werden vegetative, neuroendokrine und somatomotorische Antworten eingeleitet.

Molekular werden sowohl Wärme als auch Kälte durch thermosensitive Ionenkanäle in diesen Rezeptoren wahrgenommen, wobei hier nicht-selektive Kationenkanäle vom Typ des transienten Rezeptorpotentials (TRP) eine entscheidende Rolle zu spielen scheinen. Als der bedeutendste TRP Kanal für die Kältewahrnehmung wird TRPM8 angesehen, dessen chemischer Agonist Menthol ist. Bedeutende TRP Kanäle für Wärme sind vom TRPV Typ, wobei TRPV1 auch durch Capsaicin und Säure aktiviert wird (Burtscher et al., 2018; Castellani & Young, 2016).

3.2 Physiologie bei Kälte

3.2.1 Kälteantworten

Vasokonstriktion der Haut, des subkutanen Fettgewebes und der angrenzenden Muskeln ist die erste Antwort auf eine Abkühlung und beginnt bereits bei Hauttemperaturen $< 35\text{ °C}$. Diese Antwort ist zum Teil lokal begrenzt, zum Teil jedoch systemisch (Reflex-Vasokonstriktion). Demnach kühlen auch Finger bei einer Kälteexposition des Gesichtes ab. In den Akren kann diese kälteinduzierte Vasokonstriktion durch periodische kälteinduzierte Vasodilatation unterbrochen werden.

Eine zweite akute Kälteantwort ist Muskelzittern, das bereits unmittelbar nach starker Hautabkühlung eintreten kann und durch Absinken der Kerntemperatur noch viel stärker (> 3 -mal so stark wie durch Hautabkühlung) aktiviert wird. Muskelzittern erreicht bei $34 - 35\text{ °C}$ Kerntemperatur sein Maximum und verschwindet wieder bei ca. 31 °C . Muskelzittern erzeugt zwar typischerweise eine Leistung von $200 - 250\text{ Watt}$ (evtl. auch noch viel mehr), seine thermogenetische Effizienz ist allerdings durch starke Wärmeverluste (Muskeln liegen weitgehend in kernfernen Regionen) gering (ca. 11%).

Die zitterfreie Wärmebildung ist die dritte und verzögert auftretende Form der Kälteantwort. Da sie stark Spezies-abhängig ist, war sie am Menschen lange Zeit sehr umstritten. Inzwischen wurde durch Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und Computer Tomographie (CT) zusammen mit dem Tracer ^{18}F -Fluorodeoxyglukose nachgewiesen, dass nicht nur Säuglinge, sondern auch erwachsene Menschen die Fähigkeit zur zitterfreien Wärmebildung durch das sogenannte „braune Fettgewebe“ haben, welches sich vor allem im Halsbereich, supraklavikulärem Gewebe sowie paraspinal in Brust- und Bauchregionen befindet (Saito et al., 2009). Es konnte gezeigt werden, dass dieses braune Fettgewebe durch Kälteexposition von nur 2 Stunden signifikant aktiviert wird (Cypess et al., 2012). Längerfristig spielen Schilddrüsenhormone für die zitterfreie Wärmebildung eine bedeutende Rolle (Bianco & McAninch, 2013).

Dabei führt Kälteexposition einerseits zu einer vermehrten Freisetzung von Thyreoidea-stimulierendem Hormon (TSH) aus dem Hypophysenvorderlappen. Andererseits enthält braunes Fettgewebe nicht nur zahlreiche Rezeptoren für Schilddrüsenhormone, es exprimiert auch im Überfluss das Enzym Typ II Deiodinase, welches das weniger aktive Schilddrüsenhormon T₄ in aktives T₃ umwandelt. Dieses Enzym wird durch Katecholamine (β -Rezeptoren) aktiviert. Auf diese Weise führt Kälteexposition über Sympathikusaktivierung zu einer raschen und selektiven Aktivierung von braunem Fettgewebe durch lokale T₃ Produktion. T₃ aktiviert das Entkoppler-Protein-1 (Ucp-1) und somit zitterfreie Wärmebildung.

Dennoch ist die Relevanz des braunen Fettgewebes für die Verhinderung der Abkühlung und die Unterdrückung des Muskelzitterns nach akuter Kälteexposition bei kälteakklimatisierten Personen noch nicht endgültig geklärt (siehe nächste Abschnitte) (Castellani & Young, 2016).

3.2.2 Anpassungen bei langanhaltender Kälteexposition

3.2.2.1 Habituation (Gewöhnung)

Diese Form der Anpassung tritt wahrscheinlich vor allem dann auf, wenn kurzzeitige, wiederholte Kälteexpositionen nicht zu einem signifikanten Absinken der Kerntemperatur führen, bzw. wenn die Kälteexposition nur lokal begrenzt ist (Beispiel: Schlachthaus-Arbeiter oder Fischfiletierer, die mit kaltem Material hantieren). Dabei tritt bei Kälteexposition eine geringere Vasokonstriktion auf, die Akren bleiben längere Zeit wärmer und das Muskelzittern ist geringer ausgeprägt.

3.2.2.2 Metabolische Akklimation

Dazu gehören Anpassungen der Wärmeproduktion durch Muskelzittern und zitterfreie Wärmebildung. Einige Studien zeigen auf, dass längerfristige Kälteexposition, die den ganzen Körper betrifft bzw. zu Änderungen der Kerntemperatur führen kann, sowohl zu verstärktem Zittern, als auch zu einer verstärkten zitterfreien Wärmebildung als akute Kälteantwort führt. Die Ergebnisse dieser Studien lassen aber keine klare Aussage darüber zu, wie sehr die zitterfreie Wärmebildung imstande ist, Zittern zu verhindern oder zumindest abzuschwächen. Ihr Anteil an dem gesamten Energieumsatz ist sehr gering.

3.2.2.3 Isolierende Akklimation

Dabei wird durch verstärkte Vasokonstriktion vermehrt Wärme konserviert, d.h. der Organismus reduziert durch Drosselung der Haut- und Akrendurchblutung die Wärmeabgabe nach Kälteexposition stärker als vor der Akklimation. Diese Form der Akklimation wurde erstmals bei australischen Aborigines gemessen, die fast unbekleidet bei 5 °C Außentemperatur schlafen, und bei denen es in der Nacht auch zum Abfall der Kerntemperatur kam, die stärker ausgeprägt war als bei der nicht akklimatisierten Kontrollgruppe (Hammel et al., 1959) (Hypothermie). Es wird angenommen, dass im Gegensatz zur Habituation die isolierende Akklimation dann auftritt, wenn repetitive Kälteexpositionen lange genug andauern, um zum Abfall der Kerntemperatur zu führen.

3.2.3 Systemische Gefahren der Kälteexposition

Akute Kälteexposition führt zu erhöhter Aktivität des Sympathikus und somit erhöht sich das Risiko kardialer Ereignisse (Rhythmusstörungen, Angina Pectoris, etc.) (Cordioli et al., 2000). Kälteakklimatisation reduziert diese Antwort des Sympathikus auf akute Kälteexposition und könnte daher protektiv wirken (Mäkinen et al., 2008).

Im Gegensatz dazu ist akute Kälteexposition v.a. mit Wasser im sensorischen Innervationsbereich des N. facialis (Gesicht) Teil des sog. „Tauchreflexes“. Dabei kann es zur Aktivierung des Parasympathikus (N. vagus) und somit zu Bradykardie kommen, die mit vermehrtem Auftreten ektooper Schläge (Extrasystolie) oder auch AV-Block assoziiert ist (Wierzba et al., 2011).

Als homoiothermes (gleichwarmes) Lebewesen ist der Mensch stets bestrebt, unabhängig von der Umgebungstemperatur eine nahezu konstante Körperkerntemperatur herzustellen. Voraussetzung hierfür ist allerdings ein Gleichgewicht von Wärmebildung und Wärmeabgabe, was durch komplexe thermoregulatorische Mechanismen sichergestellt wird. Ist der Mensch nicht in der Lage ein ausgeglichenes Wärmeniveau zu erhalten, kann ein Absinken der Körperkerntemperatur unter 37 °C bereits zu Kältestress und unter 35 °C zu einer gesundheitsgefährdenden Hypothermie (Unterkühlung) führen (vgl. Brandström, 1996). Als Folge immer wiederkehrender Kälteexpositionen können nach Mercer (2003) und Hassi et al. (2005) Gesundheits- und Leistungsbeeinträchtigungen auftreten. Bereits leichte Abweichungen vom thermischen Behaglichkeitsbereich können nach Palinkas (2001) und Oksa (1998) eine Minderung der mentalen und physischen Leistungsfähigkeit zur Folge haben. Des Weiteren kann die Gesundheit des Arbeitnehmers kurz- und langfristig durch eine dauerhaft kalte Arbeitsumgebung negativ beeinflusst werden. Hierzu gehören vor allem chronischen Beschwerden wie etwa kardiovaskuläre Erkrankungen, Atemwegserkrankungen, muskuläre Beschwerden, periphere Durchblutungsstörungen und Hauterkrankungen (vgl. Hassi et al., 2005; Mäkinen, 2007; Oksa et al., 2002; Sormunen et al., 2006). Detaillierte Symptome in Folge einer Abkühlung des gesamten Körpers können Tab. 3-1 entnommen werden.

Tab. 3-1: Symptome in Folge einer Unterkühlung (Hypothermie) des menschlichen Körpers (aus Glitz et al. 2012b, übersetzt nach NATO, 2010)

Betroffene Systeme	Symptome
Neurologisches System	Vermindertes Bewusstseinsniveau Ataxie Verringertes Schmerzempfinden Amnesie Initiale Hyperreflexie Anästhesie Hyporeflexie
Kardiovaskuläres System	Tachykardie Dysrhythmie Verminderte Herztöne Jugularvenöse Distension Hypotonie
Respiratorisches System	Tachypnoe Adventive Geräusche Bronchorrhagie Zunehmende Hypoventilation Apnoe
Gastrointestinales System	Ileus Constipation Unterleibsdistension Magendilatation
Urogenitalsystem	Anurie Polyurie
Psychiatrische Zeichen	Beeinträchtigtetes Urteilsvermögen Stimmungswandel Geänderter mentaler Status Paradoxes Ablegen der Kleidung Neurosen Psychosen
Muskuloskeletales System	Gesteigerter Muskeltonus Zittern Rigidität Kompartmentsyndrom
Dermatologische Bedingungen	Erythem Blässe Zyanose Frostbeule Sclerema Kälteurtikaria Nekrose Ödem
Kopf, Auge, Ohr, Nase und Kehle	Verminderter Lidschlussreflex Warme, rötliche Haut Gesichtsödem Rhinorrhoe

3.2.4 Erkrankungen durch Kälteexposition und Sofortmaßnahmen

3.2.4.1 Lokale Auswirkungen

Man unterscheidet lokale Schäden/ Erfrierungen durch Kälteeinwirkung, die Akren, Ohren und Nase betreffen und systemische Auswirkungen, die mit Unterkühlung/ Hypothermie des gesamten Körpers mit Absinken der Körperkerntemperatur einhergehen (siehe folgender Abschnitt).

Im Bereich der lokalen Auswirkungen werden Erfrierungen in vier Schweregrade eingeteilt je nach der Tiefe des Gewebeschadens, der erst bei Wiedererwärmung im tatsächlichen Ausmaß zu Tage tritt. Initial ist Erfrierung durch Gefühllosigkeit und weißes bis bläuliches Hautkolorit mit nachfolgendem Erythem bzw. Blasenbildung gekennzeichnet und völliger Restitution des Gewebes; im fortgeschrittenen Stadien 3 und 4 kommt es zur Gewebsnekrose, Gangrän und schließlich zum Verlust der Gliedmaße.

Von den Erfrierungen (freezing cold injuries) werden in der englischsprachigen Literatur die non-freezing cold injuries unterschieden. Diese können bei langanhaltender Immobilität in nasskalter Witterung mit Temperaturen um oder geringfügig über dem Gefrierpunkt entstehen, unter ungünstigen Bedingungen sogar noch bei einer Umgebungstemperatur von +10 °C. Dabei sind insbesondere die Füße durch eine Gewebeerstickung infolge des mit einer verminderten Durchblutung einhergehenden Sauerstoffmangels gefährdet (Grabenfuß oder Immersionsfuß).

Die Haut ist dem Umgebungsklima direkt, oder lediglich durch Kleidung geschützt, ausgesetzt und daher in besonderem Maße gefährdet. Neben den unangenehmen Kälteempfindungen, Kälteschmerzen, bis hin zu Taubheitsgefühlen kann die Haut bei Kälteexpositionen auch zeitweise oder dauerhaft Schaden nehmen. Tab. 3-2 zeigt die Auswirkungen unterschiedlicher Hautoberflächentemperaturen auf die manuelle Leistungsfähigkeit, Funktion und Empfindung.

Tab. 3-2: Auswirkungen unterschiedlicher Hautoberflächentemperaturen auf die manuelle Leistungsfähigkeit, Funktion und Empfindung (nach Risikko, 2009)

Hautoberflächentemperatur [°C]	Auswirkungen der Temperatur auf den betroffenen Bereich
32 - 36 °C	Optimaler Temperaturbereich
< 32 °C	Verschlechterung bei der Oberflächenwahrnehmung
< 28 °C	Verminderung der Muskelkraft
20-27 °C	Verminderung von Genauigkeit und Ausdauer
12 - 16 °C	Verminderung der manuellen Geschicklichkeit
< 16 °C	Schmerzen (bei Abkühlung großer Bereiche, bspw. ganze Hand)
< 10 °C	Schmerzen (bei Abkühlung kleiner Bereiche)
< 8 °C	Verlust der Sensitivität
< 6 °C	Nervenblockade
6 - 7 °C	Gefühlsverlust

Ein Absinken der Hautoberflächentemperatur unter +8 °C ist unbedingt zu vermeiden, da es nach Lehmuskallio (2001) vorkommen kann, dass die Nervenblockade dafür sorgt, dass die Gefahr einer bevorstehenden Erfrierung nicht mehr wahrgenommen wird. Kommt es zu Erfrierungen, ist der Schweregrad – der sich in 4 Kategorien einteilen lässt – meist erst nach einigen Stunden (Schweregrad I und II) bzw. Tagen bis Wochen (Schweregrad III und IV) feststellbar. Tab. 3-3 beschreibt detailliert die Auswirkungen bei lokalen Erfrierungen innerhalb der 4 Schweregrade.

Tab. 3-3: Schweregrade der lokalen Erfrierungen und deren Auswirkungen (aus Glitz et al. 2012b, übersetzt nach NATO, 2010)

Erfrierungen 1. Grades	Erfrierungen 2. Grades	Erfrierungen 3. Grades	Erfrierungen 4. Grades
Epidermale Schädigung:	Schädigung der Epidermis (gesamter Querschnitt; kann auch die superfizielle Dermis betreffen):	Betroffen sind die Dermis und das subkutane Gewebe:	Alle Schichten der Haut, des darunter liegenden Gewebes und sogar der Knochen sind betroffen:
<p>Im Allgemeinen auf die Hautareale begrenzt, die extremer Kaltluft ausgesetzt waren oder Metallkontakt hatten (z. B. Außentürgriffe).</p> <p>Erfrorene Haut ist initial weiß oder gelblich fleckig.</p> <p>Die Haut taut schnell auf, bildet „Quaddeln“, wird rot und schmerzhaft.</p> <p>Die Beweglichkeit bleibt erhalten, da tiefe Gewebsschichten nicht erfroren sind.</p> <p>Betroffene Bereiche können geschwollen sein, es erfolgt jedoch keine Blasenbildung. Die Haut löst sich 7 bis 10 Tage nach der Einwirkung, heilt aber anschließend klinisch vollständig aus.</p> <p>Neurologische Residualsymptome können zurückbleiben.</p>	<p>Es kommt früh zu Bewegungseinschränkungen, da tiefere Schichten geschädigt sind.</p> <p>Das betroffene Areal taut rasch auf, die Beweglichkeit kehrt zurück und es entstehen Schmerzen.</p> <p>Blasen mit klarer Flüssigkeit bilden sich mehrere Stunden nach dem Auftauen.</p> <p>Obere Schichten bleiben im Allgemeinen erhalten und ermöglichen eine rasche Reepithelialisierung nach der Erfrierung.</p> <p>Es kommt zu keinem permanenten Gewebsverlust; das Gewebe heilt vollständig innerhalb von 3 bis 4 Wochen aus.</p> <p>Neurologische Residualsymptome können zurückbleiben.</p>	<p>Anfangs ist erfrorenes Gewebe „unauffällig“, beeinträchtigt jedoch die Beweglichkeit.</p> <p>Nach dem Auftauen kehrt die Beweglichkeit vorübergehend zurück, aber die betroffene Haut schwillt schnell und durch die Schädigung des dermalen vasculären Plexus bilden sich hämorrhagische Blasen. Die Schwellung schränkt die Beweglichkeit ein.</p> <p>Durch langsames Ablösen kommt es zum bedeutenden Hautverlust.</p> <p>Die Heilung erfolgt langsam; es können dauerhafte Gewebsverluste entstehen.</p> <p>Üblicherweise bleibt eine Kälteempfindlichkeit der betroffenen Areale zurück.</p>	<p>Initial ist das erfrorene Gewebe unbeweglich.</p> <p>Auftauen stellt die passive Beweglichkeit wieder her, aber eine intrinsische Muskelfunktion kehrt nicht zurück.</p> <p>Die Reperfusion der Haut ist nach dem Auftauen gering.</p> <p>Blasen und Ödeme entwickeln sich nicht.</p> <p>Betroffene Areale zeigen früh nekrotische Veränderungen.</p> <p>Das Vollbild der Schädigung entwickelt sich langsam (Wochen) und führt zum „Abstreifen“ des geschädigten Gewebes und zur Autoamputation.</p> <p>Ein bedeutender, dauerhafter anatomischer und funktioneller Verlust ist die Regel.</p>

5	Kernaussage
Hautoberflächentemperaturen unter +32 °C gehen bereits mit einer Verschlechterung der Oberflächenwahrnehmung einher. Ein Absinken der Hautoberflächentemperatur unter +8 °C kann dazu führen, dass Nervenblockaden auftreten, die dafür sorgen, dass die Gefahr einer bevorstehenden Erfrierung nicht mehr wahrgenommen wird.	
Konsensstärke: starker Konsens	

3.2.4.2 Systemische Auswirkungen

Die Unterkühlung/ Hypothermie des gesamten Körpers mit Absinken der Körperkerntemperatur wird in 5 Stadien eingeteilt (vgl. Tab. 3-4).

Tab. 3-4: Übersicht verschiedener Stadien und Maßnahmen bei Hypothermie (modifiziert nach Enke & Knacke, 2009; Ziegenfuß, 2017).

Hypothermie	Symptome	Maßnahmen präklinisch
Stadium 1: Körperkerntemperatur *35-34 °C - Abwehrstadium	erhöhter Sympathikotonus, periphere Vasokonstriktion, Tachykardie, Tachypnoe, Hypertonie und Muskelzittern	Passive Wiedererwärmung; Lagerung auf Trage/Matten etc.; Bewegungen vermeiden! Wärmeisolation durch Wolldecken, Alufolie, warme Umgebung, Entfernen nasser Kleidung, Gabe warmer, süßer Getränke
Stadium 2: Körperkerntemperatur* 33-31 °C - Erschöpfungsstadium	reduzierter Sympathikotonus, reduzierter Stoffwechsel, Bradyarrhythmie, Hypotonie, Muskelstarre, Vigilanzstörung	Aktive Wiedererwärmung; Applikation von Wärmepackungen (z. B. Hibler Packung, immer zunächst am Körperstamm!) Warme Infusionslösungen (nicht präklinisch!) Ein zügiger Transport in die Klinik sollte durch Maßnahmen der Aufwärmung nicht verzögert werden
Stadium 3: Körperkerntemperatur* 30-27 °C - Lähmungsstadium (Paralyse)	Bewusstlosigkeit, Areflexie, schwerste Bradyarrhythmie und Bradyphnoe mit Gefahr des Kammerflimmerns	Bei kardialer Instabilität, Transport in ein Zentrum mit der Möglichkeit der extrakorporalen Erwärmung mit geeigneten Life-Support Systemen (ECLS)
Stadium 4: Körperkerntemperatur < 27 °C - Scheintod (Vita minima)	Asystolie, Apnoe, schlaffem Muskeltonus, weiten, lichtstarrten Pupillen, aber bis zu Stunden erhaltener Reanimationsfähigkeit!	Länger reanimieren als bei normothermen Patienten („Nobody's dead until he's warm and dead!“) Gesteigerte Hypoxietoleranz der Gewebe bei Hypothermie
Stadium 5: Körperkerntemperatur < 15 °C	- Tod	

*Zur Ermittlung der Körperkerntemperatur, siehe Abschnitt 4.3.2.

2	Empfehlung	↑↑
Wir empfehlen, beim Absinken der Körperkerntemperatur unter 35,5 °C unverzüglich Maßnahmen nach Tab. 3-4 zu ergreifen. Zur Ermittlung und Interpretation der Körperkerntemperatur wird auf Abschnitt 4.3.2 verwiesen.		
Konsensstärke: starker Konsens		

Nach Behrends et al. (2010) wird der klinische Schweregrad der Hypothermie in 5 Stadien unterteilt, die in Tab. 3-5 beschrieben sind. Ein Absinken der Körperkerntemperatur in das Stadium I (32-35 °C) kann nach Penzkofer (2013) und Groos (2018) beim Arbeiten in tiefer Kälte (bspw. in einem Verteilzentrum für tiefgefrorene Lebensmittel) durchaus auftreten. Auch wenn der Mensch hier bereits autonome Gegenregulationsmechanismen in Gang setzt, die ein weiteres Absinken der Körperkerntemperatur verhindern sollen, kann in diesem Stadium Verwirrtheit und Desorientiertheit sowie ein unangemessenes Verhalten (bspw. „paradoxal undressing“) auftreten.

3	Empfehlung	↑↑
Wir empfehlen, dass Beschäftigte in kältebelasteten Arbeitsbereichen in Innenräumen ab Kältebereich II immer mindestens zu zweit arbeiten und zudem in Sichtkontakt verbleiben. Des Weiteren wird empfohlen, in Innenräumen Notruf-Knöpfe auf Bodenniveau einzurichten. Beschäftigte, die in kältebelasteten Arbeitsbereichen arbeiten, sind regelmäßig hinsichtlich der Verhaltensmaßnahmen und der Erste-Hilfe-Maßnahmen zu unterweisen.		
Konsensstärke: starker Konsens		

Tab. 3-5: Hypotherme Körperkerntemperaturbereiche und deren klinischer Schweregrad (nach Behrends et al., 2010)

Körperkerntemperatur* [°C]	Klinischer Schweregrad der Hypothermie
32 – 35 °C (Stadium I)	Milde Hypothermie
28 – 32 °C (Stadium II)	Moderate Hypothermie
24 – 28 °C (Stadium III)	Schwere Hypothermie
24 – 22 °C (Stadium IV)	Reversibler hypothermer Kreislaufstillstand
< 22 °C (Stadium V)	Irreversibler hypothermer Kreislaufstillstand

* Zur Ermittlung der Körperkerntemperatur, siehe Abschnitt 4.3.2.

Hinweis: Die Tab. 3-4 und Tab. 3-5 stammen aus unterschiedlichen Quellen und die jeweils definierten Stadien der Hypothermie weichen hinsichtlich der Temperaturangaben voneinander ab.

3.2.4.3 Kälte und psychische Gesundheit

Klimatische Belastungen können auch psychische Stressoren sein, die durch langandauernde und wiederholte Einwirkung zu psychischer Ermüdung führen können. In der Folge können die Leistungsfähigkeit sinken und die Fehlerhäufigkeit zunehmen, wodurch auch Verletzungs- und Unfallrisiko steigen. Der Zeitbedarf der Regeneration steigt im Verhältnis zur Ausprägung der psychischen Ermüdung. Klimatische Belastungen können sich negativ auf das Wohlbefinden auswirken und zu einer Fehlbeanspruchung des Individuums führen, welches wiederum im Sinne der Wechselwirkungen sich in einer Negativspirale verfestigen kann. Hierbei sind besonders die Menschen gefährdet, die unter latenten Angst- oder Panikstörungen leiden. Angst- und Panikstörungen treten meist plötzlich und ohne vorherige Anzeichen und Warnungen auf.

Symptome psychischer Fehlbeanspruchung sind häufig eine Reihe von Gefühlen wie Kontrollverlust Scham, Schuld, Minderwertigkeit etc. auf Grund der geminderten Leistungsfähigkeit, Einschränkung der Beweglichkeit, Sensibilität und Geschicklichkeitsverlust (Kittlmann et al., 2021). Besonders Menschen mit Kopfschmerzsymptomatik oder Kälteurtikaria haben zudem oft Sorge, dass bei extremer Kälte die Häufigkeit und Intensität zunimmt.

Zur Wirkung kalter Umgebung auf die kognitive Leistungsfähigkeit liegen nur wenige Studien vor und diese zeigen keine signifikanten Effekte, jedoch nehmen die manuellen Fähigkeiten (z. B. Geschicklichkeit der Finger/Hände) signifikant ab (Parsons, 2003). Auch eine spätere Laborstudie bzgl. Aufmerksamkeitsstörungen (n = 128) bestätigte dies (Cheung, Westwood & Knox, 2007), s. a. Abschnitt 3.2.6.

3.2.5 Arbeitsmedizinische Beurteilung bei Arbeiten in kältebelasteten Bereichen

Eine arbeitsmedizinische Beurteilung ist nur bei Kenntnis der konkreten Arbeitsbedingungen und der exakten Diagnosen und Schweregrade von Erkrankungen möglich. Stets haben technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen den Vorrang, bevor Beschäftigten von der Tätigkeit abzuraten ist.

Bei Arbeiten in kältebelasteten Bereichen können einige relevante chronische Krankheiten die Einsatzmöglichkeiten einschränken: z. B. von Herz, Kreislaufsystem, Atmungsorganen, Blut, Haut, Nieren, Nervensystem sowie rheumatische Krankheiten, Anfallsleiden, Suchterkrankungen oder Überempfindlichkeiten bei Kälteeinwirkung.

Weitere Hinweise zur arbeitsmedizinischen Beurteilung sind u.a. in der DGUV-Empfehlung „Kältearbeit“ (DGUV, 2022c) zu finden.

In den DGUV Empfehlungen werden Anleitungen zu Umfang und Durchführung der arbeitsmedizinischen Beratung / evtl. Untersuchung im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge gegeben, sie gelten aber auch als Empfehlung für evtl. Einstellungsuntersuchungen. Arbeitsmedizinische Vorsorge hat hierbei das Ziel, die Beschäftigten zu informieren, zu beraten und ggf. zu untersuchen hinsichtlich der Gefährdungen, denen sie bei ihrer Arbeit ausgesetzt sind. Das Ziel ist die Aufrechterhaltung der Gesundheit bei der Arbeit.

Abzugrenzen hiervon sind Eignungsuntersuchungen, deren Ziel ist, dem Arbeitgeber Informationen darüber zu geben, inwieweit der gesundheitliche Zustand der künftigen Beschäftigten den Einsatz in bestimmten Tätigkeiten zulässt. Eine spezifische gesetzliche Grundlage für Eignungsuntersuchungen gibt es nur in wenigen ausgewählten Bereichen (wie z. B. nach Druckluftverordnung).

Für Arbeit in kältebelasteten Bereichen existiert eine solche Grundlage nicht. Der Arbeitgeber hat allenfalls bei Einhaltung des Angemessenheitsprinzips die Möglichkeit, im Rahmen von z. B. Betriebsvereinbarungen oder tarifvertraglichen Regelungen, unter gewissen Voraussetzungen eine arbeitsrechtliche Rechtsgrundlage für die Durchführung einer Eignungsuntersuchung zu schaffen. Grundlage sind der Schutz von Dritten und der Eigenschutz der Arbeitnehmer*innen. Anlasslose Eignungsuntersuchungen dürfen nicht vereinbart werden.

3.2.6 Abbruchkriterien bei Arbeiten in kältebelasteten Bereichen

Unterschreitet die Körperkerntemperatur den kritischen Wert von 35 °C kommt es nach Brandström (1996) zu einer gesundheitsgefährdenden Hypothermie, was ein Abbruchkriterium darstellt. Die kältebelasteten Personen müssen dabei auf autonome Regulationsmechanismen achten, die bereits während der milden Hypothermie (Stadium I, 32 - 35 °C, nach Tab. 3-5) einsetzen. Hierzu gehört vor allem das Muskelzittern, welches bei 34 - 35 °C Kerntemperatur sein Maximum erreicht. Des Weiteren kommt es zu einer verstärkten Vasokonstriktion, die sich durch eine Verringerung der peripheren Durchblutung ausdrückt. In Stadium I kann es zudem zu Verwirrtheit und Desorientiertheit kommen sowie ein unangemessenes Verhalten (bspw. „paradoxal undressing“) auftreten. Neben dem Absinken der Körperkerntemperatur unter einen kritischen Bereich sind auch lokale Kältebelastungen zu vermeiden, hierzu gehört insbesondere das Absinken der Hautoberflächentemperatur unter +8 °C. Nach Lehmuskallio (2001) kann diese kritische Temperatur zu einer Nervenblockade führen, die mit der Gefahr einhergeht, dass bevorstehende Erfrierungen nicht mehr wahrgenommen werden. Mit Verweis auf Tabelle 3-2 in Abschnitt 3.2.4.1 sind daher Arbeiten in kältebelasteten Bereichen abubrechen, sobald die kältebelasteten Personen Schmerzen verspüren.

Schon vor Erreichen der Gefährdungsgrenzen kann für einzelne Personen die Ausführbarkeitsgrenze überschritten werden, sodass die Exposition zu beenden ist. Des Weiteren unterliegt das Kälteempfinden sehr individuellen Schwankungen, sodass sichergestellt werden muss, dass die kritischen Temperaturgrenzen nicht unterschritten werden. Im Sinne des präventiven Gesundheitsschutzes und zur Gewährleistung eines schädigungslosen Einsatzes der Beschäftigten sind daher die Kälteexpositionen in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur zu begrenzen und hinreichende Erholzeiten in warmen Bereichen zu gewährleisten. In den Studien von Penzkofer (2013) und Groos (2018) stellten sich die in der DIN 33403-5 (1997) empfohlenen Arbeits- und Pausenzeiten (vgl. Abschnitt 7.1.2) in diesem Zusammenhang als praktikabel heraus.

3.3 Physiologie bei Wärme

3.3.1 Wärmeantworten

Antworten auf Wärmeexposition sind einerseits eine erhöhte Durchblutung der Haut, insbesondere der Akren, andererseits die Schweißsekretion. Durch Vasodilatation kann die Wärmeabgabe bis auf das 8-fache gesteigert werden. Die Kerntemperatur, bei der die Schweißsekretion beginnt, hängt stark von der durchschnittlichen Hauttemperatur ab (vom Hypothalamus werden zentrale und periphere Reize integriert).

Die Schweißsekretion kann bei Hitze in Abhängigkeit von zahlreichen Faktoren (Klima, Arbeitsschwere, Bekleidungsisolierung, Akklimatisationsgrad, Hydratationszustand, Expositionsdauer, Geschlecht u. v. a. m.) erheblich variieren. Bei einstündigen Expositionen werden Maxima von 2 l/h und mehr berichtet. Mit zunehmender Expositionsdauer verringert sich diese Rate; sie kann nach 6 Stunden unter 1 l/h sinken (Belding & Hatch, 1955; Wenzel & Piekarski, 1985). Andererseits sollen Schweißraten von 1 l/h über einen Zeitraum von 12 Stunden im heißen Wüstenklima möglich sein (Folk, 1974).

Im beruflichen Alltag haben sich Abschätzungen der Schweißmengen von bis zu 1 l/h bewährt, die hitzeakklimatisierte Personen über längere Zeiträume einer Arbeitsschicht offensichtlich abgeben können und die sich auch in Trinkempfehlungen widerspiegeln (NATO, 2013).

Der NaCl-Gehalt des Schweißes hängt von der Sekretionsrate und von der Dauer der Hitzeexposition ab. Geringe Sekretionsraten korrelieren mit einer niedrigeren NaCl-Konzentration (stark hypotoner Schweiß in Bezug auf das Blutplasma), hohe Sekretionsraten mit einer höheren NaCl-Konzentration (gering hypotoner Schweiß verglichen mit dem Blutplasma; Buono et al., 2007; Kirby & Convertino, 1986).

3.3.2 Anpassungen an Wärme

Eine Akklimatisation äußert sich in einer erhöhten Schweißproduktion und einem reduzierten Salzgehalt des Schweißes bei Hitzeexposition. Die erhöhte Schweißsekretion verbessert die Fähigkeit der evaporativen Wärmeabgabe. Allerdings sind mit der gesteigerten Schweißabgabe auch Nachteile verbunden (Flüssigkeitsverlust etc., siehe unten). Wohl deshalb weisen Einwohner in heißen Gebieten eine geringere Anzahl an Schweißdrüsen pro Fläche auf, was man als langfristige Hitzeakklimatisation bezeichnen könnte. Es wird vermutet, dass diese Personen eine optimale Evaporation mit minimaler Tropfenbildung (= wenig „verschwendete Flüssigkeit“) annehmen (Tipton et al., 2008).

Eine weitere Anpassung an warme Temperaturen ist die erhöhte NaCl-Rückresorption in den Ausführungsgängen der Schweißdrüsen. Dadurch sinkt die NaCl-Konzentration des ausgeschiedenen Schweißes (Buono et al., 2007; Kirby & Convertino, 1986). Auf diese Weise wird der NaCl-Verlust bei sehr starkem Schwitzen erheblich reduziert. Die geringeren NaCl-Verluste reduzieren die Wahrscheinlichkeit von Hitzekollaps, Herz-Kreislaufversagen und Hitzekrämpfen.

3.3.3 Erkrankungen durch Wärmeexposition – Sofortmaßnahmen

Bei erhöhter Wärmeexposition können gesundheitliche Gefahren auftreten.

3.3.3.1 Lokale Auswirkungen

Zu den lokalen Auswirkungen der Hitze bzw. der Sonneneinstrahlung gehören Sonnenstich und Sonnenbrand. Der Sonnenbrand ist ein Erythem, das durch ultraviolette Strahlung hervorgerufen wird. Diese schädigt Zellen der Epidermis, welche durch Freisetzen von Mediatoren eine Entzündung hervorrufen. Das Erscheinungsbild ähnelt einer Verbrennung. Unter Sonnenstich versteht man eine Reizung der Hirnhäute, die durch lokale Erhitzung bei längerdauernder Sonnenexposition ohne Kopfbedeckung entsteht. Sie ist charakterisiert durch Kopfschmerzen, Nackensteifigkeit, Übelkeit und Schwindel, bis hin zu Bewusstseinsstrübung und Bewusstlosigkeit.

3.3.3.2 Systemische Auswirkungen

Systemische Auswirkungen der Hitze sind v.a. die Folgen von Flüssigkeitsumverteilungen im Körper (Vasodilatation der Haut), von Flüssigkeits- und Salzverlusten (Evaporation, Schwitzen) sowie von der Überhitzung des Körperkerns.

Der Hitzekollaps, auch Hitzesynkope bezeichnet, ist eine Folge der Reduktion des „effektiv zirkulierenden Blutvolumens“, hervorgerufen durch Blutumverteilung in die Körperperipherie und/oder Flüssigkeitsverlusten. Häufig wird der Hitzekollaps orthostatisch ausgelöst (vom Liegen zum Stehen), kann aber auch nach längerem Stehen auftreten.

Der Hitzschlag ist die Folge der Überhitzung des Körperkerns $> 40\text{ °C}$ mit der Folge einer zunehmenden Schädigung der Endothelzellen. Die systemischen Auswirkungen können bis zum Multiorganversagen führen (Leyk et al., 2019; Epstein and Yanovich, 2019). Symptome sind Tachykardie, Schwitzen, Hypotension, Hyperventilation, Übelkeit und Erbrechen, bis hin zu Bewusstlosigkeit und Koma. Der Hitzschlag ist grundsätzlich als lebensbedrohlich einzustufen.

Bei körperlicher Arbeit steigt die metabolische Wärmeproduktion. Kann diese Wärme nicht an die Umgebung abgegeben werden (Bekleidungsisolation, Umgebungsklima) droht eine anstrengungsbedingte Überhitzung (Leyk et al., 2019). Dies betrifft v.a. Sportler oder Berufsangehörige mit hoher körperlicher Aktivität (z. B. Soldaten, Feuerwehrleute). Das Krankheitsbild wird im anglo-amerikanischen Sprachraum als „*exertional heat illness*“ bezeichnet. Nach einem Positionspapier der National Athletic Trainers' Association der USA umfasst die traditionelle Klassifikation von exertional heat illness 3 Kategorien: Hitzekrämpfe, Hitzeerschöpfung und Hitzschlag (Binkley et al., 2002).

In

Tab. 3-6 ist eine Übersicht zu verschiedenen Krankheitsbildern dargestellt, die in Verbindung mit Hitzebelastungen stehen. Weiterhin werden dort mögliche Ursachen, Symptome und Ansätze für eine präklinische Therapie beschrieben.

Tab. 3-6: Übersicht verschiedener Krankheitsbilder in Verbindung mit Hitzebelastungen stehen sowie Beschreibung möglicher Ursachen, Symptome und prä-klinischer Therapie (modifiziert nach Enke & Knacke, 2009; Ziegenfuß, 2017)

Krankheitsbild	Ursache	Symptome	Präklinische Therapie
Hitzekrampf	Elektrolytstörung und Wassermangel infolge übermäßigen Schwitzens bei Personen, die nicht hitzeadaptiert sind (bei hitzeadaptierten Personen kommt es zu einer Elektrolytreduktion im Schweiß).	schmerzhafte Muskelkrämpfe in der beanspruchten Muskulatur, Körpertemperatur normal; zusätzliche Symptome deuten auf zusätzliche Hitzeschäden hin!	Elektrolytgabe, z. B. stark gewürzte Brühe
Sonnenstich-Insolation	entsteht durch lokale Überhitzung des Kopfes und Nackens	Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit und Erbrechen, Benommenheit und Meningismus bis hin zu Bewusstseinsstörungen; sehr selten auch Tod; Körpertemperatur meist normal	aus der Sonne bringen, Kühlung, Flüssigkeitszufuhr
Hitzesyndrome bzw. Hitzekollaps	orthostatische Hypotonie durch hitzebedingte Erweiterung der peripheren Blutgefäße	Bewusstlosigkeit bei evtl. vorangehendem Schwindel und Übelkeit; Körperkerntemperatur normal	Stabile Seitenlagerung, Autotransfusion, evtl. Volumengabe
Hitzeerschöpfung	durch massiven Flüssigkeitsverlust infolge Schwitzens entsteht ein echter Volumenmangel; bei ca. 20 % Volumenverlust Zentralisation mit manifestem Schock; Gefahr des Überganges in Hitzschlag, wenn nicht rechtzeitig erkannt und therapiert	Führt zu Schwindel und Bewusstseinsstörungen, die Haut ist hierbei feucht und heiß; Bewusstseinsverlust; Körperkerntemperatur ist auch hier zunächst normal	NaCl und Flüssigkeitsgabe unter ärztlicher Überwachung
„Klassischer“ Hitzschlag (heat stroke)	durch extremen Wärmestau (und Dehydratation) Versagen der Thermoregulation (Unterschied zu den vorab geschilderten Krankheitsbildern) und Anstieg der Körperkerntemperatur >40 °C	direkte zelluläre Funktionseinschränkung mit ZNS-Dysfunktion, Herz-Kreislaufversagen oder/ und Multiorganversagen (Rhabdomyolyse, Nierenversagen, Leberversagen, ZNS –Schäden, DIC). Symptome: Temperatur > 40 °C, starke Kopfschmerzen, Tachykardie, Hypotension, Übelkeit, Desorientierung, Bewusstseinsverlust, Koma, trockene, gerötete Haut (rote Hyperpyrexie). Symptome: wie o.a., feuchte, blasse Haut. Die Mortalität des heat stroke wird auch bei rechtzeitig eingeleiteten Maßnahmen mit 20-50 % angegeben.	Sofortige Kühlung, optimal mittels Ganzkörperimmersion, hilfsweise feuchte Tücher, Kühlpackungen, Volumengabe, O2-Gabe, evtl. Beatmung; nach erfolgreicher initialer Kühlung rascher Transport in intensivmed. Betreuung; Je länger Zeitraum bis zur Diagnosestellung und Abkühlung, je schlechter der Outcome.
Sonderform: exertional heat stroke (anstrengungsbedingter Hitzschlag) Beachte: Informationen zur präklinischen Therapie im Text (Kalt-/Eis-Wassertauchbad)	Folge aktiver metabolischer Wärmeproduktion durch schwere körperliche Arbeit. (häufig betroffen Soldaten, Sportler etc.)		

Der im Rahmen einer Hitzebelastung durch körperliche Anstrengung bei eingeschränkter Wärmeabgabe (schwere Arbeit, Umgebungsklima, Bekleidungsisolation) auftretende anstrengungsbedingte Hitzschlag (exertional heat stroke) als Extremfall der Hitzeerkrankungen, der bei Körperkerntemperaturen von >40,5 °C auftritt, bedarf hierbei nach evidenzbasierten Erkenntnissen einer außerordentlichen Vorgehensweise des Therapie-Managements: cool first, transport second! (abweichend vom gängigen Diktum nach Sicherung der Vitalfunktionen sofortiger Transport in die Klinik!): Noch vor Ort ist unter kontinuierlicher Kontrolle der Rektaltemperatur oder Ösophagealtemperatur eine umgehende Ganzkörperkühlung im Kalt-/ Eis-Wassertauchbad < 15 °C erforderlich, um innerhalb 30 Minuten eine Absenkung der Körpertemperatur auf 38,9 °C zu erreichen; erst dann soll der Transport in die Klinik erfolgen. Wenn dieses Procedere gelingt, ist die Prognose günstig, wenn dies nicht gelingt, ist die Prognose wegen drohenden Multiorganversagens mit Dauerschäden und evtl. Tod fatal (Pryor et al., 2015; Casa et al., 2015).

6	Empfehlung	↑↑
Beim Auftreten eines der in Tab. 3. 5 beschriebenen Krankheitsbilder, insbesondere beim Verdacht eines anstrengungsbedingten Hitzschlags, sind unverzüglich die dort beschriebenen Maßnahmen der präklinischen Therapie einzuleiten. Beschäftigte, die in wärmebelasteten Arbeitsbereichen arbeiten, sind regelmäßig hinsichtlich der Verhaltensmaßnahmen und der Erste-Hilfe- Maßnahmen zu unterweisen.		
Konsensstärke: starker Konsens		

3.3.3.3 Wärme und psychische Gesundheit

Wie bereits in Abschnitt 3.2.4.3 erläutert, können klimatische Belastungen psychische Stressoren sein, die durch langandauernde und wiederholte Einwirkung zu psychischer Ermüdung führen können. Bei extremer Hitze können unerkannte Thermophobien zu Tage treten oder sich im Zusammenspiel mit Angst- oder Panikdispositionen ausbilden. Dies kann bei gleichzeitiger Einnahme von Medikamenten verstärkt werden, z. B. die Einnahme von Betablockern (bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen), Neuroleptika oder Antidepressiva (BNHS, 2017). Bei zunehmender Temperatur können das Aggressivitätspotential steigen und prosoziale Verhaltensweisen wie z. B. Hilfsbereitschaft abnehmen. Dadurch können ebenfalls psychische Fehlbelastungen entstehen (Belkin & Kouchaki, 2017). Symptome psychischer Fehlbeanspruchung sind häufig eine Reihe von Gefühlen wie Kontrollverlust Scham, Schuld, Minderwertigkeit etc. auf Grund der geminderten Leistungsfähigkeit (Kittelman et al., 2021). Bei Temperaturen > 27 °C wurde ein unterschiedlich stark ausgeprägter Leistungsabfall beobachtet (Pilcher, Nadler & Busch, 2002) (siehe hierzu auch Abschnitt 5.2.2).

3.3.4 Arbeitsmedizinische Beurteilung bei Arbeiten in wärmebelasteten Bereichen

Eine arbeitsmedizinische Beurteilung ist nur bei Kenntnis der konkreten Arbeitsbedingungen und der exakten Diagnosen und Schweregrade von Erkrankungen möglich. Stets haben technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen den

Vorrang, bevor Beschäftigten von der Tätigkeit abzuraten ist.

Bei Arbeiten in wärmebelasteten Bereichen können einige relevante chronische Krankheiten die Einsatzmöglichkeiten einschränken: z. B. von Herz, Kreislaufsystem, Atmungsorganen, Blut, Haut, Nieren, Nervensystem, Anfallsleiden, Übergewicht oder Suchterkrankungen. Weitere Hinweise zur arbeitsmedizinischen Beurteilung sind u.a. in der DGUV Empfehlung „Hitzearbeiten“ (DGUV, 2022a) zu finden.

In den DGUV Grundsätzen (zukünftig Empfehlungen) werden Empfehlungen zum Umfang der arbeitsmedizinischen Beratung / evtl. Untersuchung im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge getroffen, sie gelten aber auch als Empfehlung für evtl. Einstellungsuntersuchungen. Arbeitsmedizinische Vorsorge hat hierbei das Ziel, die Beschäftigten zu informieren, zu beraten und ggf. zu untersuchen hinsichtlich der Gefährdungen, denen sie bei ihrer Tätigkeit ausgesetzt sind. Ziel ist die Aufrechterhaltung der Gesundheit bei der Tätigkeit.

Abzugrenzen hiervon sind Eignungsuntersuchungen, deren Ziel es ist, dem Arbeitgeber Informationen darüber zu geben, inwieweit der gesundheitliche Zustand der zukünftigen Beschäftigten den Einsatz in bestimmten Tätigkeiten zulässt. Eine spezifische gesetzliche Grundlage für Eignungsuntersuchungen gibt es nur in wenigen ausgewählten Bereichen (wie z. B. nach Druckluftverordnung).

Für Arbeiten in wärmebelasteten Bereichen existiert eine solche Grundlage nicht. Der Arbeitgeber hat allenfalls bei Einhaltung des Angemessenheitsprinzips die Möglichkeit, im Rahmen von z. B. Betriebsvereinbarungen oder tarifvertraglichen Regelungen, unter gewissen Voraussetzungen eine arbeitsrechtliche Rechtsgrundlage für die Durchführung einer Eignungsuntersuchung zu schaffen. Grundlage sind der Schutz von Dritten und der Eigenschutz der Arbeitnehmer*innen. Anlasslose Eignungsuntersuchungen dürfen nicht vereinbart werden.

3.3.5 Abbruchkriterien bei Arbeiten in wärmebelasteten Bereichen bzw. mit thermisch isolierender Schutzbekleidung

Die Körperkerntemperatur sollte bei Arbeiten unter Hitzebelastung nicht über 38,5 °C ansteigen. Bei medizinischer Voruntersuchung³ und kontinuierlicher medizinischer Überwachung während der Hitzeexposition kann bei akklimatisierten Personen, etwa bei Rettungseinsätzen, eine Überschreitung bis auf maximal 39 °C toleriert werden (DIN EN ISO 9886, 2004).⁴

³ Die DIN EN ISO 9886 enthält im Jahre 2004 die Aussage „medizinisch untersucht“. Heute ist damit „Vorsorge“ gemeint.

⁴ Beschäftigte sollen Hitzebelastungen in ihrem ganzen Berufsleben kompensieren können. Allgemeingültige Abbruchkriterien müssen auf das heterogene Beschäftigtenkollektiv (u.a. Faktoren Alter, Geschlecht, Anthropometrie, Fitness) ausgerichtet sein, bei dem große ausgeprägte interindividuelle Unterschiede in der Hitzetoleranz bestehen und auch gesundheitliche Risikofaktoren (z.B. Übergewicht, Bluthochdruck) vorliegen können. Dagegen können gesunde, trainierte und hitzeakklimatisierten Sportler*innen durchaus höhere Körperkerntemperaturen (im Training und Wettkampf) kompensieren. Aber auch bei diesem Kollektiv werden vorherige sportmedizinische Untersuchungen und geeignete Präventionsmaßnahmen empfohlen (ACSM 2007, Löllgen & Leyk 2018).

5	Empfehlung	↑↑
Wir empfehlen, Maßnahmen zu ergreifen, dass die Körperkerntemperatur bei Arbeiten unter Hitzebelastung dauerhaft nicht über 38,5 °C ansteigt.		
Konsensstärke: starker Konsens		

Auch nach Abbruch einer belastenden körperlichen Arbeit und Beendigung einer Hitzeexposition bzw. nach dem Ablegen einer thermisch isolierenden Schutzbekleidung ist in den folgenden Minuten noch ein weiterer Anstieg der Kerntemperatur durch Umverteilung von warmem Blut aus den großen Muskelgruppen möglich.

Als zusätzlicher Indikator für eine Hitzebelastung, insbesondere im Mikroklima thermisch isolierender Schutzbekleidung, kann die Differenz zwischen der Körperkerntemperatur und der mittleren Hauttemperatur dienen: Eine Annäherung zwischen der Körperkern- und der Hauttemperatur (Konvergenz) ist Ausdruck einer beginnenden Dekompensation der Thermoregulation bei Erschöpfung der thermoregulatorischen Möglichkeiten des Organismus (Pandolf & Goldman 1978).

Unterbindet eine Schutzbekleidung den Wärmeaustausch zwischen Träger*in und Umgebung, besteht zur Prävention einer Hyperthermie eine grundsätzliche Tragezeitbegrenzung von max. 30 min (DGUV Regel 112-189, 2007 und DGUV Regel 112-190, 2011). Siehe hierzu auch Kap. 6.3.3.7 zu Tragezeitbegrenzungen.

Unter Hitzebelastung werden ansteigende Körpertemperaturen und zunehmende Wärmespeicherung individuell unterschiedlich empfunden. Schon vor Erreichen der Gefährdungsgrenzen oder der Tragezeitbegrenzungen kann für Einzelne die Ausführbarkeitsgrenze überschritten werden, sodass der/die Betroffene die Exposition beenden kann.

9	Empfehlung	↑↑
Sofern eine Schutzbekleidung den Wärmeaustausch zwischen dem/der Träger*in und der Umgebung erheblich beeinträchtigt, empfehlen wir zur Prävention einer Hyperthermie grundsätzlich eine Tragezeitbegrenzung.		
Konsensstärke: starker Konsens		

6b	Kernaussage	
Bei Kälte- oder Hitzearbeit ist eine psychische Belastung zu berücksichtigen, die zu einer individuellen Fehlbeanspruchung mit diverser Symptomatik führen kann.		
Konsensstärke: starker Konsens		

4 Messung

4.1 Allgemeine Hinweise zur Messung von Klimaparametern und zur Bestimmung von Einflussgrößen

Zur Beurteilung des Raumklimas sind die folgenden vier physikalischen Grundparameter relevant

- Lufttemperatur,
- Luftfeuchtigkeit,
- Luftgeschwindigkeit sowie ggfs.
- Wärmestrahlung.

Die Bestimmung der Wärmestrahlung ist immer dann erforderlich, wenn sich die umgebenden Flächen hinsichtlich ihrer mittleren Strahlungstemperatur deutlich von der Lufttemperatur unterscheiden. Dies kann z. B. durch heiße oder kalte Oberflächen von Aggregaten oder offenen Wärmequellen der Fall sein. Neben der Temperaturdifferenz ist dabei auch die Größe der kühleren oder wärmeren Fläche sowie das Zielkriterium (Behaglichkeit, Erträglichkeit, vgl. Abschnitt 4.4) einzubeziehen.

Für die weitergehende Beurteilung der Klimabelastung sind personenbezogene Größen zu berücksichtigen, wie

- Arbeitsschwere,
- Bekleidungsisolations,
- Individuelle Eigenschaften wie z. B. Akklimatisierung und Gesundheitszustand.

Zur Ermittlung der physikalischen Grundparameter können im Folgeabschnitt die für die einzelnen Messgrößen angegebenen Messprinzipien eingesetzt werden. Die Sensoren sind dabei an relevanten Aufenthaltsorten innerhalb des Arbeitssystems zu positionieren. Die Messhöhe beträgt für sitzende Tätigkeiten 0,6 m, für stehende Tätigkeiten 1,1 m (siehe auch ASR A3.5, 2010), was in etwa jeweils der Unterleibshöhe entspricht. Bei deutlich⁵ unterschiedlichen Ausprägungen einer Messgröße (z. B. Wärmestrahlung) in vertikaler Richtung zwischen Fußboden- und Kopfbereich wird eine 3-Höhenmessung in Knöchel-, Unterleibs- und Kopfhöhe empfohlen. Die entsprechenden Messhöhen sind 0,1 m, 0,6 m, 1,1 m für sitzende Tätigkeiten bzw. 0,1 m, 1,1 m, 1,7 m für stehende Tätigkeiten. Erläuterungen zu Messverfahren, Messprotokoll sowie zu Fehlertoleranzen finden sich u.a. in DIN EN ISO 7726 (2021) sowie DIN SPEC 33428 (2019).

⁵ Zur Definition von Strahlungstemperatur und deutlichen Unterschieden, siehe z. B. DIN EN ISO 7726 (2021), Kap. 5.2.

Das Raumklima wird über die vier physikalischen Grundparameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit (sowie ggfs. Wärmestrahlung, wenn sich die umgebenden Flächen hinsichtlich ihrer mittleren Strahlungstemperatur deutlich von der Lufttemperatur unterscheiden) definiert. Für die Beurteilung der Klimabelastung sind zudem arbeitssystembezogene Größen wie Expositionszeit, Arbeitsschwere, Bekleidungsisolierung, und individuelle Eigenschaften wie Grad der Akklimatisation und Gesundheitszustand zu beachten.

Konsensstärke: starker Konsens

4.2 Messgeräte und Bedingungen

4.2.1 Messung der Lufttemperatur

Zur Messung der Lufttemperatur können z. B. Messgeräte mit Widerstandsmessfühler oder Flüssigkeits-Glasthermometer eingesetzt werden. Dabei ist eine Abschirmung des Sensors gegenüber Wärmestrahlung sicherzustellen. Insbesondere bei geringen Luftgeschwindigkeiten muss zudem die Einstellzeit beachtet werden. Diese kann beim Einsatz von Handmessgeräten durch Bewegen des Sensors in Form eines leichten Schüttelns reduziert werden. Die Lufttemperatur dient in kalten Umgebungen als maßgebliche Größe („Leitgröße“) für die Einteilung von Kältebereichen (vgl. DIN 33403-5, 1997).

4.2.2 Messung der Luftfeuchte

Zur Beschreibung des Feuchtegehaltes der Umgebungsluft ist die Ausweisung der relativen Luftfeuchte am meisten verbreitet. Für die Messung der relativen Luftfeuchte können z. B. Messgeräte mit kapazitiven Sensoren oder auch Haar-Hygrometern eingesetzt werden. Weitere Kenngrößen zur Beschreibung des Feuchtegehaltes der Umgebungsluft sind u. a. Wasserdampfpartialdruck, psychrometrische Feuchtttemperatur oder Taupunkttemperatur. In DIN EN ISO 7726 (2021) finden sich bei gegebener Lufttemperatur Umrechnungsgleichungen für jede dieser Kenngrößen.

4.2.3 Messung der Luftgeschwindigkeit

Zur Messung der Luftgeschwindigkeit können thermische Anemometer, Differenzdrucksonden oder mechanische Anemometer (z. B. Schalenkreuz- und Flügelradanemometer) eingesetzt werden. Dabei ist der jeweils herstellerseitig angegebene Messbereich zu beachten: So weisen mechanische Anemometer bei hohen Luftgeschwindigkeiten Vorteile auf, benötigen jedoch eine Mindestluftgeschwindigkeit, die z. B. im Bürobereich im Regelfall oberhalb des interessierenden Messbereiches liegt. Außerdem ist die Richtungsabhängigkeit zu beachten.

Thermische Anemometer besitzen im Regelfall keine Richtungsabhängigkeit und erlauben bei entsprechend geringer Einstellzeit neben der mittleren Luftgeschwindigkeit auch den Turbulenzgrad der Luft als Maß für die zeitlichen Schwankungen zu bestimmen. Übliche Betrachtungs- bzw. Messdauer ist dabei 3 min entsprechend 180 s. Innerhalb dieses Zeitintervalls wird pro Sekunde ein Messwert ermittelt und daraus Mittelwert und Standardabweichung bestimmt. Der Turbulenzgrad ergibt sich dann durch Bezug der Standardabweichung auf den jeweiligen Mittelwert und wird üblicherweise in Prozent ausgewiesen.

4.2.4 Messung der Wärmestrahlung

Zur Bestimmung der Wärmestrahlung ist das Globe-Thermometer weit verbreitet. Die damit ermittelbare Globetemperatur ist die Temperatur im Innern einer geschwärzten Hohlkugel aus einem dünnen, gut wärmeleitenden Material mit einem Durchmesser von ca. 150 mm und einem Absorptionsvermögen der Kugeloberfläche von 95 % (s. a. DIN SPEC 33428, 2019).

Bei der Messung zu beachten ist einerseits eine mit 20-30 Minuten vergleichsweise hohe Einstellzeit, andererseits stellt die Globetemperatur eine Mischgröße aus Wärmestrahlung, Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit dar. Die Bestimmung der mittleren Strahlungstemperatur als Kenngröße für die Wärmestrahlung erfolgt rechnerisch unter Berücksichtigung der gleichzeitig wirksamen mittleren Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit. Neben der international gebräuchlichen mittleren Strahlungstemperatur findet insbesondere national die Effektive Bestrahlungsstärke Anwendung (z. B. DIN 33403-3, 2011). Bestimmungs- bzw. Umrechnungsgleichungen finden sich z. B. in DIN SPEC 33428 (2019) und DIN EN ISO 7726 (2021).

Entsprechen die Oberflächentemperaturen der umgebenden Flächen in etwa der Lufttemperatur und liegen keine nennenswerten Wärmequellen vor, so kann die mittlere Strahlungstemperatur näherungsweise identisch mit der Lufttemperatur angenommen werden; auf eine Messung der Wärmestrahlung kann dann verzichtet werden.

Neben der Bestimmung der Wärmestrahlung mittels Globe-Thermometer sind Messgeräte, die die mittlere Strahlungstemperatur und/oder die Effektive Bestrahlungsstärke direkt ausweisen, im Einsatz. Sie basieren im Regelfall auf der Differenztemperaturmessung von Flächenelementen mit unterschiedlichem Absorptionsvermögen und weisen eine gegenüber der Globetemperatur deutlich geringere Einstellzeit auf; außerdem sind auch in eine Raumrichtung gerichtete Messungen möglich (s. a. DIN EN ISO 7726, 2021).

4.3 Ermittlung personenbezogener Größen

4.3.1 Arbeitsschwere und Bekleidungsisolation

Während die physikalischen Klimaparameter durch Messung bestimmt werden können, wird bei der Bestimmung der personenbezogenen Größen Arbeitsschwere und Bekleidungsisolation im Regelfall auf Tabellenwerte zurückgegriffen. Angaben hierzu sind z. B. in DIN 33403-3 (2011) zu finden. Die Angabe der Arbeitsschwere erfolgt üblicherweise in Watt und die Angabe der Bekleidungsisolation in $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ bzw. clo-Werten (clothing units), wobei 1 clo einer Wärmeisolation von $0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ entspricht.

4.3.2 Ermittlung der Körperkerntemperatur

Nach allgemeinem Konsens bildet die Temperatur im Hypothalamus den Referenzstandard für Körperkerntemperatur, da sich in diesem thermoregulatorischen Zentrum der zentrale Regler für die Körperkerntemperatur befindet (VDE, 2011). Eine Temperaturmessung ist in diesem Bereich nicht möglich, sodass Temperaturen an Körperstellen erhoben werden, die leichter zugänglich sind. Im Rahmen von arbeitsmedizinischen Untersuchungen sind dies bevorzugt das Trommelfell und auch das Rektum. Dabei ist bekannt, dass sich die Resultate, insbesondere bei Arbeit durch den Einfluss anatomischer und physiologischer Charakteristika auf die jeweilige regionale Blutver-

sorgung erheblich unterscheiden können. Dazu kommen messmethodische Einschränkungen bei der Erfassung der Trommelfelltemperatur (DIN EN ISO 9886, 2004), sodass die Rektaltemperatur als die zuverlässigere anzusehen ist. Die Messmethode der Grenzwerte in einschlägigen Normen ist zumeist nicht ersichtlich. Die publizierten Werte sollen jedoch die thermische Beanspruchung, die den Hypothalamus als Zentrum der Thermoregulation maßgeblich beeinflusst, darstellen. In diesem Sinne sind die, in dieser Leitlinie zitierten Kerntemperaturen als Referenzwerte für rektal gemessene Körperkerntemperaturen anzusehen. Abweichungen von dieser Vorgabe sind im Einzelfall gesondert vermerkt.

Die Unterschiede zwischen Trommelfell- und Rektaltemperatur können teilweise erheblich sein. Morrissey et al. (2021) untersuchten beispielsweise Läufer mit Gesundheitsproblemen nach einem Dauerlauf. Hierbei fanden sie mittlere Unterschiede zwischen Trommelfell- und Rektaltemperatur von 2 °C, bei Patienten mit exertional heat stroke (EHS) sogar 2,4 °C! Den Einfluss von Windgeschwindigkeit und der Wärmedämmung des Ohres auf die Messungen zeigen Teunissen et al. (2011) auf.

4.4 Anwendung auf ausgewählte Klimasummenmaße

Zur Beurteilung stehen verschiedene sogenannte „Klimasummenmaße“ zur Verfügung. Diese fassen mehrere der zuvor genannten Klimaparameter zu einem Kennwert zusammen und ermöglichen es dadurch, z. B. Erträglichkeitsbereiche (bei Wärme-/Kältebelastung) oder Behaglichkeitsbereiche unmittelbar zu charakterisieren.

Tab. 4-1 gibt eine Übersicht zu in Normen und anderen Regelwerken für die einzelnen Klimabereiche eingesetzte Klimasummenmaße. Zu diesen Klimasummenmaßen gibt es in den Regelwerken entsprechende Richtwertaussagen, die sich an den Zielkriterien Erträglichkeit bzw. Behaglichkeit orientieren.

Tab. 4-1: Übersicht verschiedener Klimasummenmaße nach Klimabereichen (Gebhardt et al., 1999)

Klimabereich	Einflussfaktoren	Klimasummenmaß	Zielkriterium
wärmebelastete Arbeitsbereiche	Lufttemperatur Luftfeuchte Luftgeschwindigkeit	NET WBGT PHS	Erträglichkeit
Komfortbereich	Wärmestrahlung Arbeitsschwere Bekleidungsisolations	PMV PPD	Behaglichkeit
kältebelastete Arbeitsbereiche	individuelle Eigenschaften	IREQ	Erträglichkeit

Legende: NET: Normal-Effektivtemperatur; WBGT: Wet Bulb Globe Temperature; PHS: Predicted Heat Strain; PMV: Predicted Mean Vote; PPD: Predicted Percentage of Dissatisfied; IREQ: Required clothing Insulation

Die Klimasummenmaße NET/BET, WBGT und PHS unterscheiden sich u.a. in ihrer Komplexität, indem die Parameter Wärmestrahlung, Arbeitsschwere und Bekleidungs-eigenschaften unterschiedlich berücksichtigt werden (vgl. Abb. 4-1).

Einflussfaktor	Berücksichtigt in Klimasummenmaß		
	NET / BET	WBGT	PHS
Lufttemperatur	✓	✓	✓
Luftfeuchte	✓	✓	✓
Luftgeschwindigkeit	✓	✓	✓
Wärmestrahlung	--	✓	✓
Arbeitsschwere	/	/	✓
Bekleidungseigenschaften	(✓)	/	✓
Erläuterungen:			
✓ - bei der Bestimmung berücksichtigt (✓) - bei der Bestimmung eingeschränkt in 2 Stufen berücksichtigt / - im Rahmen der Bewertung berücksichtigt -- - bleibt unberücksichtigt bzw. wird konstant gesetzt			

Abb. 4-1: Berücksichtigung der Einflussgrößen in den einzelnen Klimasummenmaßen am Beispiel wärmebelasteter Arbeitsbereiche (aus Gebhardt et al., 1999, mod.)

4.4.1 Ermittlung der Normal-Effektivtemperatur (NET)

Bei der Normal-Effektivtemperatur (NET) handelt es sich um ein Klimasummenmaß, welches sich aus den folgenden drei messbaren Faktoren zusammensetzt:

- Lufttemperatur,
- Feuchttemperatur (bzw. relative Luftfeuchte) und
- Luftgeschwindigkeit.

Wärmestrahlung und individuelle Eigenschaften werden hierbei nicht und die Arbeitsschwere und Bekleidungseigenschaften nur begrenzt (z. B. als Konstante) berücksichtigt. In Abb. 4-2 ist beispielhaft eine Ermittlung der NET nach Yaglou⁶ angegeben. Hierzu werden Lufttemperatur (1) (im Beispiel: 25 °C) und Feuchttemperatur (2) (im Beispiel: 22 °C) auf den jeweiligen Skalen eingetragen und durch eine Linie verbunden. Aus der Kurvenschar für die Luftgeschwindigkeit wird diejenige ausgewählt, die der gemessenen entspricht (3) (im Beispiel: 1,0 m/s) und der Schnittpunkt mit der Verbindungsgeraden ermittelt. Die Projektion auf die Skala für die Normal-Effektivtemperatur (NET) liefert dann den entsprechenden Wert (im Beispiel: NET = 22 °C).

⁶ Die Original-Quelle des Autors Constantin Prodromus Yaglou (1897–1960) liegt nicht vor. Das in Abb. 4-2 dargestellte Nomogramm findet sich u.a. in der DGUV Information 213-002 (2013) und der DIN 33403-3 (2011).

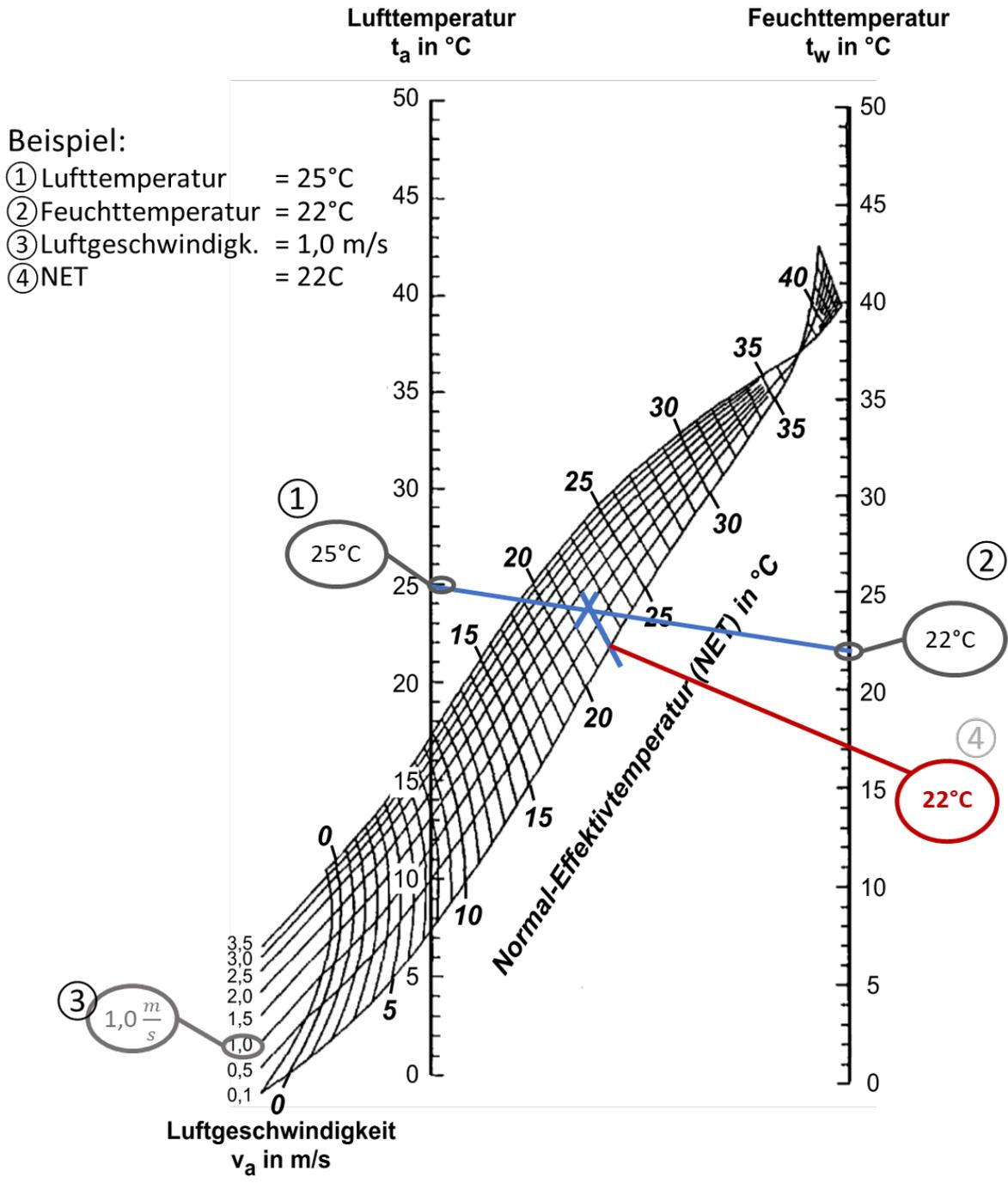


Abb. 4-2: Beispiel einer NET-Bestimmung nach Yaglou
 (in Anlehnung an DGUV Information 213-002, 2013 und DIN 33403-3, 2011)

Auf der Homepage des Instituts ASER e.V. findet sich ein Klimarechner, mit dem die NET näherungsweise berechnet werden kann⁷. Weiter findet sich dort eine rechnergestützte Bewertung der Belastung durch hohe Temperaturen unter Berücksichtigung der Arbeitsschwere in Form des Arbeitsenergieumsatzes (AU)⁸.

⁷ <https://www.institut-aser.de/out.php?idart=1607>
⁸ <https://www.institut-aser.de/out.php?idart=246>

4.4.2 Vereinfachte Ermittlung der thermischen Beanspruchung

Eine Handlungshilfe zur vereinfachten Ermittlung der thermischen Beanspruchung bei wärmebelasteten Arbeitsplätzen stellt der „Risikograph Klima“ der DGUV dar (DGUV Information 215-510, 2016). Dieser ist allerdings nur dann anwendbar, wenn gleichzeitig folgende Bedingungen erfüllt sind:

- keine oder nur geringe Wärmestrahlung erkennbar
- keine oder nur sehr geringe Luftgeschwindigkeit
- leichte Arbeit sowie
- leichte, die Arbeit nicht behindernde Bekleidung

4.4.3 Weitere Klimasummenmaße

Als Beurteilungsmaßstab an wärmebelasteten Arbeitsbereichen können neben der NET weitere Klimasummenmaße nach DIN 33403-3 (2011) dienen (vgl. Tab. 4-1):

- Basis-Effektivtemperatur BET (ohne Wärmestrahlung, Arbeit mit unbekleidetem Oberkörper)
- WBGT-Index (Wet Bulb Globe Temperature, mit Wärmestrahlung)
- vorhergesagte Wärmebeanspruchung PHS (DIN EN ISO 7933, 2004)

Auf der Homepage der BAuA werden Kurzbeschreibungen zur Ermittlung des WBGT-Index⁹ und des PHS¹⁰ zur Verfügung gestellt. Zudem wird insbesondere im Abschnitt 6.1 auf diese Klimasummenmaße eingegangen.

⁹ https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefaehrdungsbeurteilung/Expertenwissen/Arbeitsumgebungsbedingungen/Klima/pdf/anlage_7.1-4.pdf

¹⁰ https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefaehrdungsbeurteilung/Expertenwissen/Arbeitsumgebungsbedingungen/Klima/pdf/anlage_7.1-6.pdf

5 Beurteilung und Gestaltung des Komfortbereichs

5.1 Allgemeine Einflussfaktoren, Modelle und Summenmaße

Die Beurteilung des Klimas im Komfortbereich erfolgt mit sogenannten globalen und lokalen thermischen Behaglichkeitskriterien, womit der Grad der Zufriedenheit der Nutzer mit dem Raumklima beschrieben wird. Treten an Arbeitsplätzen Beschwerden über das Klima auf, können damit auch deren Ursachen ermittelt werden. Zunächst wird mit einer umfassenden Bewertung geprüft, ob es zu warm oder zu kühl ist (globale Kriterien). Zusätzlich können spezielle Klimateffekte (z. B. Zugluft) bzgl. ihrer negativen Wirkung betrachtet werden (lokale Kriterien, siehe Abschnitt 5.2).

Das **globale thermische Behaglichkeitskriterium** betrachtet die Gesamtwärmebilanz des Menschen mit einer mittleren behaglichen Hauttemperatur. Unter der Voraussetzung einer bestimmten Bekleidung und körperlichen Aktivität (z. B. Arbeit im Büro) werden für einen Raum mittlere Werte der Temperatur, Geschwindigkeiten und Feuchte der Luft sowie der Strahlungstemperatur der Umgebung definiert. Hierfür wurde auf der Basis umfangreicher Klimakammerexperimente mit Probanden ein mathematisches Modell entwickelt (Fanger, 1970). Es geht von der Gleichheit der Wärmeentwicklung im Körper mit der Summe der Wärmeabgabe (durch Konvektion, Strahlung, Verdunstung, Atmung) aus. Es zielt auf die Einhaltung einer sog. "behaglichen mittleren Hauttemperatur" ab (vgl. DIN EN ISO 7730, 2006). Im Ergebnis wird ein **Klimasummenmaß** der sog. **PMV-Wert (Predicted Mean Vote)** berechnet. Das ist ein dimensionsloser Maßstab des thermischen Empfindens der Raumnutzer. Er entspricht deren mittlerer vorhergesagter Klimabeurteilung auf einer Skala von -3 (kalt) über 0 (neutral) bis +3 (heiß) (s. a. Tab. 5-1). Liegt der PMV-Wert zwischen -0,5 und +0,5 gilt das globale thermische Behaglichkeitskriterium üblicherweise als erfüllt. Mit zunehmender Abweichung vom neutralen Bereich wächst die Unzufriedenheit der Raumnutzer mit dem Klima. Aus dem PMV-Wert lässt sich der zu erwartende Prozentsatz von Raumnutzern bestimmen, die mit den gegebenen klimatischen Bedingungen unzufrieden sind, der sog. **PPD-Wert (Predicted Percentage of Dissatisfied)**. Tab. 5-1 zeigt diese Skalierung. Hieraus wird deutlich, dass selbst bei optimal eingestellten raumklimatischen Bedingungen mit mindestens 5 % unzufriedener Raumnutzer gerechnet werden muss (vgl. DIN EN ISO 7730, 2006).

Tab. 5-1: Zuordnung des thermischen Empfindens zum PMV- und PPD-Wert

Empfinden	kalt	kühl	etwas kühl	neutral (thermisch behaglich)	etwas warm	warm	heiß
PMV	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
PPD	99 %	75 %	25 %	5 %	25 %	75 %	99 %

Mit diesem Modell lassen sich optimale Wertekombinationen aus Raumklima (Temperatur, Geschwindigkeit und Feuchte der Luft, Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen) sowie Aktivität und Bekleidung der Nutzer bestimmen. Es kann abgeschätzt werden, mit welchem Prozentsatz unzufriedener Raumnutzer bei gegebenen Randbedingungen zu rechnen ist. Wenn sich z. B. in einem Großraumbüro mit 100 Beschäftigten davon 10 darüber beschweren, dass es zu kühl ist und eine fachkundige Überprüfung (auf Basis der DIN EN ISO 7730, 2006) einen PMV-Wert von -0,5 ergibt, so

liegt das im theoretisch zu erwartenden Bereich. Durch Veränderung der mittleren Klimagrößen kann hier die Klimazufriedenheit noch geringfügig verbessert werden. Zusätzlich können die betroffenen Personen aber z. B. ihre Bekleidung individuell verändern, sofern das möglich ist („dress code“). Das PMV-Modell ist nur für gesunde Personen anwendbar, Erkrankungen (niedrige Stoffwechselrate, Störungen der Thermoregulation) können zu einem abweichenden Empfinden führen. Auch wird eine gezielte Einflussnahme auf das Raumklima vorausgesetzt (Heizung im Winter bzw. in der kühlen Jahreszeit, Klimatisierung im Sommer).

5.2 Spezielle Beurteilung des Klimas im Komfortbereich

5.2.1 Beurteilungsmaßstäbe

Bestimmte klimatische Bedingungen können zu Unterschieden der lokalen Wärmestromdichte an der Hautoberfläche des Menschen führen, was eine lokale Abkühlung oder Erwärmung der Haut und der darunterliegenden Schichten bewirken kann. Das wird mit den **lokalen thermischen Behaglichkeitskriterien** beschrieben (vgl. DIN EN ISO 7730, 2006). Hierzu zählen insbesondere Zugluft, warme/kalte Fußböden, Strahlungsasymmetrie sowie Temperaturschichtung.

Unter **Zugluft** wird ein als störend empfundener Luftzug verstanden, der zu einer lokalen Abkühlung infolge konvektiver Wärmeabgabe, insbesondere an unbedeckten zugluftempfindlichen Körperflächen (Nacken, Fußgelenke) führt. Eine dadurch bedingte Minderung der Durchblutung kann zu Muskelverspannungen und Schmerzen führen. In Abhängigkeit von Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Turbulenzgrad und körperlicher Aktivität des Menschen wird das sogenannte **Zuglufttrisiko** [%] (DR - Draft Risk) bestimmt. Das gibt den erwarteten Prozentsatz derjenigen Raumnutzer an, die sich über unbehagliche Zugerscheinungen beklagen. Für Arbeitsräume wird in der Arbeitsstättenregel ASR A3.6 Lüftung (2012) eine mittlere Luftgeschwindigkeit von unter 0,15 m/s genannt, bei der üblicherweise keine unzumutbare Zugluft auftritt. Dies gilt nur für eine Lufttemperatur von mindestens +20 °C, einen Turbulenzgrad von weniger 40 %, leichte Arbeitsschwere (sitzende Tätigkeit) und leichte Bekleidung (ca. 0,6 clo), was für Büroarbeit unter Sommerbedingungen typisch ist. Unter anderen Randbedingungen (andere Arbeitsschwere, Bekleidung oder Lufttemperatur) können höhere Luftgeschwindigkeiten möglich sein, ab denen diese erst als Zugluft empfunden wird. Zur Ermittlung des Zuglufttrisikos sind spezielle Messungen und Berechnungen nach der Norm (vgl. DIN EN ISO 7730, 2006) nötig. Der Wert 0,15 m/s ist keine starre Grenze, sondern stellt ein "Zuglufttrisiko" von 15 % dar, d. h. es ist mit bis zu 15 % Raumnutzern zu rechnen, die sich über Zugluft beschweren.

Zu kühle oder zu warme **Oberflächentemperaturen von Fußböden** können zu einer Unterkühlung bzw. zu einem unangenehmen Schwitzen an den Füßen führen. In Arbeitsräumen spielt das oft nur eine untergeordnete Rolle, da in der Regel festes Schuhwerk getragen wird. Die Oberflächentemperatur des Fußbodens soll nicht mehr als 3 K unter bzw. 6 K über der Lufttemperatur liegen, bei Fußbodenheizung sollen +29 °C nicht überschritten werden (ASR A1.5/1,2 Fußböden, 2013). Bei leichter Fußbekleidung (Socken, Hausschuhe) wird eine Fußbodentemperatur von ca. +24 °C genannt, die als behaglich empfunden wird, wobei auch hier mindestens 6 % unzufriedene Nutzer auftreten können (Olesen, 1977).

Wenn in einem Raum die Oberflächentemperaturen der Wände und Decke stark von der mittleren Strahlungstemperatur abweichen, so wird das von den Nutzern als unbehaglich empfunden. Maßstab hierfür ist der Unterschied der Strahlungstemperatur von zwei Halbräumen - **Strahlungsasymmetrie** [°C]. Bestimmt werden kann dieser Wert mit einer Methode nach DIN EN ISO 7730 (2006). Ursachen sind z. B. kalte Außenwände oder große Fensterflächen, große Heiz- oder Kühlflächen im Raum oder eine schlecht isolierte Decke in einem Dachgeschoss. Dabei wird eine warme Decke als besonders unbehaglich empfunden. So ist bei einer Strahlungsasymmetrie von 15 K bei einer warmen Decke mit 20 % unzufriedener Raumnutzer zu rechnen. Bei einer kühlen Decke, deren Temperatur 15 K unter der Fußbodentemperatur liegt, sind dagegen nur 2 % unzufriedene Raumnutzer zu erwarten (Fanger et al., 1985).

Ein zu großer Unterschied des Temperaturempfindens an Kopf und Fuß kann ebenfalls zu einem unbehaglichen Empfinden führen. Dies wird durch Temperaturschichtung in Räumen erzeugt, die infolge unzureichender Isolierung der Fußböden in Verbindung mit Heizkörpern an den Wänden entstehen kann (Altbau). Charakterisiert wird dies mit einem maximal zulässigen **vertikalen Lufttemperaturunterschied** [°C]. Wenn z. B. die Lufttemperatur im Kopfbereich 4 K über der Lufttemperatur am Boden (Füße) liegt, so ist mit ca. 10 % unzufriedenen Raumnutzern zu rechnen (vgl. DIN EN ISO 7730, 2006). Die Messung erfolgt dabei in einer Höhe von 0,1 m (Knöchelhöhe) sowie in Kopfhöhe bei 1,1 m (sitzende Tätigkeit) bzw. 1,7 m (stehende Tätigkeit).

Für eine gesamtheitliche Bewertung werden die einzelnen Komfortkriterien in sog. Kategorien des Umgebungsklimas eingeteilt. Dabei hat ein Raum der Kategorie A ein hohes, Kategorie B ein mittleres und die Kategorie C ein gemäßigtes Erwartungsniveau an das Raumklima, was z. B. einem PPD-Wert von 6, 10 bzw. 15 % entspricht (siehe Anhang A.1 der DIN EN ISO 7730, 2006). Tab. 5-2 fasst die Kriterien zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit zusammen.

Tab. 5-2: Beurteilung der Klimagrößen im Komfortbereich

Parameter	Maßeinheit	Bemerkung	Empfehlungen
Lufttemperatur	°C	definiert Bereiche mit den meisten zufriedenen Nutzern Messung mit vor Wärmestrahlung geschütztem Thermometer	22 °C +/- 2 K (Heizperiode) ¹⁾ 24 °C +/- 2 K (Sommer) ¹⁾ im Winter meist kein Problem, im Sommer oft nur mit einer technischen Kühlung erreichbar
Zugluftisiko	%	als störend empfundener Luftzug, der zur lokalen Abkühlung der Haut führt	Luftgeschwindigkeit <0,15 m/s ¹⁾ (t _a ≥ 20 °C, TU 40 %, 0,6 clo) Arbeitsplätze nicht in der Nähe von Luftauslässen anordnen
Oberflächentemperatur von Fußböden	°C	Unterkühlung bzw. unangenehmes Schwitzen an den Füßen	von 3 K unter bis 6 K über der Lufttemperatur, ist insbesondere im Erd- oder Kellergeschoss zu erwarten
Strahlungsasymmetrie	°C	durch warme oder kalte Wand-/Deckenflächen hervorgerufenes einseitig unbehagliches Gefühl von Wärme bzw. Kühle	Arbeitsplätze nicht an kalten Außenwänden (große Glasflächen) oder überhitzten Heizkörpern anordnen
vertikaler Lufttemperaturunterschied	°C	Unbehaglichkeit infolge unterschiedlicher Lufttemperaturen an Kopf- und Fußbereich	<4 K tritt oft im Altbau mit schlecht isolierten Räumen und starken Wandheizkörpern auf

¹⁾ bei leichter Tätigkeit im Sitzen und jahreszeitlich angepasster Bekleidung

4	Kernaussage
Neben zu hohen/niedrigen Raumtemperaturen können lokale Effekte wie Zugluft, zu warme/kalte Fußböden oder zu warme/kalte Wände, Fensterflächen, Decken zu Beeinträchtigung des Wohlbefindens und zu Beschwerden über das Raumklima führen.	
Konsensstärke: starker Konsens	

5.2.2 Sommerhitze – Auswirkungen und Gefahren

In der warmen Jahreszeit steigen in nicht klimatisierten Räumen infolge hoher Raumtemperaturen die Beschwerden der Raumnutzer, es wird über Müdigkeit, Schläfrigkeit, Leistungsminderung, sinkende Konzentration und Anstrengungsbereitschaft sowie über erhöhte Beanspruchung geklagt. In verschiedenen Studien wird neben verstärkten physiologischen Reaktionen zur Thermoregulation auch ein messbarer Abfall der körperlichen (Parsons, 2003) und kognitiven Leistungsfähigkeit beobachtet (Lan, Wargocki & Lian, 2014). Andere Studien deuten darauf hin, dass die kognitive Leistungsfähigkeit mit steigender Lufttemperatur weniger stark abfällt als die körperliche Leistungsfähigkeit (Hellwig et al., 2012). Aufgrund der vielfältigen Randbedingungen (Probandenstruktur nach Anzahl, Alter, Geschlecht, Versuchsbedingungen nach Dauer und Temperaturen) und betrachteten Leistungsparametern (z. B. Schreib-/Rechenaufgaben, Kurz-/Langzeitgedächtnis, Fehlerraten, Mengen oder Dauer der Aufgabenlösung) sind die Aussagen aus vorliegenden Studien nur bedingt quantitativ verallgemeinerbar.

Gesundheitliche Gefahren bestehen nur, wenn zusätzliche Faktoren auftreten (z. B. gesundheitliche Vorbelastung, besonders schutzbedürftige Personen (z. B. Jugendliche, Ältere, Schwangere, stillende Mütter), hohe Arbeitsschwere, Tragen schwerer persönlicher Schutzausrüstung - PSA).

5.2.3 Trockene Raumluft im Winter – Ursachen und Wirkungen

Insbesondere in der kalten Jahreszeit wird oft über brennende Augen, trockene Schleimhäute, Stimmstörungen, juckende Haut und unangenehme elektrische Aufladungen geklagt. Die Ursache dafür wird meist der trockenen Raumluft zugeschrieben. Dies ist in der kalten Jahreszeit dem Umstand geschuldet, dass außenklimatisch bedingt die relative Luftfeuchte in den beheizten Innenräumen reduziert ist. Wird die Raumluft in den Wintermonaten nicht befeuchtet, treten relative Luftfeuchten von unter 30 % auf, was physikalisch durch die begrenzte Aufnahmefähigkeit von Wasserdampf in der Außenluft bedingt ist. Ob allein die niedrige Luftfeuchte die Ursache für die Beschwerden ist, ist wissenschaftlich bislang nicht abschließend geklärt. Verschiedene Studien weisen für und gegen mögliche negative Auswirkungen von geringer Luftfeuchte auf die Gesundheit. Die Raumluft wird oft als zu trocken empfunden, obwohl sie ausreichend feucht ist. So wird die relative Luftfeuchte von ca. 50 % mit Bewertungen von „sehr trocken“ bis zu „sehr feucht“ eingeschätzt (Bischof et al., 2003). Da der Mensch kein Sinnesorgan zur Wahrnehmung der Luftfeuchte besitzt, ist diese hohe Schwankungsbreite plausibel. In einer Literaturstudie (von Hahn, 2007) zur Wirkung niedriger Luftfeuchte in Innenräumen, wurden Effekte auf die verschiedenen Bereiche des Körpers und Krankheitsbilder (Schleimhäute, Erkältungskrankheiten, Augen- und Hautbeschwerden) sowie Eigenschaften der elektrostatischen Auf- und Entladung ausgewertet. Dabei konnten keine wesentlichen Auswirkungen auf das „Austrocknen“

der Schleimhäute und den Tränenfilm der Augen festgestellt werden. Die Zunahme der Hautrauigkeit (Klagen über trockene und juckende Haut) und vermehrte elektrostatische Aufladungen („fliegende“ Haare) stehen dagegen in einen direkten Zusammenhang mit niedrigen Luftfeuchten. In Bewertung aller betrachteten Studien konnte in den Literaturstudien (von Hahn, 2007, Bux & von Hahn, 2020) kein eindeutiger negativer Einfluss einer geringen Luftfeuchte auf die Gesundheit der Beschäftigten gefunden werden, wobei eine Studie auf signifikant negative Auswirkungen bezüglich Qualität und Stabilität des Tränenfilms des Auges hindeutet (Pfluger et al., 2013). Bei Menschen mit bestimmten Vorerkrankungen der Haut, z. B. Neurodermitis, sind Effekte vorhanden. Schlussfolgernd wurde aus Sicht des Arbeitsschutzes der Einfluss der Luftfeuchte als eine Frage der Behaglichkeit und des Wohlbefindens eingestuft. Indirekt kann trockene Raumluft auf die Gesundheit wirken, da unter solchen Bedingungen bestimmte Viren (z. B. Influenzaviren) länger aktiv und infektiös bleiben. Der kausale Nachweis, dass die saisonal gehäuft in der kalten Jahreszeit auftretenden Erkrankungen an Grippe ursächlich auf diesen Effekt zurückzuführen sind, steht noch aus (von Hahn, 2007, Bux & von Hahn, 2020).

5.2.4 Subjektives Empfinden der thermischen Behaglichkeit

Ob etwas als behaglich oder nicht empfunden wird, hängt nicht allein von eingehaltenen Normwerten ab. Menschen sind bestrebt, Ereignisse aller Art zu erklären, vorauszusagen und in diesem Zusammenhang auch beeinflussen zu können. Durch die zunehmende Technologisierung mit dem Bestreben, es dem Menschen einfach zu machen und Standards zu automatisieren, sind vollautomatische Raumklimasysteme auf dem Vormarsch. Diese regeln nach geltender Norm die Raumtemperatur und weitere Parameter selbstständig. Der Mensch kann nicht mehr eingreifen, es fehlt die Kontrolle. Dies kann dazu führen, dass arbeitswissenschaftlich belegte Normwerte zur Förderung der Behaglichkeit von den Betreffenden (unabhängig ob Einzelarbeitsplatz oder nicht) nicht als solche wahrgenommen werden. Viele Beschäftigte berichten dann von einer Beanspruchung (Osnabrügge et al., 1985; Bux, 2006; Hellwig, 2018).

5.3 Gestaltungsmaßnahmen im Komfortbereich

5.3.1 Gestaltungsmaßnahmen bei Sommerhitze

Für physisch gering belastende Tätigkeiten (z. B. Büroarbeit) und gesunde Personen sind mindestens die Forderungen der Arbeitsstättenregel ASR A3.5 „Raumtemperatur“ (2010) einzuhalten. Mit einem Stufenmodell werden dort zulässige Lufttemperaturen geregelt. Es sollen +26 °C nicht überschritten werden (ganzjährig alle Arbeitsstätten). Bei Außenlufttemperatur über +26 °C werden in Arbeitsräumen bis +30 °C Maßnahmen empfohlen, darüber bis +35 °C muss der Arbeitgeber Maßnahmen ausführen, die die Beanspruchung der Beschäftigten reduzieren. Steigen die Lufttemperaturen in Arbeitsräumen über +35 °C, ist der Raum für die Zeit der Überschreitung ohne Maßnahmen wie bei Hitzearbeit als Arbeitsraum ungeeignet. In der Tabelle 4 der ASR A3.5 „Raumtemperatur“ (2010) werden Maßnahmen genannt, die dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten und zugleich auch zum Erhalt bzw. Förderung ihrer Leistungsfähigkeit bei Sommerhitze dienen. Zum einen sind es Maßnahmen, die der Überwärmung der Räume entgegenwirken (Außenjalousien, Nachtauskühlung, effektive Steuerung von Lüftung/Sonnenschutz, Reduzierung der inneren thermischen Lasten). Allerdings ist deren Wirkung in nicht klimatisierten Gebäuden beschränkt, da die Raumtemperatur bei einer anhaltenden Hitzeperiode sich der Außentemperatur angleicht.

Solange die Lufttemperatur niedriger ist, als die mittlere Hauttemperatur, kann auch durch forcierte Ventilation konvektiv gekühlt werden: Ein elektrischer Ventilator ist erheblich kostengünstiger als der Einsatz von mobilen Klimageräten. Oberhalb einer Lufttemperatur von z. B. 35 °C raten eine Reihe von Institutionen wie z. B. die WHO (World Health Organization), die WMO (World Meteorological Organization), die CDC (Centers for Disease Control and Prevention) und die EPA (United States Environmental Protection Agency) vom Einsatz elektrischer Ventilatoren ab, weil dann dem Körper konvektiv Wärme zugeführt wird und auch die Wärme des elektrischen Ventilators freigesetzt wird (siehe u.a. McGregor et al., 2015). Diese Warnungen sind aber nicht empirisch gestützt. Jay et al. (2015) zeigten aufgrund von Modellrechnungen, dass die Vorteile forciert Ventilation durch erhöhte Wasserverdunstung bis etwa 48 °C für ältere und 51 °C für jüngere Personen - bei trockener Luft - bestehen. Ravanelli et al. (2015) zeigten, dass sich die „prescriptive zone“ (in der sich Körpertemperatur und Herzschlagfrequenz noch nicht durch Klimaeinfluss erhöhen) für die Körpertemperatur bei einer Lufttemperatur von 36 °C von 84 % auf 100 % relativer Feuchte erweitert und bei einer Lufttemperatur von 42 °C von 48 % auf 55 % relativer Feuchte (die Herzschlagfrequenz reagiert schon bei etwas niedrigeren relative Feuchten. Kampmann und Bröde (2020) konnten zeigen, dass auch außerhalb der prescriptive zone (siehe Abschnitt 1.4.2.1 und Abb. 1-1) in Klimabereichen, wo sich noch ein thermoregulatorisches Gleichgewicht einstellt, deutliche Vorteile für leichte Körperarbeit bei einer Ventilation mit 2,0 m/s gegenüber 0,3 m/s beobachtet werden: z. B. bei einer Lufttemperatur von 50 °C und 25 % relativer Feuchte eine Absenkung der Herzschlagfrequenz um 10 min⁻¹ und der Körpertemperatur um 0,1 °C. Unter trocken-heißen Klimabedingungen steigt allerdings die Schweißproduktion, so dass Flüssigkeitsverluste ausgeglichen werden müssen. Diese empirischen Ergebnisse stimmen gut mit Abschätzungen durch den UTCI-Klimaindex (Bröde et al., 2012; Kampmann & Bröde 2020) überein.

Der Einsatz mobiler Klimageräte ist auf kleinere Räume beschränkt und damit verbundene Geräuschbelästigungen, Anschaffungs-/Betriebskosten, Zugluft und Einhaltung der Hygiene (Keimwachstum im Gerät) sind zu beachten. Kurzfristig wirkungsvoll sind alle Maßnahmen zur Organisation der Arbeitszeit, wie Gleitzeitregelungen mit Aufhebung der Kernarbeitszeit, zusätzliche kurze Pausen, früher Arbeitsbeginn oder zeitliche Verlegung schwerer Arbeiten. Die Ergänzung mit personenbezogenen Maßnahmen findet hohe Akzeptanz bei den Beschäftigten. Das sind z. B. kostenlose Bereitstellung von geeigneten Getränken (Trink- und Mineralwasser, Kräuter-/Früchtetee, ca. ein Liter mehr an einem Acht-Stunden-Büroarbeitstag), Aufhebung von Bekleidungsregelungen („Krawattenzwang“ aussetzen) oder Wasseranwendung zur partiellen Kühlung (Handgelenke und Unterarme). Im März 2021 wurde die Bereitstellung geeigneter Getränke (z. B. Trinkwasser im Sinne der Trinkwasserverordnung) bei Lufttemperaturen von mehr als +30 °C als generelle Verpflichtung in die ASR A3.5 (2010) eingeführt¹¹. Weitere Informationen sind u. a. auf der Homepage der BAuA¹², in der BAuA-Quart-Broschüre „Gesundes Klima und Wohlbefinden am Arbeitsplatz“ (Bux, 2012) oder dem Faltblatt (BAuA, 2019) zu finden.

¹¹ <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-5-Aenderungen-5.pdf>

¹² <https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physikalische-Faktoren-und-Arbeitsumgebung/Klima-am-Arbeitsplatz/Sommertipps.html>

8	Empfehlung	↑↑
<p>Bei hohen Außentemperaturen über +26 °C gilt das Stufenmodell nach ASR A3.5: Bei Lufttemperaturen in Arbeitsräumen bis +30 °C sollen, bis +35 °C müssen Maßnahmen ergriffen werden.</p> <p>Wir empfehlen geeignete Regelungen zur Arbeitsorganisation und Arbeitszeit zu treffen. Unabhängig davon sollen bis 30 °C, bei höheren Temperaturen müssen geeignete Getränke bereitgestellt werden. Über +35 °C ist der Arbeitsraum ohne Maßnahmen wie bei Hitzearbeit als solcher nicht geeignet.</p>		
Konsensstärke: starker Konsens		

5.3.2 Gestaltungsmaßnahmen bei trockener Raumluft im Winter

Um Handlungssicherheit für den betrieblichen Arbeitsschutz zu geben, wurde von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) ein Positionspapier (FBVW-501, 2020) erstellt, welches die Erkenntnisse der Literaturstudien (von Hahn, 2007, Bux & von Hahn, 2020) zusammenfasst.

Treten Beschwerden über „Trockene Luft“ auf, kann dies verschiedene Ursachen haben. Insofern müssen neben der Luftfeuchte weitere Faktoren geprüft werden, z. B. die Art der Luftführung. Beschäftigte dürfen an ihren Arbeitsplätzen keiner Zugluft ausgesetzt sein, diese verstärkt die Verdunstung und befördert damit die Austrocknung der Haut (Kozak et al., 2014). Werden Luftbefeuchter eingesetzt, so können diese zu einer Verbesserung des subjektiven Wohlbefindens der Beschäftigten beitragen, wie Befragungen nach solchen technischen Maßnahmen in Betrieben ergaben. Zu beachten sind die nötigen Anschaffungs- und Betriebskosten sowie der Wartungsaufwand und mögliche Hygieneprobleme (Keimwachstum von Mikroorganismen in unzureichend gewarteten Anlagen). Die Beschäftigten sollten ausreichend Flüssigkeit aufnehmen (ca. zwei Liter pro Tag - abhängig auch von der Körpermasse - nach Schmidt, Thews, & Lang, 2019) womit die natürliche Regulation der Schleimhautbefeuchtung unterstützt wird. Dies beinhaltet auch die Flüssigkeitsaufnahme durch Speisen und Oxidationswasser. Auch sollte in der kalten Jahreszeit eine den individuellen Bedürfnissen angepasste Verwendung von geeigneten Hautpflegemitteln unterstützt werden.

1	Empfehlung	↑↑
<p>Bei Beschwerden über trockene Raumluft im Winter empfehlen wir, auf eine</p> <ul style="list-style-type: none"> • ausreichende Luftfeuchte, • zugfreie Lüftung, • ergonomische Gestaltung von z. B. Bildschirmarbeitsplätzen (bei Augenbeschwerden), • die Anwendung von individuell geeigneter Hautcreme und • ausreichende Flüssigkeitszufuhr <p>zu achten.</p>		
Konsensstärke: starker Konsens		

5.3.3 Gestaltungsmaßnahmen beim subjektiven Empfinden der thermischen Behaglichkeit

Wenn Raumnutzer keine oder nur eingeschränkte Möglichkeiten zur Beeinflussung des Raumklimas haben, wächst deren Unzufriedenheit und Stress kann entstehen. Die Ansprüche der Raumnutzer an das Klima sind kontextabhängig, man will es sich einstellen und Einflussnahme ausüben. Auf eine „erfolgreiche Aktion“ reagiert er mit Zufriedenheit und weniger Stress. Dabei ist „Benutzerfreundlichkeit“ auch für Gebäude wichtig, da der Mensch grundsätzlich viele Auswahlmöglichkeiten schätzt, es jedoch bei zu großer Auswahl zu Stress bei der Entscheidung für die beste Variante kommen kann. Insofern beeinflusst ein hoher Grad an Kontrollmöglichkeiten die Bewertung des Raumklimas positiv und kann förderlich auf die psychische Gesundheit wirken. Zufriedenheit mit dem Raumklima entsteht immer dann, wenn eine Kontrollmöglichkeit erfolgreich vom Gebäudenutzer angewendet wurde und die Veränderung des Raumklimas in Richtung des gewünschten Zustandes bereits eingesetzt hat (Konzept der wahrgenommenen Kontrolle, aus Hellwig, 2018).

6 Beurteilung und Gestaltung von wärmebelasteten Arbeitsbereichen

6.1 Modelle und Summenmaße zur Beurteilung von wärmebelasteten Arbeitsbereichen

Sowohl die einzelnen Klimaparameter als auch die personenbezogenen Größen (siehe Kapitel 4) wirken auf den Menschen ein. Klimasummenmaße sind eine Zusammenfassung von mehreren Einflussgrößen in eine einzige Zahl, die die Beanspruchung auf den Menschen wiedergeben soll (s. a. Abschnitt 4.4).

Zur Erstellung solcher Klimasummenmaße gibt es mehrere Wege:

1. Subjektive Einschätzung der Klimabeanspruchung durch Probanden
Beispiel: Effektivtemperaturen nach Yaglou (siehe Abb. 4-2 und auch DGUV Information 213-002, 2013 und DIN 33403-3, 2011).
Probanden haben den subjektiven Eindruck ihrer Beanspruchung bei wasserdampfgesättigter Luft ohne Luftbewegung mit ihren Eindrücken bei anderen Klimabedingungen (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit) verglichen; Bedingungen gleichen Empfindens wurden als gleiche „Effektivtemperatur“ in Nomogramme gefasst
 - a. mit „normaler“ Bekleidung (0,6 clo): **Normal-Effektivtemperatur (NET)**. Anlässe zur Anwendung werden z. B. in der DGUV Empfehlung Hitzearbeiten (DGUV, 2022a) und in der DGUV Information 240-300 (DGUV, 2010) (vormals: BGI/GUV-I 504-30) beschrieben.
 - b. mit freiem Oberkörper: **Basis-Effektivtemperatur (BET)**. Die BET wurde im Steinkohlenbergbau angewandt und ist in der Klima-Bergverordnung (KlimaBergV, 1983) beschrieben.
 - Verrechnung von Klimagrößen
Ein Beispiel für die Verrechnung von Klimagrößen ist die **Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)**, welche z. B. in der DIN EN ISO 7243 (2017), DIN EN 27243 (1993) und in NATO (2013) beschreiben ist:
 - a. ohne direkte Einwirkung von Sonnenstrahlung
 - $WBGT = 0,7 \cdot t_{nw} + 0,3 \cdot t_g$
 - b. bei direkter Einwirkung von Sonnenstrahlung
 - $WBGT = 0,7 \cdot t_{nw} + 0,2 \cdot t_g + 0,1 \cdot t_a$
- mit:
- t_{nw} Temperatur eines natürlich belüfteten, befeuchteten Thermometers in °C
 - t_g Globetemperatur in °C
 - t_a Lufttemperatur in °C

Der WBGT ist in den U.S.A. weit verbreitet; in Deutschland wurde die Anwendung des WBGT von der BG Feinmechanik und Elektrotechnik für das Befahren von Dampfkesselanlagen unter Hitzeeinwirkung vorgegeben (BG Feinmechanik und Elektrotechnik 1997); in der DGUV Information 213-002 (2013) (vorher: BGI/GUV-I BGI 579, 2013) dient sie dazu, Wärmestrahlung als Parameter in die Klimabewertung einzubeziehen. Auch zur Beurteilung einer Hitzebelastung im Freien ist international der WBGT etabliert. Für den WBGT-Index gelten sog. Richtwerte (Expositionsrichtwerte), die in Abhängigkeit vom Arbeitsenergieumsatz und unter Berücksichtigung von Bekleidungsanpassungswerten (CAV - Clothing Adjustment Value) Erträglichkeitsgrenzen aufzeigen (DIN EN ISO 7243, 2017).

2. Bei hoher Wärmestrahlung (wenn andere Klimaeinflussgrößen nicht berücksichtigt zu werden brauchen): Effektive Bestrahlungsstärke (relative Bestrahlungsstärke in W/m^2 bezogen auf eine angenommene Hauttemperatur von 32 °C); in der DGUV Information 213-002 (2013) sind Tabellen für Expositionszeiten bei gegebener Arbeitsschwere) angegeben.
3. Berechnung der Wärmebilanz des arbeitenden Menschen z. B. Predicted Heat Strain (PHS, vgl. DIN EN ISO 7933, 2004):
Es wird ein komplexes Modell der Wärmebilanz des Menschen berechnet: unter Annahme der erforderlichen Schweißrate für einen Ausgleich der Wärmebilanz im Klima können Klimafaktoren und personenbezogene Größen wie Arbeitsschwere, Bekleidungsisolierung und Akklimatisation zur Berechnung einer maximalen Expositionszeit einbezogen werden. Zur Berechnung ist im Anhang der o. g. Norm ein BASIC-Programm angegeben.

6.2 Gestaltungs- und Präventionsmaßnahmen bei Wärmebelastung

6.2.1 Arbeitsplatzgestaltung/ -organisation

6.2.1.1 Anpassung der Bekleidung

Die vielfältigen Funktionen einer Arbeitsbekleidung führen häufig zu einer Erhöhung der Wärmeisolierung, die bei der Beurteilung einer Hitzebelastung berücksichtigt werden muss (s. o.). Ist eine gefahrlose Reduzierung der Bekleidungsisolierung möglich, so kann auf diese Weise der Wärmeaustausch zwischen Organismus und Umgebung erleichtert werden.

6.2.1.2 Expositionsreduzierung

Eine Reduzierung der Einwirkung, d. h. eine Expositionsverringering gegenüber der direkten Sonneneinstrahlung, wird z. B. durch das Nutzen von vorhandenen Schattenflächen bzw. die Schaffung von Schatten durch Sonnensegel o. ä. erreicht.

6.2.1.3 Verlegung von Arbeitszeiten

Genauso trägt die Verlegung von Arbeitszeiten in Tagesstunden (oder ggfs. auch in Jahreszeiten) mit geringerer Sonneneinstrahlung zur Expositionsreduzierung bei.

6.2.2 Medizinisch orientierte Präventionsmaßnahmen

In vielen Arbeitsbereichen können die Auswirkungen von Hitze auf den menschlichen Körper durch die nachfolgenden medizinisch orientierten Präventionsmaßnahmen begrenzt werden.

6.2.2.1 Arbeitsmedizinische Prävention

Der Betriebsarzt ist immer in die Beurteilung der Arbeitsbedingungen in einer Gefährdungsbeurteilung und in die Beratung der Beschäftigten einzubeziehen (§5, ArbSchG, 1996).

Nach Vorgabe der Arbeitsmedizinischen Regel AMR 13.1 (2020) „Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können“ lösen extreme Außentemperaturen grundsätzlich nicht das Erfordernis einer Pflichtvorsorge aus. Diese Regelung darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass es bei Arbeiten im Freien sehr wohl zu Hitzeerkrankungen kommen kann (Epstein et al., 2012; Xiang, Bi & Hansen, 2014; Leyk et al., 2019). Daher wird dringend empfohlen, diese Erfahrung bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen und ggf. eine Vorsorge analog der Hitzeexposition in wärmebelasteten Innenräumen (ArbMedVV, 2008) vorzusehen.

Zur Prognose der Hitzetoleranz ist bisher kein einfaches Screeningverfahren etabliert. Eine reine Fahrrad-Ergometrie erlaubt diese Vorhersage nicht, da sie lediglich eine Kreislauffunktionsprüfung ist. Ein Hitzebelastungstest vor einer Hitzeexposition (Kennedy et al., 1986) oder eine Methode zur Untersuchung vormals hitzeerkrankter Personen vor einer erneuten Hitzeexposition (Epstein et al., 2012) erscheinen geeigneter.

6.2.2.2 Akklimatisation

Die physiologischen Anpassungen der Akklimatisation wie effektiveres Schwitzen, früheres Einsetzen des Reflexschwitzens, Vermehrung des zirkulierenden Blutvolumens, Steigerung des Herzschlagvolumens, Reduktion des Natriumgehalts des Schweißes um ca. 50 % (Buono et al., 2007; Kirby & Convertino, 1986) erhöhen die Fähigkeit des Organismus, seine Wärmebilanz auch bei größerer Wärmebelastung auszugleichen. So können Hitzeexpositionen deutlich länger mit Zeichen geringerer Beanspruchung bzw. auch höhere klimatische Belastungen ohne Dekompensation ertragen werden (Piekarski & Zerlett, 1993; Nielsen et al., 1993).

Eine initiale Akklimatisationsphase von 7 Tagen, in denen die Arbeitszeit oder die Arbeitsintensität verringert werden, scheint die größten Anfangsrisiken einer Hitzearbeit zu mindern. In der Regel kann nach etwa 10 Tagen ein ausreichender Schutz erzielt werden, aber auch ca. vier Wochen können für eine vollständige Akklimatisation notwendig sein. Individuelle Charakteristika und Akklimatisationsbedingungen haben Einfluss auf den Zeitbedarf und den Erfolg des Prozesses (Wenzel & Piekarski, 1985; Sawka et al., 2002). Bei hoher körperlicher Fitness verkürzt sich die Akklimatisationsdauer (Pandolf et al., 1977; Sawka et al., 2002).

Der erreichte Akklimatisationszustand bei einer gegebenen Hitzearbeit ist nicht von Dauer: Eine Unterbrechung der regelmäßigen Exposition kann schon nach einer Woche zu Akklimatisationseinbußen von ca. 50 % führen, bei drei Wochen ist ein kompletter Verlust möglich (Williams, Wynham & Morrison, 1967; Wenzel & Piekarski 1985). Eine pauschale Festlegung ist umstritten (Sawka et al., 2002). Personen mit einer hohen körperlichen Fitness erfahren geringere Einbußen; ebenso sind sie in der

Lage, Akklimatisationsverluste durch eine schnellere Reakklimatisation zu kompensieren (Pandolf et al., 1977).

6.2.2.3 Körperliche Leistungsfähigkeit

Das Risiko einer Hitzeerkrankung wird durch Übergewicht und zusätzlich durch geringe körperliche Leistungsfähigkeit erhöht (Gardner et al., 1996; Bedno et al., 2014). Daher sind die Vermeidung von Übergewicht und die Förderung einer guten körperlichen Leistungsfähigkeit wichtige Präventionsmaßnahmen. Trainierte Personen zeigen häufig mit einem frühen und effektiven Schwitzen sowie geringeren Herzschlagfrequenz- und Körperkerntemperaturanstiegen stärkere physiologische Effekte als Hitzeakklimatisierte und verfügen über eine schnellere Hitzeanpassungsfähigkeit als untrainierte Menschen (s. o.). Bei der Wahl der Trainingsbedingungen zeigt sich jedoch grundsätzlich: Training unter kühlen Klimabedingungen verändert die Hitzetoleranz per se nur wenig im Vergleich zum Training in der Hitze (Nielsen et al., 1993).

6.2.2.4 Flüssigkeitshaushalt

Eine regelmäßige und ausreichende Flüssigkeitsaufnahme ist Voraussetzung zum Erhalt der Gesundheit und der Leistungsfähigkeit. Idealerweise sollten die Trink- und Schweißmengen entsprechen. Bei entsprechender körperlicher Belastung können über eine gesamte Arbeitsschicht bei Hitzeakklimatisierten Schweißverluste von mehr als 1 l/h auftreten. Kurzfristig sind sogar größere Schweißraten möglich (vgl. Abschnitt 3.3.1).

Erfahrungsgemäß wird jedoch häufig zu wenig getrunken, und es entsteht eine unerwünschte „freiwillige“ Dehydratation, da das Durstgefühl beim Menschen erst verzögert einsetzt.

Allgemeine Trinkempfehlungen von 150 – 250 ml pro ¼ h werden für die meisten Hitzeexpositionen zutreffen. Dabei können bei schwerer körperlicher Arbeit in der Hitze Gesamtmengen bis zu 8 l in einer Arbeitsschicht und u. U. weitere 4 l durch gezieltes Nachtrinken über den ganzen Tag notwendig werden (NATO, 2013). Häufig wird das über die Arbeitswoche aufgebaute Defizit aber erst am arbeitsfreien Wochenende wieder ausgeglichen.

Eine ausreichende Flüssigkeitsaufnahme ist durch die Urinfarbe (je heller, desto besser) kontrollierbar. Ein bereits dunkelgelber Urin ist ein Warnsignal und zeigt die Konzentrierung des Urins aufgrund einer ausgeprägten Antidiurese, die bei Wassermangel durch eine erhöhte ADH-Ausschüttung entsteht.

6.2.2.5 Elektrolyte

Eine ausreichende, ausgewogene Ernährung beugt einem Elektrolytmangel vor (Sawka & Montain, 2000). Sollte trotzdem in den ersten Tagen einer Hitzearbeit bei unzureichender Hitzeakklimatisation ein Elektrolytmangel (vor allem Kochsalz) entstehen, so bietet in dieser Zeit ein etwas vermehrtes Kochsalzangebot (Cooper, 1997) eine Abhilfe.

Die körpereigenen Kalium- und Magnesiumspeicher sind in der Regel ausreichend (Costill & Miller, 1980; Maughan, 2003), sodass die Abgabe dieser Elektrolyte mit dem Schweiß nur im Ausnahmefall ein elektrolythaltiges Hitzegetränk zur Supplementierung erfordert.

Mit zunehmender Akklimatisation sinken die Schweißosmolarität und damit der Mineralstoffverlust, sodass in der Regel bei ausreichender, ausgewogener Nahrungsvorsorgung auch auf eine Supplementierung von Kochsalz weitgehend verzichtet werden kann.

6.2.2.6 Energiebedarf/ Ernährung

Auch in der Hitze ist der Energiebedarf vorrangig von der Arbeitsschwere abhängig und wird nur im geringen Maße durch eine hitzebedingte ineffektive Arbeitsweise erhöht. Kalorimetrisch ist eine Zunahme des Energieumsatzes um 7 % bei einer Erhöhung der Körperkerntemperatur um 1 °C nachweisbar (Kampmann & Bröde, 2015), jedoch erscheint dieser Einfluss in Anbetracht des verbreiteten Ernährungsverhaltens vernachlässigbar, sodass bei einer Hitzeexposition im Allgemeinen keine Steigerung der Energiezufuhr über die Nahrung empfohlen werden sollte.

6.2.2.7 Arbeitsschwere

Zur Vermeidung einer übermäßigen metabolischen Wärmeentwicklung sollte die Arbeitsschwere an das Klima angepasst werden. Dabei ist die Orientierung an erfahrenen Beschäftigten hilfreich. Ohne äußere Zwänge passen sie ihre Arbeitsintensität selbständig an das eigene Beanspruchungsempfinden an und vermeiden oder verzögern durch dieses sog. self-pacing eine übermäßige Erwärmung oder vorzeitige Ermüdung (Kampmann, 2000; Miller et al., 2011).

6.2.2.8 Arbeitszeit-Pausen-Regime

Das Arbeitszeit-Pausen-Regime muss dem Klima und der Arbeitsschwere entsprechen: Aus physiologischer Sicht (Wärmebildung und -speicherkapazität des Körpers vs. Entwärmung) sind kurze Arbeitsphasen und häufige angemessene längere Arbeitsunterbrechungen zweckmäßig (NATO, 2013). Im trockenen Klima kann bei einer Lufttemperatur von 35 – 45 °C eine Unterbrechung von 15 oder 20 min pro Stunde notwendig sein (Pangert, Bux & Frener, 2003). In den Arbeitspausen muss dem erwärmten Körper in geeigneter Umgebung (Schatten oder kühlere Bereiche) Gelegenheit zur Abkühlung gegeben werden (isolierende Bekleidung öffnen oder ablegen) und auch in diesen Phasen sollten Flüssigkeitsverluste durch Schwitzen weiterhin durch Trinken ausgeglichen werden.

6.2.2.9 Entwärmung

Zur effektiven Entwärmung ist die Immersion der Arme in kühles Wasser geeignet (DeGroot et al., 2013).

6.2.2.10 Reduzierung der Einwirkung von UV-Strahlung

Die natürliche UV-Strahlung hat kanzerogene Wirkung und erfordert für Beschäftigte im Freien weitergehende Maßnahmen (Drexler, 2017a). Die Einwirkung kann durch Maßnahmen der Arbeitsplatzgestaltung/ -organisation (s. o.), durch hautbedeckende Bekleidung (einschließlich Kopfbedeckung, Sonnenschutzbrille) und die Anwendung

von Sonnenschutzmitteln (unbedeckte Haut und Lippen) reduziert werden (Drexler, 2017b; Leitlinienprogramm Onkologie, 2021).

6.2.3 Hitzestressmanagement

Die Auswirkungen einer Wärmebelastung auf den Organismus sind komplex. Gesundheit und Leistungsfähigkeit sind nicht allein durch einzelne Gestaltungsmaßnahmen zu gewährleisten, sondern erfordern eine vernetzte Umsetzung der Präventionsempfehlungen im Sinne eines Hitzestressmanagements (NATO, 2013), das beginnend mit der arbeitsmedizinischen Prävention, der Akklimatisation usw. alle dargestellten Maßnahmen beinhaltet. Ergänzend gehören dazu auch die geeignete Informationsvermittlung und Schulung aller Beteiligten.

7	Kernaussage
Gesundheit und Leistungsfähigkeit bei Wärmebelastung sind nicht allein durch einzelne Gestaltungsmaßnahmen zu gewährleisten, sondern erfordern eine übergreifende Festlegung und Durchführung von Präventionsmaßnahmen wie arbeitsmedizinische Prävention, Akklimatisation.	
Konsensstärke: starker Konsens	

7	Empfehlung	↑↑
Die physiologischen Anpassungen der Akklimatisation verbessern wesentlich die Erträglichkeit von Hitzebelastungen. Wir empfehlen eine Akklimatisationsphase von mindestens 7 Tagen, in denen die Arbeitszeit und/oder die Arbeitsintensität verringert werden. Hinweis: Eine Unterbrechung der Hitzeexposition kann schon nach einer Woche zu erheblichen Einbußen führen, bei drei Wochen ist ein kompletter Akklimatisationsverlust möglich.		
Konsensstärke: starker Konsens		

6.3 Wärmebelastung durch Schutzbekleidung

6.3.1 Wirkung von Schutzbekleidung

Schutzbekleidung soll den Körper vor chemischen, physikalischen oder biologischen Einwirkungen bewahren. Häufig hat diese Bekleidung ein hohes Gewicht und erschwert zudem die Bewegungen eines/r Trägers*in. Die Folge ist eine vermehrte Muskelarbeit mit erhöhter Wärmebildung (Dorman & Havenith, 2009).

Gleichzeitig beeinträchtigt die thermische Isolation dieser Bekleidung die Konvektion, die Konduktion, die Radiation und vor allem die Evaporation, den wichtigsten Entwärmungsmechanismus des arbeitenden Menschen unter Hitzebelastung.

Vergleichbar einer Hitzebelastung im Umgebungsklima (s. o.) kann es daher auch im Mikroklima einer Schutzbekleidung zu klimatischen Belastungen mit den Folgen einer

eingeschränkten körperlichen Leistungsfähigkeit und einer gesundheitlichen Gefährdung durch anstrengungsbedingte Überhitzungen bis hin zum Hitzschlag (Leyk et al., 2019) kommen (s. Kap.3.3).

Das Ausmaß der jeweiligen thermischen Isolation einer Schutzbekleidung ist abhängig vom Körperbedeckungsgrad, der Gestaltung, den verwendeten Materialien u. v. a. m..

6.3.2 (Arbeitsplatz-) Gestaltung

6.3.2.1 Ergonomische Gestaltung von thermisch isolierender Schutzbekleidung

Schutzbekleidung muss ergonomischen Anforderungen genügen, um nicht durch eine unzumutbare Gestaltung die Muskelarbeit und als Folge die metabolische Wärmeentwicklung zu steigern. Die Eignung der Bekleidung kann nach Festlegung eines ergonomischen Anforderungsprofils mit den Mindestkriterien *Kompatibilität, Passform, Handhabung und Eignung im praktischen Gebrauch* geprüft werden.

6.3.2.2 Entwärmung durch Körperkühlsysteme

Langandauernde Arbeiten (deutlich über 30 min) in isolierender Schutzbekleidung, die den Wärmeaustausch zwischen dem/der Träger*in und der Umgebung erheblich beeinträchtigt, sind nur mit Körperkühlsystemen vorstellbar: Kühlwesten und kühlmitteldurchströmte Unterziehbekleidung bergen allerdings die Gefahr der lokalen Vasokonstriktion, die die Hautdurchblutung und damit Wärmeabgabe des Blutes an die Umgebung einschränkt.

Als wirkungsvoll hat sich die Unterstützung der natürlichen Thermoregulation durch die Förderung der Schweißverdunstung erwiesen (Glitz et al., 2015). Dazu werden die Träger*innen thermisch isolierender Schutzbekleidung im Mikroklima mit großen Mengen konditionierter (d. h. vor allem trockener) Luft versorgt. Die Belüftung mit Umgebungsluft eignet vor allem aufgrund der Wasserdampfbeladung nur sehr bedingt.

6.3.3 Medizinisch orientierte Präventionsmaßnahmen

6.3.3.1 Arbeitsmedizinische Prävention

Der Betriebsarzt ist immer in die Beurteilung der Arbeitsbedingungen in einer Gefährdungsbeurteilung und in die Beratung der Beschäftigten einzubeziehen (§5 ArbSchG, 1996).

Wird bei der Gefährdungsbeurteilung festgestellt, dass eine extreme Hitzebelastung zu einer besonderen Gefährdung führen kann (vgl. Kap. 4. 3), ist eine arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge notwendig (ArbMedVV, Anhang Teil 3, Abs. 1, Nr. 1 sowie AMR 13.1). Beim Tragen von Atemschutzgeräten der Gruppen 2 und 3 ist diese ebenfalls vorgeschrieben (ArbMedVV, Anhang Teil 4, Abs. 1, Nr. 1).

Eine einfache Screeningmethode zur Prognose der Hitzetoleranz im Mikroklima thermisch isolierender Schutzbekleidung ist bisher nicht etabliert. Eine reine Fahrrad-Ergometrie erlaubt diese Vorhersage nicht, da sie lediglich eine Kreislauffunktionsprüfung ist. Stattdessen besteht ein Vorschlag für eine Fahrradergometrie in einem wasserdampfdurchlässigen Overall (Kenney et al., 1986). In jüngerer Zeit befinden sich weitere Möglichkeiten eines geeigneten Tests in der Diskussion (McLellan & Havenith 2016).

6.3.3.2 Akklimatisation und körperliche Leistungsfähigkeit

Die protektive Wirkung einer Akklimatisation wird für das Tragen thermisch isolierender Schutzbekleidung, die keine Schweißverdunstung zulässt, zurückhaltend diskutiert (Cheung, McLellan & Tenaglia, 2000; McLellan, Daanen & Cheung, 2013). Hierzu führt die Überlegung, dass die gesteigerte Schweißrate von Akklimatisierten in thermisch isolierender Schutzbekleidung nicht oder nur gering zur evaporativen Entwärmung beitragen kann und stattdessen den Flüssigkeitshaushalt belastet (Aoyagi, McLellan & Shepard, 1994; Chang & Gonzalez, 1999).

Wie bei jeder Hitzeexposition trägt eine gute kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit von Schutzanzugträger*innen dazu bei, den Hitzestress zu kompensieren. Zusätzlich verhindert eine gute physische Leistungsfähigkeit frühzeitige Ermüdung durch das Gewicht und die Bewegungseinschränkungen der Schutzbekleidung. Ein regelmäßiges Training von Einsatzkräften in ihren Schutzanzügen unter einsatznahen Bedingungen wird empfohlen.

10	Empfehlung	↑↑
Wir empfehlen, dass Einsatzkräfte regelmäßig in ihren Schutzanzügen unter einsatznahen Bedingungen trainieren, um sich auf die Einschränkungen der Schutzbekleidung einzustellen.		
Konsensstärke: starker Konsens		

6.3.3.3 Flüssigkeitshaushalt

Eine regelmäßige und ausreichende Flüssigkeitsaufnahme ist Voraussetzung zum Erhalt der Gesundheit und der Leistungsfähigkeit in thermisch isolierender Schutzbekleidung (Cheung & McLellan, 1998; McLellan, Daanen & Cheung, 2013). Idealerweise sollten die Trink- den Schweißmengen entsprechen.

Während des Einsatzes in thermisch isolierender Schutzbekleidung sind Schweißverluste von weit über 1 l/h möglich. Kurzfristig können höhere Schweißraten auftreten. Ein/e Schutzbekleidungsträger*in muss vor Beginn der Tätigkeit zum Ausgleich des Flüssigkeitshaushalts ausreichend getrunken haben, um einen Einsatz nicht bereits mit einem Flüssigkeitsdefizit zu beginnen.

Während des Einsatzes setzt das Durstgefühl beim Menschen erst verzögert ein und es ist häufig keine kontaminationsfreie Flüssigkeitsaufnahme möglich. Die Folge ist eine Dehydratation, die die Fähigkeit zur Hitzestresskompensation verringert (Cheung & McLellan, 1998). Dieses kann verhindert werden, wenn Schweißverluste kontinuierlich durch regelmäßiges Trinken ausgeglichen werden. Erlauben die Arbeitsbedingungen ein kontaminationsfreies Trinken, sollten die Flüssigkeitsmengen bis zu 250 ml pro ¼ h betragen. Kommt es u. U. trotzdem zu einem Flüssigkeitsdefizit, muss es nach dem Einsatz ausgeglichen werden.

Werden Kurzzeiteinsätze (max. 30 min) mit ausgeglichenem Flüssigkeitshaushalt begonnen, kann auf eine Flüssigkeitszufuhr während des Einsatzes verzichtet werden und die Rehydratation anschließend erfolgen.

6.3.3.4 Elektrolyte

Die Schweißabgabe geht mit einem Elektrolytverlust einher. Eine ausreichende, ausgewogene Ernährung beugt einem Elektrolytmangel bei Hitzeexposition jedoch vor (Sawka & Montain, 2000). Entsprechend sollten die körpereigenen Elektrolytvorräte ausreichen, um den Verlust bei einzelnen kurzzeitigen Hitzeexpositionen (max. 30 min.) in thermisch isolierender Schutzbekleidung zu kompensieren.

Das gilt insbesondere für die Kalium- und Magnesiumspeicher des Organismus (Costill & Miller, 1980; Maughan 2003), sodass die Abgabe dieser Elektrolyte mit dem Schweiß nur im Ausnahmefall ein elektrolythaltiges Hitzegetränk zur Supplementierung erfordert.

Sollten bei wiederholten, längeren Einsätzen (deutlich über 30 min) in Schutzbekleidung mit hohen Schweißraten (s. o.) trotzdem ein Elektrolytmangel (vor allem Kochsalz) in den ersten Tagen der Akklimatisation auftreten, so bietet in dieser Zeit ein vermehrtes Kochsalzangebot (Cooper, 1997) eine Abhilfe.

Mit zunehmender Akklimatisation sinken die Schweißosmolarität und damit der Mineralstoffverlust, sodass in der Regel bei ausreichender, ausgewogener Nahrungsversorgung auch auf eine Supplementierung von Kochsalz weitgehend verzichtet werden kann.

6.3.3.5 Arbeitsschwere

Zur Vermeidung einer übermäßigen metabolischen Wärmeentwicklung sollte die Arbeitsschwere an das Mikroklima in jeder thermisch isolierenden Schutzbekleidung angepasst werden. Von Hitzeexpositionen im Umgebungsklima ist bekannt, dass erfahrene Beschäftigte ihre Arbeitsintensität selbständig am eigenen Beanspruchungsempfinden ausrichten und durch dieses sog. self-pacing eine übermäßige Erwärmung oder auch vorzeitige Ermüdung vermeiden oder verzögern (Kampmann, 2000; Miller et al. 2011). Diese Verhaltensanpassung ist auch beim Tragen thermisch isolierender Schutzbekleidung zu beobachten. Dementsprechend muss für das Tragen von thermisch isolierender Schutzbekleidung ein Arbeitszeitzuschlag eingeplant werden.

6.3.3.6 Arbeitszeit-Pausen-Regime

Bei Schutzanzügen, die noch einen Wärmeaustausch mit der Umgebung zulassen, muss ein geeignetes Arbeitszeit-Pausen-Regime ausgewählt werden (NATO, 2013). Kurze Arbeitsphasen und häufige längere Arbeitsunterbrechungen können nötig sein. Dabei kann die Länge der Unterbrechung die Arbeitszeiten unter belastenden Bedingungen (Umgebungsklima, Arbeitsschwere etc.) um mehr als das Dreifache übersteigen.

In den Arbeitspausen muss dem erwärmten Körper in geeigneter Umgebung (Schatten oder kühlere Bereiche) Gelegenheit zur Abkühlung gegeben werden (thermisch isolierende Bekleidung in sicherer Umgebung öffnen oder ablegen). Flüssigkeitsverluste durch Schwitzen sollten durch Trinken ausgeglichen werden (s. o.).

6.3.3.7 Tragezeitbegrenzungen

Für vollständig thermisch isolierende Schutzanzüge (kombiniert mit Atemschutzgeräten), die keinen Wärmeaustausch zwischen dem/der Träger*in und der Umgebung zulassen (d.h. „mit verhindertem Wärmeaustausch“), bestehen Tragezeitbegrenzungen von maximal 30 min (DGUV Regel 112-189, 2007; DGUV Regel 112-190, 2011). In Abhängigkeit vom Umgebungsklima oder der Arbeitsschwere kann eine weitere Reduzierung notwendig sein.

Nach einer Exposition ist eine Erholungszeit von mind. 90 min einzuhalten und es sind nicht mehr als zwei Einsätze pro Schicht möglich. Diese Schichten sind auch nur dreimal pro Woche ausführbar (DGUV Regel 112-190, 2011).

Je nach verwendetem Atemschutzgerät erlaubt die DGUV Regel 112-190 (2011) für Schutzanzüge „mit Hitzestress verringerten Eigenschaften“¹³ (d. h. geringere Wärmebelastung als in vollständig thermisch isolierenden Schutzanzügen, s. o.) längere Tragezeiten.

Nach Modellabschätzungen am Beispiel von Infektionsschutzbekleidung (Kuklane et al., 2015; Potter, Gonzales & Xu, 2015) besteht aber auch hier die Gefahr einer anstrengungsbedingten Überhitzung (Leyk et al., 2019). Daher ist in Abstimmung mit dem Betriebsarzt die Festlegung konkreter Tragezeiten im Rahmen einer tätigkeitsbezogenen Gefährdungsbeurteilung dringend angeraten. Dazu können Trageversuche erforderlich sein.

6.3.3.8 Entwärmung

Zur effektiven Entwärmung von Schutzanzugträger*innen ist unmittelbar nach Ablegen der thermisch isolierenden Schutzbekleidung die Immersion der Arme in kühles Wasser geeignet (DeGroot et al., 2013).

6.3.4 Hitzestressmanagement

Die Auswirkungen einer Wärmebelastung durch Schutzbekleidung sind komplex. Gesundheit und Leistungsfähigkeit sind nicht allein durch einzelne Gestaltungsmaßnahmen zu gewährleisten, sondern erfordern eine vernetzte Umsetzung der Präventionsempfehlungen im Sinne eines Hitzestressmanagements (NATO, 2013), das beginnend mit der ergonomischen Gestaltung der Schutzbekleidung, der möglichen Entwärmung über Körperkühlsysteme, der arbeitsmedizinischen Prävention usw. alle dargestellten Maßnahmen beinhaltet. Ergänzend gehören dazu auch die geeignete Informationsvermittlung und Schulung aller Beteiligten.

¹³ Das Zitat ist der angegebenen Quelle [DGUV Regel 112-190: Benutzung von Atemschutzgeräten. DGUV (Hrsg.) Dezember 2011] entnommen. Vermutlich ist jedoch „... mit Hitzestress verringerten Eigenschaften ...“ gemeint.

8	Kernaussage
<p>Das Tragen von Schutzbekleidung ist häufig mit einer vermehrten Muskelarbeit und in der Folge mit einer erhöhten metabolischen Wärmebildung verbunden. Gleichzeitig beeinträchtigt die thermische Isolation vor allem die Schweißverdunstung, den wichtigsten Entwärmungsmechanismus der Beschäftigten bei Hitzearbeit.</p> <p>Vergleichbar einer Hitzebelastung im Umgebungsklima kann es daher auch im Mikroklima einer Schutzbekleidung zu Einschränkungen der Leistungsfähigkeit und zur gesundheitlichen Gefährdung durch anstrengungsbedingte Überhitzungen bis hin zum Hitzschlag kommen.</p>	
Konsensstärke: starker Konsens	

11	Empfehlung	↑↑
<p>Zur Vermeidung einer übermäßigen metabolischen Wärmeentwicklung empfehlen wir, die Arbeitsschwere an das Mikroklima einer thermisch isolierenden Schutzbekleidung anzupassen. Erfahrene Beschäftigte richten ihre Arbeitsintensität am eigenen Beanspruchungsempfinden aus (self-pacing) und vermeiden oder verzögern damit eine übermäßige Erwärmung oder vorzeitige Ermüdung.</p>		
Konsensstärke: starker Konsens		

7 Beurteilung und Gestaltung von kältebelasteten Arbeitsbereichen

Der vorliegende Abschnitt soll die Einflussfaktoren und Modelle zur thermischen Belastung bei Arbeiten sowohl in kalten Innenräumen als auch im Freien darstellen. Ebenso wird auf die erforderliche Bekleidungskombination eingegangen, die den Arbeitnehmer vor der unvermeidbaren Kälte und damit der Abweichung vom thermischen Behaglichkeitsbereich schützen soll. Auf besondere spezifische Wirkungen im Zusammenhang mit bestimmten meteorologischen Erscheinungen (z. B. Niederschlag) wird in dieser Leitlinie nicht eingegangen.

7.1 Einflussfaktoren und Modelle

7.1.1 Physikalische Einflussgrößen

Entsprechend der DIN EN ISO 6385 (2016) kann die Arbeitsumgebung eines Arbeitssystems durch die physikalischen, chemischen, biologischen, organisatorischen, sozialen und kulturellen Faktoren beschrieben werden, die den arbeitenden Menschen umgeben. Das Klima gehört dabei zu den physikalischen Faktoren und wird im Wesentlichen durch die Lufttemperatur [°C], die Luftfeuchtigkeit [%] und die Windgeschwindigkeit bestimmt. Die DIN 33403-5 (1997) klassifiziert Kältearbeitsplätze in Innenräumen entsprechend ihrer Lufttemperatur in fünf unterschiedliche Bereiche, die von +15 °C bis unter -30 °C reichen (vgl. Abb. 7-1). Die relative Luftfeuchte sollte entsprechend der DIN EN 15251 (2012) in Innenräumen zwischen 30 und 65 % liegen. Da allerdings mit sinkender Lufttemperatur auch die Wasserdampfaufnahmefähigkeit sinkt, ist die Luft bei sehr niedrigen Temperaturen bereits bei sehr geringen Mengen Wasserdampfgehalt gesättigt, so dass bspw. Arbeitsplätze bei -24 °C eine relative Luftfeuchte von 100 % aufweisen.

Das Zusammenwirken niedriger Lufttemperaturen und hoher Luftgeschwindigkeiten muss als wesentliches Problemfeld Berücksichtigung finden, da hierdurch die vom Menschen „gefühlte Temperatur“ merklich abnimmt.

Tab. 7-1 zeigt, dass niedrige Temperaturen in Verbindung mit hohen Windgeschwindigkeiten auf der ungeschützten Haut (bspw. im Gesicht) einen deutlichen Abkühlungseffekt auslösen, der sogenannte Wind-Chill. Dies kann dazu führen, dass sich ab einer gefühlten Temperatur von -27 °C auf der ungeschützten Haut zu Erfrierungen führen kann (Danielsson, 1996). Auch wenn moderne Kälteanlagen die Windgeschwindigkeiten in Innenräumen auf ein Minimum reduzieren können, bewegen sich die Arbeiter oftmals auf Fahrzeugen ohne umschließende Fahrerkabine durch die kalten Räumlichkeiten, was wiederum zu erhöhten Luftgeschwindigkeiten führt. Wesentlich größere Probleme bringt jedoch das Arbeiten im Freien mit sich, da hohe Windgeschwindigkeiten gerade in den kalten Monaten des Jahres keine Seltenheit sind. Wenn technische und organisatorische Maßnahmen hier keine Abhilfe schaffen können, muss der arbeitende Mensch durch windabweisende und wärmende Kleidung vor dem Wetter geschützt werden.

Tab. 7-1: Wind-Chill-Index für unterschiedliche Luftgeschwindigkeit-Lufttemperaturkombinationen nach Oszcewski & Bluestein (2005). Ab einer gefühlten Temperatur von -27 °C auf der ungeschützten Haut können – insbes. in Abhängigkeit von Expositionsdauer – Erfrierungen auftreten.

Wind-Chill-Index									
Luftgeschwindigkeit	Lufttemperatur								
	+5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	
5 km/h ~ 1,4 m/s	+4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	gefühlte Temperatur [°C]
10 km/h ~ 2,8 m/s	+3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	
15 km/h ~ 4,2 m/s	+2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	
20 km/h ~ 5,6 m/s	+1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43	
25 km/h ~ 7,0 m/s	+1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	
30 km/h ~ 8,4 m/s	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46	

7.1.2 Arbeits- und Pausenzeiten für Arbeiten in kalter Umgebung

Die gesetzlichen und normativen Vorgaben zur menschengerechten Anpassung der Arbeits- und Pausenzeiten für Kältarbeitsplätze zeigen aktuell noch deutlichen Verbesserungsbedarf auf. Denn anders als unter klimaneutralen Arbeitsbedingungen, wo u.a. nach Strasser (1986) bekanntlich die Regel gilt, dass mehr verteilte Kurzpausen günstiger sind als wenige und dafür längere Pausen, muss Beschäftigten eine ausreichend lange Pause gewährt werden, die eine vollständige Wiedererwärmung garantiert. Die in §4 Arbeitszeitgesetz (ArbZG, 1994) verankerte Ruhepause von 30 Minuten bei einer Arbeitszeit von 6 bis 9 Stunden sowie die Begrenzung der ununterbrochenen Arbeitszeit auf maximal 6 Stunden ist sicherlich für das Arbeiten unter klimaneutralen Bedingungen akzeptabel, nicht aber für das Arbeiten in kalter Umgebung. Die DGUV Regel 100-500 (2008) (vorher BGR/GUV-R 500) gibt vor, dass Unternehmer*innen dafür Sorge zu tragen haben, dass sich Versicherte in Räumen mit Temperaturen unter -25 °C nicht länger als zwei Stunden ununterbrochen aufhalten und anschließend eine mindestens 15-minütige Aufwärmepause außerhalb des Tiefkühlraumes zu gewähren ist. Schwachstellen der DGUV Regel 100-500 (2008) bestehen vor allem in der niedrigen Temperatur, bei der die Regel überhaupt erst greift und des Weiteren darin, dass die Beschaffenheit und die Temperatur des Aufenthaltsbereiches nicht näher definiert sind. Wegzeiten zum Pausenbereich sowie die Zeiten zum An- und Ablegen der Schutzkleidung sind zudem bereits in der Aufwärmzeit enthalten. Die DIN 33403-5 (1997) gibt zum Vergleich die in Abb. 7-1 aufgeführten Empfehlungen zur maximal ununterbrochenen Kälteexpositionszeit und zur daran anschließenden Mindestdauer der Aufwärmzeit ab.

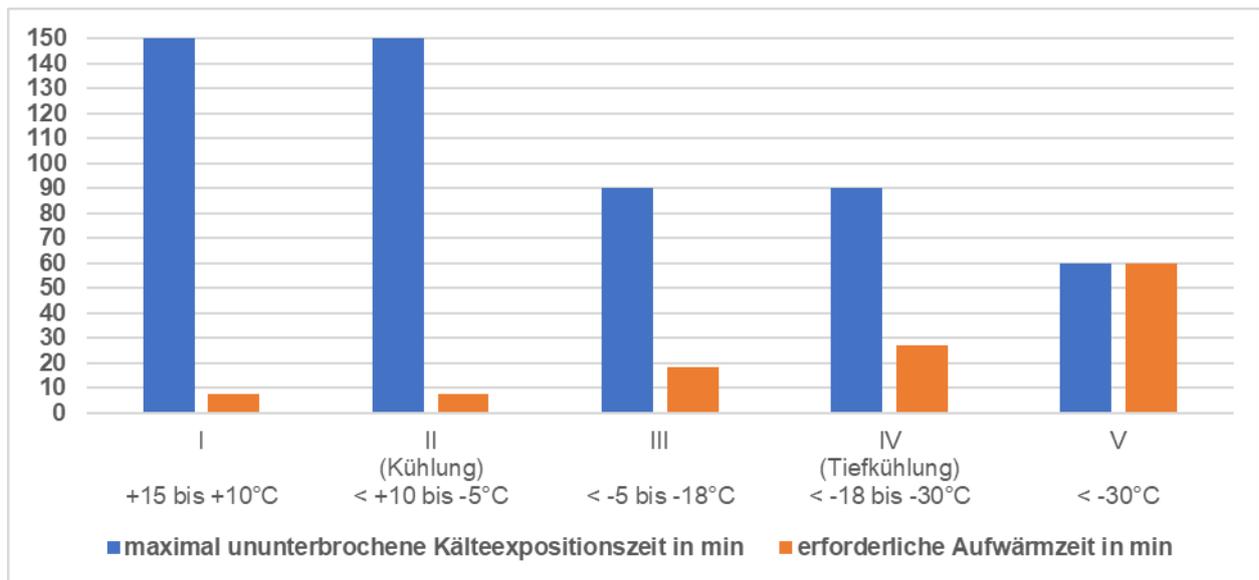


Abb. 7-1: Empfohlene Kälteexpositions- und Aufwärmzeiten für unterschiedliche Kältebereiche in Anlehnung an DIN 33403-5 (1997)

Die in der DIN 33403-5 (1997) empfohlenen Zeiten gelten allerdings nur für den an Kältearbeit gewöhnten Menschen und lassen zudem die zuvor beschriebenen negativen Einflüsse durch hohe Luftgeschwindigkeiten außer Acht. Demnach dürfen die Grenzwerte aus dieser Norm allenfalls für Arbeitnehmer*innen in Innenräumen gelten, die keiner Zugluft ausgesetzt sind. Aber auch für diesen Personenkreis scheinen die Angaben aus der Norm noch nicht hinreichend wissenschaftlich fundiert ermittelt worden zu sein, wie die Arbeiten von Groos (2018) und Groos et al. (2018) zeigen.

Auch die Temperatur in den Pausenräumen bzw. Aufenthaltsbereichen ist für den Wiedererwärmungsprozess von großer Bedeutung und leider nur unzureichend geregelt. Während die allgemein gültige Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV, 2004) in § 3.5(2) lediglich vorgibt, dass u.a. in den Pausenräumen eine gesundheitlich zuträgliche Temperatur herrschen muss, präzisieren die DIN 33403-5 (1997) und die ASR 3.5 (2010) die Angaben hierüber. Darin heißt es, dass die Temperatur in den Pausenräumen auf mindestens +21 °C festzulegen ist und zudem die Aufwärm- und Umkleieräume trocken und zugluftfrei sein sollten. Ebenso wird darauf hingewiesen, dass die Wiedererwärmung in der Pause durch zusätzliche Maßnahmen wie etwa der Einrichtung von Warmluftgeräten, Wärmeplatten zur Wiedererwärmung der Hände und Füße, einer Möglichkeit, die Kälteschutzkleidung abzulegen und das Angebot von warmen Getränken unterstützt wird. Mitarbeiter*innen, die in den Kältebereichen III bis V eingesetzt sind, sollte darüber hinaus zur Trocknung und Erwärmung der Kälteschutzkleidung sowie Kälteschutzstiefel und -handschuhe eine Trocknungseinrichtung zur Verfügung gestellt werden, wie z. B. in der ASR 4.1 Sanitäräume (2013) beschrieben.

7.1.3 Arbeitsmedizinische Vor- und Nachsorge für Arbeitnehmer in Kälte

Die Verpflichtung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vor Aufnahme der Tätigkeit und anschließend in regelmäßigen Abständen besteht gemäß ArbMedVV, Anhang Teil 3 erst, wenn der/die Arbeitnehmer*in sich dauerhaft in Räumlichkeiten aufhält, deren Temperatur unter -25 °C fällt. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass diese Vorsorgen für Arbeitnehmer*innen nicht zwingend notwendig sind, wenn die Umgebungstemperatur nicht dauerhaft unter -25 °C fällt. In Innenräumen werden solche Temperaturen

nur selten erreicht (vgl. folgender Abschnitt), für die Arbeitsplätze im Freien greift diese Regelung innerhalb der Bundesrepublik Deutschland überhaupt nicht¹⁴. Unabhängig von diesen Regelungen gibt es gemäß §5 (2) der ArbMedVV folgende Festlegung zu einer Angebotsvorsorge: „Erhält der Arbeitgeber Kenntnis von einer Erkrankung, die im ursächlichen Zusammenhang mit der Tätigkeit des oder der Beschäftigten stehen kann, so hat er ihm oder ihr unverzüglich Angebotsvorsorge anzubieten. Dies gilt auch für Beschäftigte mit vergleichbaren Tätigkeiten, wenn Anhaltspunkte dafür bestehen, dass sie ebenfalls gefährdet sein können.“ Weiterhin kann eine Wunschvorsorge beim Betriebsarzt gemäß §5a der ArbMedVV stattfinden: „Über die Vorschriften des Anhangs hinaus hat der Arbeitgeber den Beschäftigten auf ihren Wunsch hin regelmäßig arbeitsmedizinische Vorsorge nach § 11 des Arbeitsschutzgesetzes zu ermöglichen, es sei denn, auf Grund der Beurteilung der Arbeitsbedingungen und der getroffenen Schutzmaßnahmen ist nicht mit einem Gesundheitsschaden zu rechnen.“

7.2 Kältebelastungen in Innenräumen und im Freien

Kältebelastungen in Innenräumen sind vor allem im Bereich der Nahrungsmittelindustrie zu finden (bspw. Kühl- und Tiefkühlhäuser, Gefriertrockenräume sowie in der Fleisch- und Fischverarbeitung). Allein die im Jahr 2019 abgesetzten 3,8 Mio. Tonnen an tiefgefrorenen Lebensmitteln (vgl. dti, 2019) werden im Wesentlichen noch von Hand kommissioniert, wodurch eine Vielzahl an Arbeitnehmer*innen täglich extremer Kälte ausgesetzt ist. Die Verordnung über tiefgefrorene Lebensmittel (TLMV, 2007) schreibt hierzu in §2 vor, dass tiefgefrorene Lebensmittel an allen Punkten des Erzeugnisses ständig bei -18 °C oder tiefer gehalten werden müssen. Die technisch gekühlten Räume zur Einlagerung tiefgekühlter Lebensmittel werden meist in einem Temperaturbereich zwischen -18 °C und -24 °C betrieben, wodurch die Regelungen aus der DGUV Regel 100-500 (2008) und der Pflichtvorsorge gemäß ArbMedVV (Anhang Teil 3, 2013) keine Anwendung finden, da diese erst für Bereiche unter -25 °C Gültigkeit erlangen¹⁵ (siehe oben).

Grundsätzlich sollten technisch gekühlte Räume mit modernen Kälteanlagen ausgestattet sein, die den Arbeitnehmer*innen nicht zusätzlich durch das Auftreten von Zugluft, Dampfschwaden, Eisdecken und Eisstalagmiten belasten.

Den Vorteil technisch gekühlter Räume, dass bis auf die notwendige Außentemperatur die weiteren Parameter meist anpassbar sind, bietet das Arbeiten im Freien nicht. Zu den kältebelasteten (und je nach Jahreszeit auch hitzebelasteten) Arbeitsplätzen zählen u.a. der Hoch- und Tiefbau, die Land- und Forstwirtschaft, der Gartenbau, die Fischerei und die Erdölförderung. Neben der Umgebungstemperatur sind die exponierten Arbeitnehmer*innen einer Vielzahl weiterer Einflüsse ausgesetzt, die eine wesentliche Mehrbelastung darstellen. Es ist sicherlich schwierig, allgemeingültige Empfehlungen für solche Arbeitsplätze abzugeben, aber auch hier gilt der Grundsatz, dass der arbeitende Mensch durch geeignete Kälteschutzkleidung und eine der Gesundheit

¹⁴ Eine Anpassung der ArbMedVV wird derzeit (Stand Februar 2022) im Unterausschuss I des Ausschusses für Arbeitsmedizin (AfAMed) diskutiert.

¹⁵ Eine Angebotsvorsorge für Kältearbeiten ab -18° C wird derzeit (Stand Februar 2022) im Unterausschuss I des Ausschusses für Arbeitsmedizin (AfAMed) diskutiert.

zuträgliche Regelung der Arbeits- und Pausenzeiten bestmöglich vor dem Umgebungsklima zu schützen ist.

7.3 Erforderliche Bekleidungsisolation

Wenn eine durch niedrige Umgebungstemperaturen ausgehende Gefährdung weder durch technische noch organisatorische Maßnahmen ausgeschlossen werden kann, stellt die persönliche Schutzausrüstung (Kälteschutzkleidung) eine geeignete Maßnahme zum Schutz vor Kälte dar. Nach DIN 33403-5 (1997) sind Schutzmaßnahmen gegen kalte Umgebungstemperaturen bereits im Kältebereich II (+10 °C bis -5 °C) zu treffen. Dabei hat sich der Arbeitgeber bei der Auswahl der Kälteschutzkleidung an die Arbeitsschutzvorgaben zu halten, die eng mit den technischen Standards verbunden sind, was aus § 2 der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzungsverordnung, 1996) hervorgeht.

Wie jegliche andere Schutzkleidung, muss auch Kälteschutzkleidung allgemeinen Anforderungen genügen, die in der DIN EN ISO 13688 (2013) definiert sind. Da bei der Auswahl der Materialien für Kälteschutzkleidung auf solche mit einem geringen Wasserdampf Widerstand und/oder hoher Luftdurchlässigkeit zu achten ist, werden die Prüfverfahren und Anforderungen für den Wärme- und Wasserdampf Widerstand von Materialien und Kleidungsstücken zudem in der Norm DIN EN ISO 11092 (2014) geregelt.

Die kältespezifische Norm DIN EN 342 (2004) befasst sich in Ergänzung zu den allgemeinen Anforderungen aus der DIN EN ISO 13688 (2013) mit den speziellen Anforderungen an Schutzkleidung gegen Kälte und dient damit auch als Grundlage für die Prüfverfahren für Kälteschutzkleidungssysteme. Die gemessenen Eigenschaften und deren Klassifikation sollen einen angemessenen Schutzgrad unter Berücksichtigung unterschiedlicher Gebrauchsbedingungen sicherstellen. Die Wärmeisolation und die Luftdurchlässigkeit der Bekleidung sind dabei die zu prüfenden und auf dem Etikett anzugebenden Eigenschaften. Die Wärmeisolation wird dabei mittels einer beweglichen Thermopuppe ermittelt, deren Anforderungen und Prüfverfahren in der DIN EN ISO 15831 (2004) geregelt sind. Die Leistungsanforderungen und Prüfverfahren für Kleidungsstücke zum Schutz gegen kühle Umgebungen (über -5 °C) werden in der DIN EN 14058 (2004) geregelt.

Neben der allgemeinen Abkühlung, anhand welcher die erforderliche Isolation der Bekleidung (IREQ) ausgelegt wird, kommt oftmals auch eine lokale Abkühlung bspw. der Extremitäten hinzu. In der DIN EN 511 (2006) sind hierzu die Leistungsanforderungen und Prüfverfahren für Schutzhandschuhe gegen konvektive Kälte oder Kontaktkälte bis -50 °C festgelegt. Das Prüfverfahren zur Bestimmung der Kälteisolation eines Schuhs wird in der DIN EN ISO 20344 (2013) beschrieben.

Bei der Auswahl der Kälteschutzkleidung ist unbedingt darauf zu achten, dass immer die optimale statt der maximalen Isolation gewählt wird, da das mit einer zu hoch gewählten Isolation möglicherweise einhergehende Schwitzen die Isolation der Kleidung in zunehmendem Maße beeinträchtigen kann (vgl. DIN EN 342, 2004). Entsprechend der DIN EN ISO 11079 (2008) wird daher empfohlen, dass die erforderliche Isolation der Bekleidung zu ermitteln ist, bei der das thermische Gleichgewicht des Körpers bei festgelegten Niveaus der physiologischen Beanspruchung aufrechterhalten werden

kann. Dieser Wert wird als $IREQ_{neutral}$ bezeichnet und wird mittels der körpereigenen Wärmeproduktion (Energieumsatz in Watt pro m^2 Körperoberfläche) sowie der Umgebungstemperatur ($^{\circ}C$) ermittelt. Der daraus resultierende Wärmeisolationswert wird in der Einheit clo (clothing unit) oder in der gebräuchlicheren SI-Einheit $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ angegeben, wobei 1 clo dem Wert $0,155 m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ entspricht.

Um für eine gegebene klimatische Belastung die passende Wärmeisolation der Schutzausrüstung ($IREQ_{neutral}$) zu ermitteln, wurde die Norm DIN EN ISO 11079 (2008) herausgegeben. Mittels der Tabellen aus dem normativen Anhang kann in Abhängigkeit von der operativen Temperatur und bestimmten Aktivitätsniveaus bei einer Windgeschwindigkeit von 0,4 m/s der $IREQ_{neutral}$ ermittelt werden. Wie die Arbeiten von Groos (2018) und Groos et al. (2018) zeigen, sind die nach der DIN EN ISO 8996 (2004) zu bestimmenden Aktivitätsniveaus als auch die letztlich daraus resultierenden Isolationswerte auf Basis der aktuellen Normenwerke stark fehlerbehaftet. Demnach ist zu empfehlen, dass bei der Auswahl von Kälteschutzkleidung der Fokus auf qualitativ hochwertigen Produkten liegt, die für den Einsatzzweck den bestmöglichen Schutzgrad aufweisen.

7.4 Forschungsprojekt Kältearbeit mit Praxistransfer

Aufgrund der hohen und stetig wachsenden Anzahl an Beschäftigten in der Kühl- und Tiefkühllogistik wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens die Belastung und Beanspruchung bei berufsbedingten Kälteexpositionen untersucht (vgl. Penzkofer, 2013; Groos 2018). Hierzu führten insgesamt 60 Versuchspersonen (differenziert nach Alter und Geschlecht) Ganztagsanalysen in einem gewerblichen Warenverteilzentrum durch. Dabei waren Arbeitsphasen von 80, 100 und 120 Minuten mit variablen Pausenzeiten (20, 25 und 30 min) bei $+3^{\circ}C$ und $-24^{\circ}C$ zu absolvieren. Währenddessen wurden die Herzschlagfrequenz und die Hautoberflächentemperatur kontinuierlich sowie die Körperkerntemperatur und der Blutdruck diskontinuierlich erfasst. Die Messung des Energieumsatzes rundete die objektive Datenerhebung ab, die durch eine subjektive Befragung vor, während und nach den Arbeitsphasen ergänzt wurde. Zusätzlich wurden 128 Arbeitnehmer*innen aus 24 Tiefkühlzentren zu ihren subjektiv erlebten Auswirkungen von Kältearbeit systematisch befragt. Während der Arbeit bei $-24^{\circ}C$ wurden erhebliche arbeitsbedingte Erhöhungen der Herzfrequenz ermittelt, die in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht zwischen 30 und 40 Schlägen/min lagen. Die gleiche Arbeit bei $+3^{\circ}C$ führte – wohl auch bedingt durch die leichtere Kälteschutzkleidung – zu etwas niedrigeren Arbeitspulsen. Dennoch implizieren die Werte in Verbindung mit den Ergebnissen aus den Energieumsatzmessungen, dass die Arbeit des Kommissionierens in Kälte als schwere körperliche Arbeit angesehen werden muss. Die physisch schwere Arbeit des Kommissionierens kann jedoch aus Sicht des Kälteschutzes auch als positiv angesehen werden, da dies zwangsläufig mit einer erhöhten Wärmeproduktion einhergeht. Trotzdem kam es zu empfindlichen Abkühlungen der Hautoberflächentemperaturen, insbesondere an den Händen und Füßen sowie im ungeschützten Gesicht. Auch die Körperkerntemperatur sank mit fortschreitender Kälteexposition kontinuierlich und erreichte mittlere Abnahmen um bis zu 2,1 K, basierende auf dem morgendlichen Ausgangswert. In Einzelfällen wurden sogar im Mittel um bis zu 3 K. Die Aufwärmepausen reichten in den meisten Fällen nicht aus um das morgendliche Ausgangsniveau wieder zu erreichen.

Durch die Ergebnisse aus der Feldstudie konnte aufgezeigt werden, dass Kommissionieren in tiefer Kälte zu einer hohen physischen Belastung und Beanspruchung führt,

die bis zum Erreichen der Abbruchkriterien in kältebelasteten Arbeitsbereichen (vgl. Abschnitt 3.2.6) führen kann. Nachweislich bestehen kaum signifikante alters- oder geschlechtsspezifische Nachteile. Vielmehr kann die Arbeitsfähigkeit durch individuelle und betriebliche Gesundheitsförderung beeinflusst werden. Hierzu gehören neben einer gesunden Ernährung und regelmäßiger körperlicher Aktivität auch der Verzicht auf Nikotin und nur mäßiger Konsum von Alkohol. Durch die Variation der Arbeits- und Pausenzeiten wurde auch deutlich, dass eine Optimierung der bestehenden Vorgaben zwingend notwendig ist. Zudem sind vor allem die Kälteschutzstiefel und Handschuhe weiter zu entwickeln, da die eingesetzte Kälteschutzkleidung nur bedingt vor der Kälte schützt.

7.5 Abschließendes Fazit zur Kältearbeit

Um Kältearbeitsplätze beurteilen zu können, müssen alle Faktoren berücksichtigt werden, welche die Klimabilanz des menschlichen Körpers beeinflussen. Grundsätzlich spielt der körpereigene Energieumsatz, der für die metabolische Wärmeerzeugung verantwortlich ist, eine wesentliche Rolle. So ist bspw. die eigentlich stark belastende körperlich schwere Arbeit in tiefer Kälte als begünstigend einzustufen. In Abhängigkeit vom Aktivitätsgrad und den Umgebungsbedingungen ist auch die optimale Bekleidungsisolierung zu wählen. Des Weiteren sollte die ununterbrochene Expositionsdauer ebenfalls in Abhängigkeit der Tätigkeit und der Umgebungsbedingungen begrenzt werden und die Länge der anschließenden Aufwärmphase derart ausgelegt werden, dass eine hinreichende Wiedererwärmung gewährleistet wird.

Neben diesen grundsätzlichen Einflussfaktoren, die durchaus in Grenzen anpassbar und somit optimierbar sind, spielen aber auch individuelle Faktoren eine Rolle. Insbesondere die körpereigene relative Wärmeerzeugung beeinflusst maßgeblich die Körperkerntemperatur und damit zwangsläufig auch die Hautoberflächentemperaturen. Das bedeutet, dass die individuelle Körpergröße und Körperzusammensetzung, die physische Konstitution sowie die Leistungsfähigkeit maßgeblich Einfluss auf die thermoregulatorischen Reaktionsmechanismen des menschlichen Körpers nehmen (vgl. Groos, 2018).

4	Empfehlung	↑↑
<p>Für die Arbeitsgestaltung in kältebelasteten Arbeitsbereichen empfehlen wir, dass</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsbereiche nicht kälter sind, als es betriebstechnisch unbedingt erforderlich ist, • verbindliche Regelungen für Arbeits- und Pausenzeiten geschaffen werden, wobei der Fokus auf einer möglichst kurzen Kälteexposition und einer möglichst langen Aufwärmphase liegen sollte, • Arbeitgeber in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und der Arbeitsschwere die bestmögliche Kälteschutzkleidung bereitstellen, • Arbeitgeber gewärmte Aufenthaltsbereiche sowie warme Getränke vorhalten. Wir schlagen vor, Kleider Trocknungsanlagen zu installieren sowie • Arbeitgeber den Einsatz neuer Technologien, die dazu beitragen die Kälteexpositionsdauer zu verringern, fördern. 		
<p>Konsensstärke: starker Konsens</p>		

8 Ausblick

- Der Klimawandel führt zu einem vermehrten Auftreten längerer Hitzeperioden im Sommer und zu Extremwetterlagen (z. B. Sturm, Niederschläge), wodurch es auch bei der Arbeit zu einer verstärkten Belastung und Beanspruchung der Beschäftigten kommen wird. Gebäude ohne Klimaanlage können trotz des sommerlichen Wärmeschutzes überwärmen. Intensive Sonnenstrahlung, hohe Lufttemperaturen und Niederschläge wirken im Freien direkt auf die Beschäftigten ein. Verschiedene Maßnahmen des staatlichen Arbeitsschutzes (z. B. Stufenmodell der ASR A3.5 „Raumtemperatur“ (2010) für Innenräume wirken dem entgegen. Für die Arbeit im Freien wird derzeit eine neue Arbeitsstättenregel erstellt, die den Anhang 5.1 der ArbStättV konkretisiert. Es sollen Beurteilungsmaßstäbe und Anforderungen für Schutzmaßnahmen dargestellt werden, insbesondere für Gefährdungen durch die Witterungsverhältnisse (z. B. solare UV-Strahlung, Niederschläge, Wind) und thermische Belastungen (Hitze und Kälte).
- Nach ArbMedVV ist eine Pflichtvorsorge für „Tätigkeiten mit extremer Kältebelastung ab Temperaturen von – 25° Celsius und kälter“ vorgeschrieben. Eine Angebotsvorsorge ist nicht vorgesehen. Zukünftig sollten Kriterien für eine Angebotsvorsorge bei über – 25° Celsius entwickelt werden. Es sollte geprüft werden, die arbeitsmedizinische Pflichtvorsorge auf Temperaturbereiche $\leq -18\text{ °C}$ auszuweiten¹⁶.

¹⁶ Eine Angebotsvorsorge für Kältarbeiten ab -18 °C wird derzeit (06.2022) im Unterausschuss I des Ausschusses für Arbeitsmedizin (AfAMed) diskutiert.

9 Wichtige Forschungsfelder/Forschungsfragen

Forschungsfeld 1: Aktualisierung von Bewertungsmaßstäben (Klimasummenmaßen)

Bisher wurden Bewertungsmaßstäbe (Klimasummenmaße) vor allem für stationäre Zustände entwickelt und sollten auf instationäre Zustände erweitert werden. Zudem haben sich die Zielgruppen erheblich erweitert. Bislang untersuchte Kollektive waren häufig eher männlich, jung, leistungsfähig und bestanden somit aus „robusteren“ Gruppen. Belastungen sollten zukünftig auch für unterschiedliche Kollektive der heutigen Arbeitswelt erfasst und es sollten auch die Auswirkungen von Vorerkrankungen berücksichtigt werden. Dafür sollten Probandenversuche mit diesen Aspekten berücksichtigenden Kohorten, längerer Versuchsdauer und größeren Stichproben durchgeführt werden. Der Fokus der Forschung sollte neben der körperlichen Leistungsfähigkeit um die geistige und kognitive Leistungsfähigkeit sowie die psychischen Belastungen erweitert werden.

Forschungsfeld 2: Erforschung thermischer Belastungen bei Sauerstoffmangel

Ergänzend zu Forschungsfeld 1 ist beim Arbeiten im freien Gelände in Höhenlagen zu berücksichtigen, dass speziell neben Kälte und Lufttrockenheit auch der Sauerstoffmangel eine Rolle spielen kann. Belastbarkeit und Thermoregulation sind dadurch zusätzlich gefordert. Mangels definierter, konstanter Bedingungen im Freien ist die Erforschung dieser kombinierten Belastungen schwierig. Spezielle Klimakammern ermöglichen die Simulation „realer“ Umweltbedingungen inklusive Sauerstoffmangels unter streng definierten Bedingungen, wodurch die Validität und Reproduzierbarkeit derartiger Untersuchungen erhöht wird.

Forschungsfeld 3: Förderung der Akklimatisation zur Kompensation von Hitzebelastungen

Der Klimawandel ist nicht nur mit langfristig höheren Wärmebelastungen verbunden, sondern schnell wechselnde Wetterlagen führen auch zu kurzfristigen Hitzewellen. Diese stellen eine besondere Herausforderung an die physiologische Kompensationsfähigkeit des Organismus dar, weil die wichtige zeitfordernde Akklimatisation nur unzureichend stattfinden kann. Davon sind alle Beschäftigten mit ihren unterschiedlichen individuellen Faktoren (Trainingszustand, chronische und akute Erkrankungen, Medikationen, Alter, Geschlecht u. v. a. m.) betroffen. Welche Empfehlungen können erarbeitet werden, die unter den veränderten Rahmenbedingungen die Akklimatisation als eine bedeutende Präventionsmaßnahme fördern? Zur Beantwortung dieser Frage werden nicht nur physiologisch orientierte Untersuchungen zur Akklimatisationsfähigkeit unter den besonderen betrieblichen Rahmenbedingungen, sondern auch die Einbeziehung von organisatorischen Maßnahmen angeregt. Neben den etablierten Arbeitsschutzinstrumentarien verfügen zahlreiche Unternehmen über ein Betriebliches Gesundheitsmanagements (BGM). Ist die Nutzung von Synergieeffekten durch die Verknüpfung der beiden Handlungsstränge unter dem „Dach“ eines betrieblichen Hitze-managements denkbar?

Forschungsfeld 4: Untersuchungen zur Entwicklung eines alters- und geschlechtsdifferenzierten Arbeitszeit-Pausen-Regimes bei Kältarbeit

Die Zielsetzung besteht darin, die nach wie vor vorhandene Grauzone zwischen Wissen und Vermutung, zwischen bereits gesicherten und doch noch etwas vagen Fakten zur Arbeit in tiefer Kälte weiter systematisch aufzuarbeiten. Unter Einbeziehung des Geschlechtes und des Alters der Arbeitspersonen sollen neue Regeln für eine bestmögliche Gestaltung von Kältarbeit entwickelt und vorhandene Rahmenbedingungen so auf die besondere Problemlage von Kältarbeit spezifiziert werden, dass bei Mann und Frau für präventiven Arbeitsschutz gesorgt und letztlich auch die Arbeitsprozess-Effizienz gesteigert wird.

Dazu sollen auch weiterhin unter definierten realen Arbeitsbedingungen in einem Tiefkühlzentrum Felduntersuchungen durchgeführt werden. Mit weiblichen Probanden der Altersklassen „20-35-jährige“ und „40-65-jährige“ soll bei einer systematischen Untersuchung mit einer an die praktischen Bedingungen angepassten Arbeitsschwere geklärt werden,

- ob eine 30-minütige Aufwärmpause nach der maximalen Expositionszeit von 120 Minuten eine vollständige Wiedererwärmung ermöglicht, und
- ob bereits eine 25-minütige Aufwärmpause nach einer Expositionszeit von 100 Minuten für eine vollständige Wiedererwärmung ausreichend ist, oder ob eine 30-minütige Pause auch hier als notwendig erscheint.

Dazu sind von einem weiblichen Probandenkollektiv in den unterschiedlichen Altersklassen bei Umgebungstemperaturen von -24 °C Simulationen von realen, in der betrieblichen Praxis tatsächlich vorkommenden Arbeitsanforderungen hinsichtlich Dauer und Schwere der Arbeit unter standardisierten Versuchsbedingungen durchzuführen. Zur Bestimmung der optimalen Pausenlänge muss zusätzlich zur Beanspruchungsermittlung (mittels Blutdruck-, Temperatur- und Herzschlagfrequenzmessungen) auch die subjektive Beurteilung, der körperlichen Auswirkungen durch die Arbeitspersonen herangezogen werden.

Forschungsfeld 5: Einfluss der Sauerstoffreduktion als Brandschutzmaßnahme auf die körperliche Leistungsfähigkeit bei Kältarbeit

Auch in dieser zweiten Fragestellung zur körperlichen Beanspruchung bei Arbeit in tiefer Kälte um -24 °C steht der Praxisbezug im Vordergrund. Tiefkühlager werden heutzutage aus Gründen des Brandschutzes immer häufiger „sauerstoffreduziert“ betrieben. Auch wenn es sich hierbei in der Regel um automatisierte Hochregallagersysteme handelt, sind Reparatur-, Wartungs- und Störungsbeseitigungsarbeiten von zum Teil mehreren Stunden wiederkehrend notwendig. Die Auswirkungen der Sauerstoffreduktion werden von den Beschäftigten als negativ und körperlich sehr anstrengend empfunden. Die tatsächlichen Folgen auf die körperliche Leistungsfähigkeit sind auch in diesem Anwendungsfall weder alters- noch geschlechtsbezogen erforscht.

10 Zusammensetzung der Leitliniengruppe

10.1 Leitlinienkoordinator*in/Ansprechpartner*in

Leitlinienkoordinator:

Prof. Dr. André Klußmann, Professur Arbeitswissenschaft, Fakultät Life Sciences, Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg und Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER), Wuppertal

Leitliniensekretariat:

Prof. Dr. Susanne Völter-Mahlknecht, Leitlinienbeauftragte des DGAUM-Vorstands

10.2 Beteiligte Fachgesellschaften und Organisationen

In der folgenden Tabelle (Tab. 10-1) sind die beteiligten Mandatsträger*innen bzw. weiteren Autoren*innen unter Nennung der jeweils vertretenden Fachgesellschaft bzw. Organisation aufgelistet. Alle Mandatsträger*innen bzw. weiteren Autoren*innen waren im gesamten Bearbeitungszeitraum an der Erarbeitung dieser Leitlinie beteiligt

Tab. 10-1: Mitglieder der Leitliniengruppe

Mandatstragende	Fachgesellschaft / Organisation
Prof. Dr. André Klußmann	Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM)
Prof. Dr. Karsten Kluth	Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA)
Prof. Dr. Paul Dietl	Deutsche Physiologische Gesellschaft e.V. (DPG)
Petra Zander	Verband für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit e.V. (VDSI)
Weitere Teilnehmende	Funktion & Fachgesellschaft / Organisation
Dr. Kersten Bux	Berater/Fachexperte Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dresden
Dr. Karl Jochen Glitz	Berater/Fachexperte Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr, Andernach
Dr. med. Beate Catrein	Beraterin/Fachexpertin Ehemals Regierungspräsidium Darmstadt, Abteilung Arbeitsschutz und Umwelt, Landesgewerbeamt Hessen, Wiesbaden
Bianca Engelmann	Beraterin/Fachexpertin Verband für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit e.V. (VDSI)
Prof. Dr. Hansjürgen Gebhardt	Berater/Fachexperte Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER), Wuppertal
Dr.-Ing. Sandra Groos	Beraterin/Fachexpertin Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen
Prof. Dr. Bernhard Kampmann	Berater/Fachexperte Bergische Universität Wuppertal, Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik, Fachgebiet Arbeitswissenschaft
Prof. Dr. Dr. Dieter Leyk	Berater/Fachexperte Institut für Präventivmedizin der Bundeswehr, Andernach & Deutsche Sporthochschule Köln

10.3 Patient*innen/Bürger*innenbeteiligung

Patient*innen wurden an der Erstellung der Leitlinie nicht beteiligt, da es für das Thema keine Patientenorganisation gibt.

10.4 Methodische Begleitung

Die strukturierte Konsensfindung wurde unter unabhängiger Moderation durch Prof. Dr. rer. pol. Ralf Pieper, Leiter des Fachgebiets Sicherheits- und Qualitätsrecht in der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik an der Bergischen Universität Wuppertal, durchgeführt.

11 Informationen zu dieser Leitlinie

11.1 Methodische Grundlagen

Die Methodik zur Erstellung dieser Leitlinie orientiert sich nach dem AWMF-Regelwerk (Version 1.1 vom 27.02.2013, aktualisiert durch die Version 2.0 [2020]). Bei der vorliegenden Leitlinie handelt es sich um eine S2k-Leitlinie. Die formalen Kriterien dafür sind eine für den Adressatenkreis repräsentative Leitliniengruppe und eine strukturierte Konsensusfindung.

11.2 Systematische Recherche, Auswahl und kritische Bewertung der Evidenz

Die Grundlage für die Erarbeitung dieser Leitlinie bilden die vorausgegangenen S1-Leitlinien „Arbeit unter klimatischer Belastung: Hitze“ (002-039, vgl. Glitz et al., 2012a), „Arbeit unter klimatischer Belastung: Kälte“ (002-041, vgl. Glitz et al., 2012b) und „Arbeit unter klimatischer Belastung: Isolierende Schutzbekleidung als Sonderfall einer Hitzebelastung“ (002-040, vgl. Glitz et al., 2013). Hierzu wurden damals jeweils systematische Reviews erstellt. Für die vorliegende Leitlinie „Arbeiten unter klimatischen Belastungen“, welche die o.g. Leitlinien ersetzt, ist dies nicht erneut erfolgt. Die Leitliniengruppe erwartete keinen wesentlichen Mehrwert durch die Durchführung einer erneuten systematischen Literaturrecherche. Die Inhalte wurden aktualisiert, gebündelt und weitere Fachgesellschaften und Fachexperten wurden einbezogen.

11.3 Strukturierte Konsensusfindung

Es fanden im Erarbeitungszeitraum mehrere Leitlinien-Treffen (eines in Präsenz, alle weiteren aufgrund der SARS-CoV-2-Pandemie online) statt, in denen der Leitlinientext sowie Empfehlungen und Kernaussagen iterativ formuliert wurden. Als externer und unabhängiger Moderator für eine finale Konsensuskonferenz konnte Herr Prof. Dr. rer. pol. Ralf Pieper, Leiter des Fachgebiets Sicherheits- und Qualitätsrecht in der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik an der Bergischen Universität Wuppertal, gewonnen werden. Am 09.09.2021 fand eine Konsensuskonferenz im NIH-Typ statt. Hierbei waren alle vier beteiligten Fachgesellschaften vertreten. Unter Moderation von Prof. Pieper wurde diese Konferenz wie folgt durchgeführt:

- Verlesen der Empfehlungen und Kernaussagen durch den Moderator,
- Gelegenheit zu Rückfragen und Einbringung von begründeten Änderungsanträgen sowie
- Abstimmung der Empfehlungen und Änderungsanträge.

Bei Bedarf wurden die Formulierungen der Empfehlungen und Kernaussagen erneut diskutiert, ggfs. Alternativvorschläge erarbeitet und hierüber endgültig abgestimmt.

11.4 Empfehlungsgraduierung und Feststellung der Konsensstärke

In der Konsenskonferenz am 09.09.2021 wurden die o. g. einzelnen Empfehlungen und Kernaussagen final diskutiert und zur Abstimmung gestellt (s.o.). Hierbei erfolgten auch formale Anpassung an das von der AWMF empfohlene Wording und die formale Feststellung der Konsensstärke durch den unabhängigen Moderator. In Tab. 3 1 ist die verwendete Empfehlungsgraduierung und In Tab. 11-1 ist die verwendete Empfehlungsgraduierung und in Tab. 11-2 die Klassifikation der Konsensusstärke dargestellt.

Tab. 11-1: Zweistufiges Schema zur Graduierung von Empfehlungen nach GRADE

Beschreibung	Ausdrucksweise	Symbol
Starke Empfehlung	Wir empfehlen/ empfehlen nicht	↑↑ / ↓↓
Empfehlung	Wir schlagen vor/ schlagen nicht vor	↑ / ↓

Tab. 11-2: Feststellung der Konsensstärke

Klassifikation der Konsensusstärke	
starker Konsens	> 95 % der Stimmberechtigten
Konsens	> 75 - 95 % der Stimmberechtigten
mehrheitliche Zustimmung	> 50 - 75 % der Stimmberechtigten
keine mehrheitliche Zustimmung	< 50 % der Stimmberechtigten

12 Redaktionelle Unabhängigkeit

12.1 Finanzierung der Leitlinie

Die Arbeit der Mandatsträger*innen und Berater*innen erfolgte ehrenamtlich bzw. auf Kosten des jeweiligen Arbeitgebers.

Die Räume und die Verpflegung beim ersten Leitlinientreffen wurden vom Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER) Wuppertal bereitgestellt. Alle weiteren Treffen/Beratungen fanden aufgrund der COVID-19-Pandemie online statt, so dass keine weiteren Kosten entstanden sind.

Die Moderation der Konsenskonferenz am 09.09.2021 durch Prof. Dr. rer. pol. Ralf Pieper, Leiter des Fachgebiets Sicherheits- und Qualitätsrecht in der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik an der Bergischen Universität Wuppertal, erfolgte ebenfalls ehrenamtlich.

12.2 Darlegung von Interessen und Umgang mit Interessenkonflikten

Alle an der Erstellung dieser Leitlinie beteiligten Personen haben ihre Interessen schriftlich mit Hilfe des von der AWMF bereitgestellten Formblattes erklärt. Diese Erklärungen wurden vom Leitlinienkoordinator tabellarisch zusammengefasst und allen Autor*innen sowie Herrn Prof. Pieper, als externem Berater/Moderator, im Rahmen der Mitprüfung des Entwurfs des Leitlinienreports vorgelegt. Das Gremium prüfte die Interessenerklärungen entsprechend der AWMF-Regel auf thematischen Bezug zur Leitlinie und auf „geringe“, „moderate“ und „hohe“ Interessenkonflikte. Es wurden keine relevanten Interessenkonflikte festgestellt, die ein Management erforderlich gemacht hätten. Näheres hierzu ist im Leitlinienreport erläutert.

13 Verabschiedung

Diese Leitlinie wurde im Zeitraum vom

11.02.2022 bis 22.05.2022

von den Vorständen der beteiligten Fachgesellschaften

- Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM),
- Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA),
- Deutsche Physiologische Gesellschaft e.V. (DPG) und
- Verband für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit e.V. (VDSI)

verabschiedet.

14 Gültigkeitsdauer und Aktualisierungsverfahren

Die Leitlinie ist ab Veröffentlichung bis zur nächsten Aktualisierung gültig, die Gültigkeitsdauer wird auf 5 Jahre geschätzt. Vorgesehen sind regelmäßige Aktualisierungen; bei dringendem Änderungsbedarf werden diese gesondert publiziert. Kommentare und Hinweise für den Aktualisierungsprozess sind ausdrücklich erwünscht und können an das Leitliniensekretariat gesendet werden.

Leitlinienbeauftragte der DGAUM

Prof. Dr. med. Susanne Völter-Mahlknecht

Charité-Universitätsmedizin Berlin

Tel.: +49 (0) 30 / 450 529-587

Fax: +49 (0) 30 / 450 529-952

Email: leitlinien@dgaum.de

15 Literatur

15.1 Fachliteratur

ACSM (American College of Sports Medicine (2007): Exertional Heat Illness during Training and Competition. Position Stand. Med Sci Sports Exerc; 39(3): 556-72. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31802fa199.

Aoyagi Y, McLellan TM, Shephard RJ (1994): Effects of training and acclimation on heat tolerance in exercising men wearing protective clothing. Eur. J. Appl. Physiol. 68, 234-245.

Aschoff J, Günther B, Kramer K (1971): Energiehaushalt und Temperaturregulation, Vol 2. Urban & Schwarzenberg.

Bedno SA, Urban N, Boivin MR, Cowan DN (2014): Fitness, obesity and risk of heat illness among army trainees. Occupational Medicine 64, 461-467.

Behrends JC, Bischofberger J, Deutzmann R, Ehmke H, Frings S, Grissmer S, Hoth M, Kurtz A, Leipziger J, Müller F, Pedain C, Rettig J, Wagner C, Wischmeyer E (2010): Physiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

Belding HS, Hatch TF (1955): Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains. Heating, Piping, and Air Conditioning, 27, 129-136.

Belkin LY, Kouchaki M (2017): Too hot to help! Exploring the impact of ambient temperature on helping. European Journal of Social Psychology, Volume 47, Issue5, August 2017, Pages 525-538

Bianco AC, McAninch EA (2013): The role of thyroid hormone and brown adipose tissue in energy homeostasis. Lancet Diabetes Endo 1, 250-258.

Binkley HM, Beckett J, Casa DJ, Kleiner DM, Plummer PE (2002): National Athletic Trainers' Association position statement: Exertional heat illnesses. J Athl Training 37, 329-343.

Bischof W, Bullinger-Naber M, Kruppa B, Müller BH, Schwab R (2003): Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden. Ergebnisse des ProKlima-Projektes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

BNHS (2017): British National Health Service „Which medicines could cause problems for patients during a heat-wave?“ 2017, https://www.sps.nhs.uk/wp-content/uploads/2017/07/UKMI_QA_Drugs-and-heatwave_May-2017.doc

Brandström H (1996): Accidentell hypotermi. In: Holmér I, Johansson BW, Gyllerup S, Lundgren H: Kyla på gott och ont. Arbete och hälsa, Vetenskaplig Skriftserie, Arbetslivsinstitutet, Solna.

Bröde P, Fiala D, Błażejczyk K, Holmér I, Jendritzky G, Kampmann B, Tinz, Havenith G (2012): Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). Int J Biometeorol (2012) 56:481–494

- Buono MJ, Ball KD, Kolkhorst FW (2007): Sodium ion concentration vs. sweat rate relationship in humans. *J Appl Physiol* 103, 990-994.
- Burton AC (1934): The application of the theory of heat flow to the study of energy metabolism, *The Journal of Nutrition*, Volume 7, Issue 5, May 1934, Pages 497–533
- Burtscher M, Gatterer H, Burtscher J, Mairbaur H (2018): Extreme Terrestrial Environments: Life in Thermal Stress and Hypoxia. A Narrative Review. *Front Physiol* 9, 572.
- Bux K (2006): Klima am Arbeitsplatz. Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Bedarfsanalyse für weitere Forschungen. Forschung. Projekt F 1987. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund/Berlin/Dresden 2006
- Bux K (2012): Gesundes Klima und Wohlbefinden am Arbeitsplatz. Quart-Broschüre. Hrsg. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. ISBN 978-3-88261-691-0.
- Bux K, Kampmann B (2014): Raumklima. In: *Handbuch der Arbeitsmedizin. Arbeitsphysiologie Arbeitspsychologie Klinische Arbeitsmedizin Gesundheitsförderung und Prävention*. 35. Ergänzungslieferung Dez. 2014. Hrsg. von S. Letzel und D. Novak, ecomed Medizin, Landsberg/Lech 2014. ISBN 978-3-609-10570-3, Physiologische Grundlagen, Kapitel B III-1, S. 1-36.
- Bux K, von Hahn N (2020): „Trockene Luft“ - Literaturstudie zu den Auswirkungen auf die Gesundheit. BAuA Bericht. Dortmund. doi:10.21934/baua:bericht20200624
- Casa DJ, DeMartini JK, Bergeron MF, Csillan D, Eichner ER, Lopez RM, Ferrara MS, Miller KC, O'Connor F, Sawka MN, Yeargin SW (2015): National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional Heat Illnesses. *J Athl Train*; 50(9): 986–1000.
- Castellani JW, Young AJ (2016): Human physiological responses to cold exposure: Acute responses and acclimatization to prolonged exposure. *Auton Neurosci* 196, 63-74.
- Chang S, Gonzalez R (1999): Benefit of heat acclimation is limited by the evaporative potential when wearing chemical protective clothing. *Ergonomics* 42, 1038-1050.
- Cheung SS, McLellan TM (1998): Influence of hydration status and fluid replacement on heat tolerance while wearing NBC protective clothing. *Eur J Appl Physiol* 77, 139-148.
- Cheung SS, McLellan TM, Tenaglia S (2000): The thermophysiology of uncompensable heat stress. Physiological manipulations and individual characteristics. *Sports Med* 29 (5): 329-359.
- Cheung SS, Westwood DA, Knox MK (2007): Mild body cooling impairs attention via distraction from skin cooling. *Ergonomics*, 50(2), 275-288. doi: 10.1080/00140130601068683
- Cooper JK (1997): Preventing heat injury: military versus civilian perspective. *Mil. Med.* 162.1, 55-58.
- Cordioli E, Pizzi C, Martinelli M (2000): Winter mortality in Emilia-Romagna, Italy. *Int J Circumpolar Health* 59, 164-169.

- Costill DL, Miller JM (1980): Nutrition for endurance sport. *Int J Sports Med* 1, 2-14.
- Cypess AM, Chen YC, Sze C, Wang K, English J, Chan O, Holman AR, Tal I, Palmer MR, Kolodny GM, et al. (2012): Cold but not sympathomimetics activates human brown adipose tissue in vivo. *P Natl Acad Sci USA* 109, 10001-10005.
- Daanen HAM (2003): Finger cold-induced vasodilation: a review. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89, 411-426.
- Danielsson U (1996): Windchill and the Risk of tissue freezing. *Journal of Applied Physiology* 81(6), 2666-2673 (1996)
- DeGroot DW, Gallimore RP, Thompson SM, Kenefick RW (2013): Extremity cooling for heat stress mitigation in military and occupational settings. *Journal of Thermal Biology* 38, 305–310.
- Dorman LE, Havenith G (2009): The effects of protective clothing on energy consumption during different activities. *Eur J Appl Physiol.* 105, 463-470.
- Drexler H (2017a): Sonne, Outdoor-Working: Krebsgefahr? Stellungnahme des Präsidenten der DGAUM zur arbeitsmedizinischen Vorsorge bei Beschäftigung im Freien. *ASU Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* (52), 2017, 460.
- Drexler H (2017b): UV-Strahlung (Kap. 4.3.1). In: Schmitz-Spanke, Nessler, Letzel, Nowak (Hrsg.): *Umweltmedizin. Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis.* Landsberg/ Lech 2017.
- Enke K, Knacke PG (Hrsg.) (2009): *LPN3 Lehrbuch für präklinische Notfallmedizin* (4. Auflage. Band 3: Schwerpunkt Traumatologie) Stumpf & Kossendey.
- Epstein Y, Druyan A, Heled Y (2012): Heat injury prevention – a military perspective. *J Strength Cond Res* 26 (7 Supplement), S82-S86.
- Epstein Y, Yanovich R (2019): Heatstroke. *N Engl J Med.* 380, 2449-2459.
- Fanger PO (1970): *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering.* Copenhagen: Danish Technical Press.
- Fanger PO, Ipsen BM, Langkilde G, Olesen BW, Christensen NK, Tanabe S (1985): Comfort limits for asymmetric thermal radiation. *Energy and Buildings*, 8(3), 225-236. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788\(85\)90006-4](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(85)90006-4)
- Folk GE (1974): *Textbook of Environmental Physiology.* Lea & Febiger. Philadelphia, USA
- Gardner JW, Kark JA, Karnei K, Sanborn JS, Gastaldo E, Burr P, Wenger CB (1996): Risk factors predicting exertional heat illness in male Marine Corps recruits. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: 939-944.
- Gebhardt H, Kampmann B, Müller BH, Peters H, Piekarski C (1999): *Systematische Analyse aktueller Klimasummenmaße für Hitzearbeitsplätze, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Forschungsbericht Fb 829, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven*

Glitz KJ, Gorges W, Leyk D, Piekarski C (2012a): Arbeit unter klimatischer Belastung: Hitze. Hrsg. AWMF (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.): S1 - Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., AWMF-Registernummer 002-039.

Glitz KJ, Gorges W, Leyk D, Piekarski C (2012b): Arbeit unter klimatischer Belastung: Kälte. Hrsg. AWMF (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.): S1 - Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., AWMF-Registernummer 002-041.

Glitz KJ, Gorges W, Leyk D, Piekarski C (2013): Arbeit unter klimatischer Belastung. Isolierende Schutzbekleidung als Sonderfall einer Hitzebelastung. Hrsg. AWMF (Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.): S1 - Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., AWMF-Registernummer 002-040.

Glitz KJ, Seibel U, Rohde U, Gorges W, Witzki A, Piekarski C, Leyk D (2015): Reducing heat stress under thermal insulation in protective clothing: microclimate cooling by a 'physiological' method. *Ergonomics* 48(8), 1461-1469.

Groos S (2018): Alters- und geschlechtsdifferenzierte Objektivierung von Belastung und Beanspruchung bei berufsbedingten Kälteexpositionen unter Berücksichtigung eines variablen Arbeitszeit-Pausenzeit-Regimes. Universität Siegen.

Groos S, Penzkofer M, Strasser H, Kluth K (2018): Arbeitszeit-Pausenzeit-Regime für körperlich schwere Arbeit in Kälte. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* (2018). <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0124-9>

Hammel HT, Elsner RW, Messurier DHL, Andersen HT, Milan FA (1959): Thermal and metabolic responses of the Australian aborigine exposed to moderate cold in summer. *J. Appl. Physiol.* 14, 605–615.

Hassi J, Rytönen M, Kotaniemi J, Rintamäki H (2005): Impacts of cold climate on human heat balance, performance and health in circumpolar areas. *International Journal of Circumpolar Health* 64(5), 459-467.

Hellwig RT, Nöske I, Brasche S, Gebhardt H, Levchuk I, Bischof, W (2012): Hitzebeanspruchung und Leistungsfähigkeit in Büroräumen bei erhöhten Außentemperaturen - HESO. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Hellwig RT (2018): Wahrgenommene Kontrolle über das Raumklima und ihr Einfluss auf Zufriedenheit und Behaglichkeit. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, 58. Wissenschaftliche Jahrestagung 2018

IUPS Thermal Commission (2003): Glossary of terms for thermal physiology. 3rd Ed., *J Therm Biol*, Volume 28.1, 75-106.

Jay O, Cramer MN, Ravanelli NM, Hodder SG (2015): Should electric fans be used during a heat wave? *Appl Ergon.* 2015 Jan;46 Pt A:137-43. doi: 10.1016/j.apergo.2014.07.013.

- Kampmann B (2000): Zur Physiologie der Arbeit im warmen Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlenbergbau. Habilitationsschrift im Fach Arbeitsphysiologie der Bergischen Universität – Gesamthochschule Wuppertal 2000 (digital zugänglich über die Internetplattform der Universitätsbibliothek: el-pub.bib.uni-wuppertal.de)
- Kampmann B, Bröde P (2015): Metabolic costs of physiological heat stress responses - Q10 coefficients relating oxygen consumption to body temperature. *Extreme Physiology & Medicine*, 4. Suppl 1, A103. doi:10.1186/2046-7648-4-S1-A103
- Kampmann B, Bröde P (2020): Minderung physiologischer Hitzebeanspruchung durch Ventilation – Laborexperimente im Vergleich zur UTCI-Bewertung. In: Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 16. – 18. März 2020; Berlin GfA-Press, Dortmund 2020, ISBN 978-3-936804-27-0
- Kenney WL, Lewis DA, Anderson RK, Kamon E (1986): A simple exercise test for the prediction of relative heat tolerance. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 47, 203-206.
- Kirby CR, Convertino VA (1986): Plasma aldosterone and sweat sodium concentrations after exercise and heat acclimation. *J. Appl. Physiol.* 61.3, 967-970.
- Kozak W, Stein D, Felsmann C, Hensel B, Kabitzsch K, Rieckho F, Rösler M (2014): Möglichkeiten und Grenzen einer Aml-basierten Regelung raumluftechnischer Anlagen und beispielhafte Anwendung auf das Phänomen „Trockene Luft“. Zusammenfassung zum Forschungsprojekt F2299. Retrieved from Dortmund.
- Kuklane K, Lundgren K, Gao C et al. (2015): Ebola: improving the design of protective clothing for emergency workers allows them to better cope with heat stress and help to contain the epidemic. Letter to the editor. *Ann. Occup. Hyg.* 59 (2), 258–261. doi: 10.1093/annhyg/mev003 (2015)
- Lan L, Wargocki P, Lian Z (2014): Thermal effects on human performance in office environment measured by integrating task speed and accuracy. *Applied Ergonomics*, 45(3), 490-495.
- Lehmuskallio E (2001): Cold protecting emollients and frostbite. Doctoral Thesis, University of Oulu.
- Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF, 2021): S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 2.1, 2021, AWMF Registernummer: 032/052OL, <https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebs-praevention/> (abgerufen am: 27.12.2021)
- Leyk D, Hoitz J, Becker C, Glitz KJ, Nestler K, Piekarski C (2019): Health risks and interventions in exertional heat stress (2019). *Dtsch Arztebl Int*; 116: 537–44. DOI: 10.3238/arztebl.2019.0537.
- Likert R (1932): A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22 140, 55.
- Lind AR (1963): A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work. *J. Appl. Physiol.* 18(1) 51-56.

Löllgen H, Leyk D: Exercise testing in sports medicine. *Dtsch Arztebl Int* 2018; 115: 409–16. DOI: 10.3238/arztebl.2018.0409

Maughan RJ (2003): Water and electrolyte requirements: effects of exercise and environment. *ACSM Roundtable on Hydration and Physical Activity*. Boston (US), 8-9 December.

Mäkinen TM (2007): Human cold exposure, adaptation, and performance in high latitude environments. *American Journal of Human Biology* 19(2), 155-164.

Mäkinen TM, Mantysaari M, Paakkonen T, Jokelainen J, Palinkas LA, Hassi J, Lepaluoto J, Tahvanainen K, Rintamaki H (2008): Autonomic nervous function during whole-body cold exposure before and after cold acclimation. *Aviat Space Environ Med* 79, 875-882.

McGregor GR, Bessemoulin P, Ebi K, Menne B (2015): *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development*. Geneva: World Meteorological Organization and World Health Organization, Accessed 2021-12-27, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3371.

McLellan T, Daanen HAM, Cheung SS (2013): Encapsulated environment. *Compr Physiol* 3: 1363-1391.

McLellan T, Havenith G (2016): Protective clothing ensembles and physical employment standards. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 41: S121–S130.

Mercer JB (2003): Cold – an underrated risk factor for health. *Environmental Research* 92(1), 8-13.

Miller V, Bates G, Schneider JD, Thomsen J (2011): Self-pacing as a protective mechanism against the effects of heat stress. *Ann Occup Hyg* 55: 548-555.

Morrissey MC, Scarneo-Miller SE, Giersch GEW, Jardine JF, Casa DJ (2021): Assessing the Validity of Aural Thermometry for Measuring Internal Temperature in Patients With Exertional Heat Stroke. *J Athl Train* 56(2):197-202. doi: 10.4085/1062-6050-0449.19

NATO (2010): Prevention and management of cold weather injuries. Standardization Agency (Ed.): STANAG 2588 MEDSTD (Edition 1) (Ratification Draft 1) – (US Army: Technical Bullentin – Medical 508) Brüssel.

NATO (2013): Management of heat and cold stress – guidance to NATO medical personnel. Technical Report. Research and Technology Organisation (Ed.). RTO-TR-HFM-187. www.sto.nato.int/publications/Pages/default.aspx

Nedergaard J, Bengtsson T, Cannon B (2007): Unexpected evidence for active brown adipose tissue in adult humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 293.2 E444–452.

Nielsen B, Hales JRS, Strange S, Christensen NJ, Warberg J, Saltin B (1993): Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J. Physiol.* 460, 467-485.

Oksa J (1998): Cooling and neuromuscular performance in man. Doctoral Thesis, University of Jyväskylä.

- Oksa J, Ducharme MB, Rintamäki H (2002): Combined effect of repetitive work and cold on muscle function and fatigue. *Journal of Applied Physiology* 92(1), 354-361.
- Olesen BW (1977): Thermal comfort requirements for floors. Paper presented at the Proceedings of The Meeting of Commissions B1, B2, E1 of IIR, Belgrade.
- Osnabrügge G, Stahlberg D, Frey D (1985): Die Theorie der kognizierten Kontrolle. In D. Frey & M. Irle (Hrsg.). Bern. Huber.
- Osczevski R, Bluestein M (2005): The new wind chill equivalent temperature chart. *Bulletin of the American Meteorological Society* 86(10), 1453-1458.
- Palinkas LA (2001): Mental and cognitive performance in the cold. *International Journal of Circumpolar Health* 60(3), 430-439.
- Pandolf KB, Burse RL, Goldman RF (1977): Role of Physical Fitness in Heat Acclimatization, Decay and Reinduction. *Ergonomics* 20(4), 399-408.
- Pandolf KB, Goldman RF (1978): Convergence of skin and rectal temperatures as a criterion for heat tolerance. *Aviat. Space Environ. Med.* 49 (9), 1095 – 1101.
- Pangert R, Bux K, Frener P (2003): Hitzearbeit – Hitzepausen. *Ergo-Med* (3), 82-89.
- Parsons KC (2003): Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold Environments on human health, comfort and performance. (Vol. 2 nd). London: Taylor & Francis.
- Penzkofer M (2013): Feldstudien zur Objektivierung von Belastung und Beanspruchung jüngerer und älterer Arbeitspersonen bei berufsbedingten Kälteexpositionen. Ergonomia-Verlag, Stuttgart.
- Pfluger R, Feist W, Tietjen A, Neher A (2013): Physiological impairments at low indoor air humidity. *Gefahrstoffe Reinhaltung Der Luft*, 73(3), 107-108.
- Piekarski C, Zerlett G (1993): Schädliche Einwirkungen und Noxen aus der Umwelt – Physikalische Einwirkungen. In: Classen, M., Diehl, V., Kochsiek, K. (Hrsg.): *Innere Medizin*. 2. Auflage, S. 865-876, Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore.
- Pilcher JJ, Nadler E, Busch C (2002): Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*. 2002 Aug 15;45(10):682-98.
- Potter AW, Gonzalez JA, Xu X (2015): Ebola Response: Modelling the Risk of Heat Stress from Personal Protective Clothing. *PLoS ONE* 10(11): e0143461. doi: 10.1371/journal.pone.0143461 (2015)
- Pryor RR, Roth RN, Suyama J, Hostler D (2015): Exertional heat illness: emerging concepts and advances in prehospital care. *Prehospital Disaster Med.*30(3):297-305.
- Ravanelli NM, Hodder SG, Havenith G, Jay O (2015): Heart rate and body temperature responses to extreme heat and humidity with and without electric fans. *JAMA*. 2015 Feb 17;313(7):724-5. doi: 10.1001/jama.2015.153. Erratum in: *JAMA*. 2015 Apr 7;313(13):1374.
- Risikko T (2009): Safety, health and productivity of cold work. Doctoral Thesis, University of Oulo.

- Saito M, Okamatsu-Ogura Y, Matsushita M, Watanabe K, Yoneshiro T, Nio-Kobayashi J, Iwanaga T, Miyagawa M, Kameya T, Nakada K et al. (2009): High Incidence of Metabolically Active Brown Adipose Tissue in Healthy Adult Humans Effects of Cold Exposure and Adiposity. *Diabetes* 58, 1526-1531.
- Sawka MN, Montain SJ (2000): Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr* 72 (suppl), 564S – 572S.
- Sawka MN, Castellani JW, Pandolf KB, Young AJ (2002): Human adaptations to heat and cold stress. Paper presented at the RTO HFM Symposium on “Blowing Hot and Cold: protecting against climatic extremes”, held in Dresden, Germany, 8-10 October 2001. In RTO / NATO (ed.): RTO-MP-076, AC/323(HFM-061)TP/40.
- Schmidt FR, Thews G, Lang F (2019): *Physiologie des Menschen*. (Vol. 32). Berlin: Springer Verlag
- Sormunen E, Oksa J, Pienimäki S, Rissanen S, Rintamäki H (2006): Muscular and cold strain of female workers in meatpacking work. *International Journal of Industrial Ergonomics* 36(8), 713-720.
- Strasser H (1986): Physiologische Grundlagen zur Beurteilung menschlicher Arbeit – Belastung/Beanspruchung/Dauerleistung/Ermüdung/Streß. *REFA-Nachrichten* 39(5), 18-29.
- Teunissen LPJ, de Haan, A, de Koning JJ, Clairbois HE, Daanen HAM (2011): Limitations of temperature measurement in the aural canal with an ear mould integrated sensor. *Physiol Meas* 2011 32(9):1403-16. doi: 10.1088/0967-3334/32/9/004
- Tipton M, Pandolf K, Sawka M, Werner J, Taylor NEE (2008): *Physiological adaptation to hot and cold environments*, 1 edn. 379–400. (Edinburgh: Elsevier).
- von Hahn N (2007): „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*, 67(3), 103-107.
- Wenzel G, Piekarski C (1985): *Klima und Arbeit*. München: Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung.
- Wierzba TH, Musial P, Cwikalowska H (2011): Variable profile of individual heart rate responses to cold water immersion apnea in healthy late adolescent men. *Georgian Med News*, 28-38.
- Wild U, Lewis P, Groß V, Dietrich C, Pinger A, Erren T (2019): S2e-Leitlinie „Arbeit unter Einwirkung von Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) - Gefährdungen und Schädigungen von Augen und Haut.“ AWMF-Registernummer 002–010. <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/002-010.html> (Abgerufen am 01.10.2020)
- Williams CG, Wynham CH, Morrison, JF (1967): Rate of loss of acclimatization in summer and winter. *J. Appl. Physiol.* 22, 21.
- Xiang J, Bi P, Hansen A (2014): Health impacts of workplace heat exposure. *An Epidemiological review. Industrial Health* 52, 91-101.
- Ziegenfuß T (2017): *Notfallmedizin*. 7. überarbeitete Auflage. Springer Verlag

15.2 Staatliches Regelwerk

15.2.1 Europäische Richtlinien

Richtlinie 89/654/EWG des Rates vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten (Erste Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)

Richtlinie 92/57/EWG des Rates vom 24. Juni 1992 über die auf zeitlich begrenzte oder ortsveränderliche Baustellen anzuwendenden Mindestvorschriften für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz (Achte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)

15.2.2 Gesetze und Verordnungen

ArbMedVV - Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Juli 2019 (BGBl. I S. 1082) geändert worden ist

ArbSchG - Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3334) geändert worden ist

ArbStättV - Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), die zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3334) geändert worden ist

ArbZG - Arbeitszeitgesetz vom 6. Juni 1994 (BGBl. I S. 1170, 1171), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 22. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3334) geändert worden ist

KlimaBergV - Klima-Bergverordnung vom 9. Juni 1983 (BGBl. I S. 685), die durch Artikel 5 Absatz 2 der Verordnung vom 18. Oktober 2017 (BGBl. I S. 3584) geändert worden ist

PSA-Benutzungsverordnung - Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1841)

TLMV - Verordnung über tiefgefrorene Lebensmittel in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Februar 2007 (BGBl. IS. 258), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2272) geändert worden ist

15.2.3 Technische Regeln

AMR 13.1 (2020): Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können. Bek. d. BMAS v. 26.11.2020 – IIIb1-36628-15/16 in: GMBI Nr. 7-8, 12. Februar 2021, S. 167-169, BAuA.

ASR A1.5/1,2 (2013): Fußböden. Technische Regel für Arbeitsstätten, GMBI 2013, S. 348, zuletzt geändert GMBI 2019, S. 70, BAuA.

ASR A3.5 (2010): Raumtemperatur. Technische Regel für Arbeitsstätten, GMBI 2010, S. 751, zuletzt geändert GMBI 2021, S. 561, BAuA.

ASR A3.6 (2012): Lüftung. Technische Regel für Arbeitsstätten, GMBI 2012, S. 92, zuletzt geändert GMBI 2018, S. 474, BAuA.

ASR A4.1 (2013): Sanitärräume. Technische Regel für Arbeitsstätten, GMBI 2013, S. 919, zuletzt geändert GMBI 2017, S. 401, BAuA.

15.3 Regeln, Informationen und Empfehlungen der DGUV

15.3.1 Regeln der DGUV

DGUV Regel 100-500 (2008): Betreiben von Arbeitsmitteln. Kapitel 2.35 – Betreiben von Kälteanlagen, Wärmepumpen und Kühleinrichtungen (vorher: BGR/GUV-R 500).

DGUV Regel 112-189 (2007): Benutzung von Schutzkleidung (vorher: BGR/GUV-R 189).

DGUV Regel 112-190 (2011): Benutzung von Atemschutzgeräten (vorher: BGR/GUV-R 190).

15.3.2 Informationen der DGUV

DGUV Information 212-013 (2013): Hitzeschutzkleidung (vorher: BGI/GUV-I 5167).

DGUV Information 213-002 (2013): Hitzearbeit; Erkennen - beurteilen - schützen (vorher: BGI/GUV-I 579).

DGUV Information 213-022 (2011): Beurteilung von Hitzearbeit - Tipps für Wirtschaft, Verwaltung, Dienstleistung (vorher: BGI/GUV-I 7002).

DGUV Information 215 444 (2016) Sonnenschutz im Büro (vorher: BGI/GUVV-I 827).

DGUV Information 215-510 (2016): Beurteilung des Raumklimas - Handlungshilfe für kleine und mittlere Unternehmen (vorher BGI/GUV-I 7003).

DGUV Information 215-520 (2016) Klima im Büro - Antworten auf die häufigsten Fragen (vorher BGI/GUV-I 7004).

DGUV Information 215-530 (2019): Klima im Fahrzeug - Antworten auf die häufigsten Fragen (vorher: BGI/GUV-I 7005).

DGUV Information 240-300 (2010): Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G30 „Hitze“ (vorher: BGI/GUV-I 504-30)¹⁷

15.3.3 Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen

DGUV (2022a): Hitzearbeiten. In: DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen. Hrsg. DGUV. 1. Auflage 2022. Gentner Verlag. ISBN:

¹⁷ Stand Juni 2022. Eine Anpassung ist aufgrund der neuen „DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen“ zu erwarten.

978-3-87247-783-5. Im Druck und Nachfolge des DGUV Grundsatz G 30 Hitzearbeiten aus dem Jahr 2014.

DGUV (2022b): Atemschutzgeräte. In: DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen. Hrsg. DGUV. 1. Auflage 2022. Gentner Verlag. ISBN: 978-3-87247-783-5. Im Druck und Nachfolge des DGUV Grundsatz G 26 Atemschutzgeräte aus dem Jahr 2014.

DGUV (2022c): Kältarbeiten. In: DGUV Empfehlungen für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen. Hrsg. DGUV. 1. Auflage 2022. Gentner Verlag. ISBN: 978-3-87247-783-5. Im Druck und Nachfolge des DGUV Grundsatz G 21 Kältarbeiten aus dem Jahr 2014.

15.4 Nationale und internationale Normen

15.4.1 Nationale Normen (DIN)

DIN 33403-3 (2011): Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße. Beuth Verlag, Berlin.

DIN 33403-5 (1997): Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältarbeitsplätzen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN SPEC 33428 (2019): Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Grundlagen zur Klimaermittlung. Beuth Verlag, Berlin.

15.4.2 Europäische Normen (EN)

DIN EN 342 (2004): Schutzkleidung – Kleidungssysteme und Kleidungsstücke zum Schutz gegen Kälte. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 511 (2006): Schutzhandschuhe gegen Kälte. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 14058 (2004): Schutzkleidung – Kleidungsstücke zum Schutz gegen kühle Umgebungen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 15251 (2012): Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 27243 (1993): Warmes Umgebungsklima; Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (wet bulb globe temperature). Beuth Verlag, Berlin.

15.4.3 Internationale Normen (ISO)

DIN EN ISO 6385 (2016): Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 7726 (2021): Umgebungsklima – Instrumente zur Messung physikalischer Größen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 7730 (2006): 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. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 7933 (2004): „Predicted Heat Stress“ (Klimasummenmaß). Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 7243 (2017): Ergonomie der thermischen Umgebung – Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index (wet bulb globe temperature). Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 7933 (2004): Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung.

DIN EN ISO 8996 (2004): Ergonomie der thermischen Umgebung – Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 9886 (2004): Ergonomie - Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 11079 (2008): Ergonomie der thermischen Umgebung – Bestimmung und Interpretation der Kältebelastung bei Verwendung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) und lokalen Kühlwirkungen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 11092 (2014): Textilien – Physiologische Wirkungen – Messung des Wärme- und Wasserdampfdurchgangswiderstands unter stationären Bedingungen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 13688 (2013): Schutzkleidung – Allgemeine Anforderungen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 15831 (2004): Bekleidung – Physiologische Wirkungen – Messung der Wärmeisolation mittels einer Thermopuppe. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 20344 (2013): Persönliche Schutzausrüstung – Prüfverfahren für Schuhe. Beuth Verlag, Berlin.

15.5 Ratgeber, Positionspapiere, Statistiken etc.

BAuA (2019): Sommerhitze im Büro - Tipps für Arbeit und Wohlbefinden. 5. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2019
<http://www.baua.de/de/Publikationen/Faltblaetter/F14.html>

FBVW-501 (2020): Niedrige Luftfeuchte am Arbeitsplatz - Positionspapier zu trockener Luft am Arbeitsplatz, Stand: 13.07.2020, Fachbereich AKTUELL Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/publikationen-nach-fachbereich/verwaltung/innenraumklima/3876/fbvw-501-niedrige-luftfeuchte-am-arbeitsplatz>

dti – Deutsches Tiefkühlinstitut e.V.: Absatzstatistik für Tiefkühlprodukte 2019. Berlin, 2019

Kittelmann M, Adolph L, Michel A, Packroff P, Schütte M, Sommer S (Hrsg.) (2021): Handbuch Gefährdungsbeurteilung. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. DOI: 10.21934/baua:fachbuch20210127
<https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fachbuecher/Gefaehrdungsbeurteilung.html>

LASI (2011): LV 16 Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter, September 2011

VDE (Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Deutsche Gesellschaft für Biomedizinische Technik im VDE e.V., Hrsg.): VDE-Positionspapier. Temperaturmessung: Messung und Überwachung der Körpertemperatur. DGBMT-Fachausschuss Methodik der Patientenüberwachung. 2011

15.6 Weitere ausgewählte Literatur (in der Leitlinie nicht zitiert)

DGUV Information 204-037 (2016): Erste Hilfe Karte: Akute Hitzeerkrankungen.

DGUV Information 212-013 (2013): Hitzeschutzkleidung (vorher: BGI/GUV-I 5167).

DGUV Information 213-022 (2011): Beurteilung von Hitzearbeit - Tipps für Wirtschaft, Verwaltung, Dienstleistung (vorher: BGI/GUV-I 7002).

DGUV Information 215-444 (2016) Sonnenschutz im Büro (vorher: BGI/GUVV-I 827).

DGUV Information 215-530 (2019): Klima im Fahrzeug - Antworten auf die häufigsten Fragen (vorher: BGI/GUV-I 7005).

DIN 33403-2 (2000): Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 2: Einfluss des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 11612 (2009): Schutzkleidung- Kleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 9920 (2009): Ergonomie der thermischen Umgebung – Abschätzung der Wärmeisolation und des Verdunstungswiderstandes einer Bekleidungskombination. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 13732-1 (2008): Ergonomie der thermischen Umgebung - Bewertungsverfahren für menschliche Reaktionen bei Kontakt mit Oberflächen – Teil 1: Heiße Oberflächen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 13732-3 (2008): Ergonomie der thermischen Umgebung – Bewertungsmethoden für Reaktionen des Menschen bei Kontakt mit Oberflächen – Teil 3: Kalte Oberflächen. Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN ISO 15743 (2008): Ergonomie der thermischen Umgebung - Arbeitsplätze in der Kälte - Risikobewertung und Management. Beuth Verlag, Berlin.

Havenith G (1999): Heat balance when wearing protective clothing. Ann. Occup. Hyg. 43, 289-296

Kampmann B, Bresser G (2008): Längsschnittanalyse der intraindividuellen Variabilität der Beanspruchung bei Hitzebelastung oberhalb des thermoregulatorischen Gleichgewichts. Z. ARB. WISS. 62 (4), 285-294.

Lucas R, Epstein Y, Kjellstrom T (2014): Excessive occupational heat exposure: a significant ergonomic challenge and health risk for current and future workers. Extreme Physiology & Medicine 3:14 (2014) <http://www.extremephysiolmed.com/content/3/1/14>

Piekarski C (1993): Klima. Überwärmung. In: Handbuch der Ergonomie (hrsg. vom BwB). Kap. A 9.6.3, Bd. 2.

Wenzel HG, Piekarski C (1982): Klima und Arbeit. Hrsg. v. Bayerischen Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung. 2. Auflage, München