



Gutachten

Anforderungen an den Arbeitsschutz für Risikogruppen durch Klimawandelfolgen und Empfehlungen zur Anpassung des Arbeitsschutzes an die zunehmende Hitze- und UV-Belastung von Beschäftigten

Autoren

Anke Kahl (Projektleitung)
Magnus Nauth
Marina Bier

Auftraggeber

Bundesministerium für
Arbeit und Soziales

Abschlussdatum

Februar 2025



Bundesministerium
für Arbeit und Soziales



Lehrstuhl Arbeitssicherheit
Fakultät für Maschinenbau
und Sicherheitstechnik



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL



Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. Die Durchführung der Untersuchungen sowie die Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen sind von den Auftragnehmenden in eigener wissenschaftlicher Verantwortung vorgenommen worden. Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Untersuchungen.



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	3
1.1 Dringlichkeit.....	3
1.2 Thermoregulation.....	5
1.3 Hitzebedingte Erkrankungen	6
2 Methodischer Zugang.....	9
3 Rechtliche Situation.....	9
3.1 Stand in Deutschland.....	9
3.1.1 Besonders schutzbedürftige Gruppen bezüglich Hitzebelastung im deutschen Vorschriften- und Regelwerk	9
3.1.2 Inhaltliche Konkretisierung in ausgewählten Vorschriften	10
3.1.3 Begriffsdefinitionen	13
3.2 Rechtlicher Stand international.....	14
3.2.1 Begriffsdefinitionen	14
3.2.2 Festgelegte vulnerable Gruppen	16
3.2.3 Vorschriften zum Schutz dieser Gruppen	18
4 Vorschlag Begriffsbestimmung – (besonders) schutzbedürftige Beschäftigtengruppen	18
5 Stand der Wissenschaft.....	19
5.1 Risikofaktoren für Hitzebelastung	19
5.2 Risikofaktoren für solare UV-Strahlung.....	25
5.3 Zusammenfassende Darstellung der Risikogruppen	28
6 Internationale Umsetzung.....	29
7 Zusammenfassung / Fazit.....	38
7.1 Handlungsempfehlungen	38
7.2 Forschungsbedarfe / Ausblick	38



1 Einleitung

1.1 Dringlichkeit

Infolge des Klimawandels werden in den kommenden Jahren häufigere und länger anhaltende Hitzeperioden erwartet, die neben erheblichen Gesundheitsgefährdungen auch zu Einbußen bei der Produktivität führen (Leyk et al. 2019; Mora et al. 2017). Aus dem Monitoringbericht 2023 zur deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel wird deutlich, dass das Jahresmittel der Lufttemperatur in Deutschland im Flächenmittel mit Referenzzeitraum 1961-1990 seit 1881 bereits um 1,7°C gestiegen ist. Auch die Jahresdurchschnittstemperaturen des vergangenen Jahrzehnts unterstreichen diese Entwicklung: Vor 2014 gab es im gesamten Zeitraum der Wetteraufzeichnungen kein Jahr mit einem Jahresdurchschnitt größer als 10°C, seitdem war das insgesamt sechsmal der Fall. Die zukünftige Entwicklung hängt insbesondere für den Zeitraum am Ende des 21. Jahrhunderts stark von dem eintretenden Emissionsszenario (RCP 2.6 bzw. RCP 8.5) ab, ein weiterer Anstieg der Temperaturen ist jedoch zu erwarten (Umweltbundesamt 2023).

Beschäftigte gehören hierbei zu denjenigen, die durch Hitzebelastung am meisten gefährdet sind, da sie häufig in höherem Maße und länger mit Hitze exponiert sind als die Allgemeinbevölkerung (Kiefer et al. 2016). Dabei können grundsätzlich alle Beschäftigten, sowohl in Gebäuden als auch im Freien, von übermäßiger Hitzebelastung betroffen sein – weltweit sind aktuell 70% aller Beschäftigten (2,41 Mrd., (ILO 2024) von übermäßiger Hitzebelastung bei der Arbeit betroffen. Übermäßige Hitzebelastung bezeichnet hierbei ein Ausmaß an vom Körper aufgenommener Wärme, welches nicht ohne physiologische Einschränkungen toleriert werden kann (Kjellstrom et al. 2019). Auch steigt die Anzahl der betroffenen Beschäftigten global an, in keiner Region jedoch so stark wie in Europa und Zentralasien: Seit dem Jahr 2000 ist der Anteil der exponierten Beschäftigten um 17,3% auf 29,0% der Beschäftigten angestiegen (Flouris et al. 2024). Speziell für Deutschland ergibt sich aus dem aktuellen Bericht der International Labour Organization (ILO) zu Hitzebelastung bei der Arbeit ein Anstieg um fast 43% auf etwa 9,7 Mio. betroffene Beschäftigte für den Zeitraum 2000-2020. Interessanterweise ist im Vergleich dazu im selben Zeitraum die Anzahl der gemeldeten hitzebedingten Gesundheitsschäden (ohne Todesfolge) bei der Arbeit von 4864 auf 3438, also um fast 30% rückläufig.

Neben den gesundheitlichen Folgen von übermäßiger Hitzebelastung hat diese auch ökonomische Auswirkungen. Reduzierte körperliche und geistige Leistungsfähigkeit führen zu verringerter Produktivität und die Behandlungskosten hitzebedingter Erkrankungen belasten das Gesundheitssystem. Basierend auf Daten des jüngsten Berichts der ILO zu Hitzebelastung sind für das Jahr 2020 von 2,68 Mrd. US-Dollar Produktivitätsverlusten durch *alle arbeitsbedingten Gesundheitsschäden* knapp 24 Mio. USD Verluste nur auf Hitzeeinwirkung zurückzuführen¹. Darüber hinaus führen erhöhte Temperaturen auch zu mehr

¹ Hierbei ist zu beachten, dass zur Berechnung dieser Daten einige Annahmen getroffen wurden – bspw. dass jeder Beschäftigte an jedem Tag denselben Beitrag zum Bruttoinlandsprodukt leistet – sodass es sich um Schätzwerte handelt.



Arbeitsunfällen, mit einem Anstieg von 1% zusätzlicher Arbeitsunfälle pro 1 °C oberhalb des Temperaturwertes in der Referenzperiode (Fatima et al. 2021). Es wird allerdings auch berichtet, dass Arbeitsunfälle aufgrund von Hitzebelastung schwer zu erfassen sind und möglicherweise eine systematische Untererfassung vorliegt (Xiang et al. 2014; Eychenne und Fort 2024). Daraus würde folgen, dass die von der ILO geschätzten Verluste durch Hitzebelastung ebenfalls zu niedrig angegeben sind.

Grundsätzlich kann jeder Mensch gesundheitliche Schäden durch Hitzebelastung erleiden, jedoch gibt es verschiedene Faktoren, die das Risiko erhöhen. Neben den Umgebungsbedingungen wie Lufttemperatur und -feuchtigkeit können auch arbeitsbezogene Aspekte und persönliche Risikofaktoren Personen anfälliger für Hitze machen. Personengruppen, bei denen einer oder mehrere dieser Faktoren vorliegen, werden in dieser Arbeit als *Risikogruppen* beschrieben.

Ein weiterer Trend, der die Dringlichkeit der Thematik Hitzebelastung für Risikogruppen hervorhebt, ist der demographische Wandel: Fortgeschrittenes Alter ist einer der relevantesten Risikofaktoren, der Personen für Hitze anfälliger macht. Bis zum Jahr 2040 wird Berechnungen des Statistischen Bundesamtes zufolge die Anzahl älterer Person (> 67 Jahre) von derzeit 16,9 Mio. auf 20,9 Mio. ansteigen. Auch jenseits dieses Renteneintrittsalters hat sich der Anteil der Erwerbstätigen von 11% (2012) auf 19% (2022) erhöht. Dem gegenüber wird sich die Anzahl älterer Erwerbstätiger (55 – 67 Jahre) im selben Zeitraum allerdings von 15,4 Mio. auf 11,9 Mio. verringern (Statistisches Bundesamt 2022). Aber innerhalb dieser Alterskohorte (speziell die der 60- bis unter 65-Jährigen) hat sich die Erwerbsbeteiligung von 47% (2012) auf 63% (2022) gesteigert. Darüber hinaus nimmt auch die Bevölkerung in dicht bebauten, städtischen Ballungsräumen zu, die aufgrund von mehr versiegelten Flächen und weniger bepflanzten Bereichen mehr und länger Wärme speichern, was die Hitzebelastung in diesen Regionen noch verstärkt (Bundesinstitut für Öffentliche Gesundheit 2024).

Unter anderem in der Politikwerkstatt „Klima wandelt Arbeit“ wurde im Werkstattgespräch zum Themenfeld „Hitze und solare UV-Strahlung“ durch den Experten-Diskurs deutlich, dass die Definition und Identifikation von vulnerablen Gruppen bzw. Risikogruppen als eine Herausforderung mit zunehmender Bedeutung angesehen wird. Der Lehrstuhl für Arbeitssicherheit der Bergischen Universität Wuppertal wurde daher durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) beauftragt, mit diesem Gutachten einen Überblick zu schaffen über die diversen Faktoren, die den menschlichen Körper für Gesundheitsschäden durch Hitzebelastung besonders gefährden, entsprechende Risikogruppen abzuleiten und mit den bestehenden Definitionen in deutschen und internationalen Regelwerken zu vergleichen, sowie Handlungsempfehlungen für die regulatorische Anpassung aus den Ergebnissen zu schlussfolgern. Aufgrund der thematischen Nähe und der gemeinsamen Betrachtung im oben genannten Werkstattgespräch werden zusätzlich zum Schwerpunkt Hitzebelastung auch Risikofaktoren für solare UV-Strahlung in dieser Arbeit untersucht.



1.2 Thermoregulation

Der menschliche Körper benötigt für die uneingeschränkte Funktion von Zellen, Organen und Stoffwechselprozessen eine konstante Temperatur im Körperkern (Torso und Kopf) im Bereich zwischen 35,7 °C und 37,3 °C (Bauer et al. 2022). Aus der Umwelt aufgenommene bzw. an diese abgegebene Wärme und die durch metabolische Aktivität im Körper erzeugte Wärme können zu Abweichungen aus diesem idealen Bereich und zu physiologischen Einschränkungen oder Schäden führen. Um ein Gleichgewicht zwischen aufgenommener und abgegebener Wärme herzustellen, werden unter dem Begriff der *Thermoregulation* die Mechanismen und Prozesse zusammengefasst, mit denen der Körper seinen Wärmeaustausch beeinflussen kann. Die an der Thermoregulation beteiligten Körpersysteme werden im Folgenden erläutert.

Das autonome Nervensystem und das Hormonsystem des Körpers regulieren die Verteilung des Blutflusses zu den Organen. Dabei werden Gewebe mit Sauerstoff sowie Nährstoffen versorgt und Stoffwechselprodukte und Wärme abtransportiert. Bei einer anhaltenden intensiven Arbeit oder weniger intensiven Arbeit in heißer Umgebung reicht die Leistung des Herzens jedoch nicht mehr aus, um genügend Wärme abzuleiten (Rowell 1977, 1993).

Muskuläre Aktivität führt zu einer Erhöhung der Muskeltemperatur, welche mit einem Anstieg der Körpertemperatur verbunden ist (Taylor et al. 2008). Außerdem kann isolierende Bekleidung, wie persönliche Schutzausrüstung (PSA), einen Anstieg bewirken, da sie die Wärmeabgabe an die Umgebung behindert (Goldman 1973, 1985). Aufgrund dieser Zunahme werden Signale von Thermorezeptoren über das Rückenmark zum Gehirn weitergeleitet (Cramer et al. 2022). Diese temperatursensiblen afferenten Nerven liegen in der Haut, wobei es Hinweise auf die Existenz mehrerer thermosensibler Bereiche im Körper, wie dem Magen oder der Skelettmuskulatur gibt (Campero et al. 2009; Hallin et al. 1982; Konietzny und Hensel 1975, 1977; Morris et al. 2014; Todd et al. 2014).

Der Hypothalamus ist das primäre Steuerungszentrum der Thermoregulation und reguliert die Körpertemperatur innerhalb bestimmter Grenzen (Mekjavic und Eiken 2006). Übersteigt die Temperatur diese Grenzen, so werden die Thermoeffektoren ausgelöst. Thermoeffektoren sind Reaktionen bzw. Prozesse, Organe oder Gewebe, die die Körpertemperatur beeinflussen (Romanovsky 2018). Sie lösen Reaktionen zur Wärmeabgabe aus, wie die Schweißproduktion und -sekretion oder das Erweitern der Blutgefäße (Vasodilatation), und beeinflussen den Wärmeaustausch zwischen Körper und Umgebung, sodass der Anstieg der Körperkerntemperatur minimiert wird (Cramer et al. 2022). Das Erweitern der Blutgefäße ist für nahezu den gesamten Anstieg des Blutflusses zur Haut verantwortlich (Johnson et al. 2014). Das Herz-Kreislauf-System transportiert das warme Blut aus dem Körperkern zur tendenziell kühleren Körperoberfläche, sodass die Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Ist die Wärmeabgabe über Wärmestrahlung, Konduktion (Wärmeleitung an einen Festkörper) oder Konvektion (Wärmeaustausch über ein Medium wie Wasser/Luft) nicht mehr möglich, bspw. wenn die Umgebung gleich warm oder wärmer als die Hautoberfläche ist, wird Wärme primär über das Verdunsten von Schweiß, also Verdunstungskühle auf der Haut abgegeben.



Allerdings sind auch der Wärmeabgabe über Schweißverdunstung Grenzen gesetzt, wenn eine als „Schwülegrenze“ bezeichnete Kombination aus Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte überschritten wird (ASR A3.5, 2022). Unter diesen Bedingungen kann die Umgebungsluft nur in eingeschränktem Maße zusätzliches verdunstendes Wasser aufnehmen, sodass Schweiß auf der Haut verbleibt und nur zum Flüssigkeitsverlust, nicht zur Wärmeabgabe beiträgt (vgl. Kühlgrenztemperatur) (Wolf et al. 2022; Wouters et al. 2022). Die Schweißdrüsen werden vom Sympathikus gesteuert und geben eine wässrige Lösung an die Hautoberfläche ab (Taylor et al. 2008). Bei wiederholter Exposition gegenüber Hitze passt sich der Körper an, indem die Schweißproduktion erhöht wird und das Schwitzen früher einsetzt (vgl. Akklimatisation) (Takamata et al. 2001).

Ein weiterer Mechanismus um den Wärmeaustausch zu beeinflussen ist das Anpassen des Verhaltens. Dazu zählen unter anderem das Verlassen des warmen Bereiches, das An- oder Ablegen von Kleidung, vermehrte Flüssigkeitsaufnahme oder die Änderung der Umgebungsbedingungen (Taylor und Groeller 2008).

1.3 Hitzebedingte Erkrankungen

Sind die Möglichkeiten der Thermoregulation unzureichend, um genügend Wärme aus dem Körperkern abzuleiten und an die Umgebung abzugeben, wird Wärme zunehmend im Gewebe gespeichert und erhöht somit die Körperkerntemperatur. Damit gehen – abhängig von Ausmaß und Dauer der Überhitzung des Körperkerns und dem individuellen Gesundheitszustand – eine Vielzahl von Symptomen und gesundheitlichen Einschränkungen einher, sogenannte *hitzebedingte Erkrankungen*. Diese sind unmittelbare Folgen der übermäßigen Hitzebelastung. Zudem können auch die Reaktionen des Körpers zur Thermoregulation ihrerseits Gefährdungen für die Gesundheit bewirken.

- **Hitzeerschöpfung** Bei einer Hitzeerschöpfung wird der Kreislauf durch eine Verringerung des zirkulierenden Blutvolumens aufgrund eines massiven Flüssigkeitsverlustes sowie durch die Konkurrenz der Durchblutung von Haut und Muskeln belastet (DOD 2003; Minard 1973; OSHA-NIOSH 2011). Symptome sind unter anderem Kopfschmerzen, Übelkeit, Schwäche, starkes Schwitzen und eine leichte Erhöhung der Körpertemperatur auf bis zu 39 °C. Die Hitzeerschöpfung wird auch als Vorstufe zum Hitzschlag angesehen (Joy und Goldman 1968).
- **Hitzschlag** Zu den Symptomen eines *klassischen Hitzschlags* zählen unter anderem eine Störung der Funktion des zentralen Nervensystems, welche sich über Bewusstlosigkeit und Krämpfe, ausbleibendes Schwitzen und einen Anstieg der Körpertemperatur auf über 41 °C äußern (Khogali und Hales 1983; Leithead und Lind 1964; Minard und Copman 1963; Shibolet et al. 1976). Als Folge des Temperaturanstiegs ergibt sich der Ausfall der kognitiven Ansteuerung für das Schwitzen, was zu einem Verlust der Verdunstungskälte auf der Haut führt (DOD 2003;



Minard 1973; OSHA-NIOSH 2011). Im zeitlichen Verlauf sind nahezu alle Gewebe und Organe betroffen (Dukes-Dobos 1981). Im Folgenden gibt es Anzeichen für die Brüchigkeit kleinerer Blutgefäße, sowie für eine Störung des Blutgerinnungsmechanismus und der Leber- und Nierenfunktion (DOD 2003; Navy Environmental Health Center 2007). Bei einem *anstrengungsbedingten Hitzschlag* hält das Schwitzen häufig an und das daraus resultierende Risiko für Nierenversagen liegt bei ca. 25% (Armstrong et al. 2007). In Verbindung mit einem anstrengungsbedingten Hitzschlag kann es zudem zu einer Rhabdomyolyse kommen, dem rapiden Absterben und Abbau von Muskelgewebe. Beim Absterben werden Elektrolyte, unter anderem Kalium, Eiweiße wie Myoglobin sowie weitere Stoffe in die Blutbahn freigesetzt (Cervellin et al. 2010). Ein hoher Kaliumspiegel kann Herzrhythmusstörungen und als mögliche Folge einen Herzstillstand auslösen, Myoglobin kann zu Nierenschäden führen (Abassi et al. 1998; Sauret et al. 2002). Des Weiteren schwellen verletzte Muskeln möglicherweise an und verhindern die Durchblutung der gesamten Muskelgruppe, woraus Funktionsverluste und dauerhafte Behinderungen entstehen können (Cervellin et al. 2010; DOD 2003; Minard 1973). Eine Rhabdomyolyse äußert sich über Muskelschmerzen, Schwellungen, Schwächeanfälle und dunkel gefärbten Urin, wobei auch Unwohlsein, Übelkeit oder Fieber auftreten können (Sauret et al. 2002).

- **Hitzekrämpfe** Hitzekrämpfe können durch einen Salz- und Elektrolytverlust durch erhöhtes Schwitzen ohne ergänzende Einnahme von Salz ausgelöst werden (DOD 2003). Sie äußern sich in Form von Muskelkrämpfen, Schmerzen sowie Spasmen in Unterleib, Armen oder Beinen (Minard 1973; OSHA-NIOSH 2011).
- **Hitzekollaps** Die Weitung der Blutgefäße führt zu einem größeren Volumen des Blutkreislaufs, dem durch Flüssigkeitsverlust bereits ein reduziertes zirkulierendes Blutvolumen zur Verfügung steht. Sammelt sich zusätzlich noch Blut in den peripheren Venen an, kann der Blutdruck soweit absinken, dass es zu einer Mangeldurchblutung des Gehirns und einem vorübergehenden Kreislaufversagen kommt. Dies kann insbesondere bei längerem Stehen oder plötzlichem Aufstehen zur Bewusstseinsverlust führen. Dehydratation und mangelnde Akklimatisierung begünstigen einen Hitzekollaps (DOD 2003; Leyk et al. 2019; Minard 1973).
- **Hitzeausschlag** Der Hitzeausschlag tritt überwiegend in Form von roten Papeln auf. Diese entstehen, wenn die Haut dauerhaft durch nicht verdunsteten Schweiß bedeckt ist, sie daraufhin anschwillt und die Schweißdrüsen verstopft (DiBeneditto und Worobec 1985; Pandolf et al. 1980a, 1980b). Bei ausbleibender Behandlung können sich die Papeln entzünden und eine Staphylokokken-Infektion hervorrufen (DOD 2003). Der Ausschlag kann auch in Form von wässrigen Bläschen erscheinen, die bei geschädigter Haut, wie bei Sonnenbränden, auftreten. Die Bläschen bilden sich dadurch, dass die geschädigte Haut den Schweißaustritt verhindert und bilden sich wieder zurück, wenn das Schwitzen aufhört (Pandolf et al. 1980a, 1980b). Eine dritte



Form des Ausschlags tritt mit blassen Erhebungen auf der Haut, ähnlich zu Gänsehaut, auf. Sie entstehen durch eine Blockierung der Schweißdrüsen unter der Hautoberfläche (Pandolf et al. 1980a, 1980b).

- **Hitzeödem** Bei Hitzeödemen schwellen die Gliedmaßen durch die Erweiterung der Blutgefäße und das Ansammeln von Blut in Zwischenräumen von Geweben oder Zellen an (Marx et al. 2014).
- **Sonnenstich** Ein Sonnenstich entsteht durch die lokale Überhitzung von Kopf und Nacken. Symptome sind u.a. Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Benommenheit und ein roter, heißer Kopf. Normalerweise steigt die Körperkerntemperatur bei einem Sonnenstich nicht an (Enke und Knacke 2009; Ziegenfuß 2017).
- **Auswirkungen auf die psychische Gesundheit und Folgen für die Tätigkeit** Hitzestress kann zu einem Abfall der Leistungsfähigkeit führen und emotionale Zustände, wie Gereiztheit, Ängste oder Wut, auslösen. Emotionen wie Wut, Gereiztheit, Verwirrung oder allgemein emotionaler Stress durch Hitze belasten zwischenmenschliche Beziehungen zu Mitarbeitenden und können zu Konflikten am Arbeitsplatz, einem eingeschränkten Urteilsvermögen und einer schlechteren Arbeitsmoral bzw. -leistung führen. Die mit Hitzeperioden assoziierte höhere Anzahl an Arbeitsunfällen wird u.a. darauf und auf die Tendenz von Beschäftigten zurückgeführt, bei Hitze ihre PSA abzulegen oder Sicherheitsmaßnahmen zu missachten (Bates und Schneider 2008; Lundgren et al. 2013; Rowlinson et al. 2014; Sultana et al. 2015). Hitzestress ist außerdem ein Auslöser für Depressionen, Absentismus und wird mit einer erhöhten Suizidrate in Verbindung gebracht (Karthick et al. 2023).
- **Weitere Auswirkungen** Die Erhöhung der Herz- und Atemfrequenz durch die Thermoregulation des Körpers belastet, neben weiteren Faktoren, das Herz-Kreislauf-System, wodurch sich bestehende Vorerkrankungen dieses Körpersystems verschlimmern können. Die Belastung führt aber auch zu einem erhöhten Risiko für Atemwegsentzündungen und entsprechend zur Verschlimmerung von Atemwegserkrankungen (WHO 2021). Zudem werden Nierenschäden mit Hitzestress in Verbindung gebracht, insbesondere aufgrund von Flüssigkeitsverlust und Dehydratation. Ein wiederholt auftretendes akutes Nierenversagen kann sich zu einer chronischen Erkrankung entwickeln und langfristig einen vollständigen Ausfall der Nierenfunktion verursachen (Chatterjee 2016; Flouris et al. 2018; Glaser et al. 2016; Schlader et al. 2019; Weiner et al. 2013; Wesseling et al. 2014).



2 Methodischer Zugang

Inhaltlich teilt sich dieses Gutachten auf in eine Feststellung der rechtlichen Situation zu Risikogruppen und eine Synthese des Forschungsstandes zum Thema Risikofaktoren für Hitze und solare UV-Strahlung. Für die Erstellung der Arbeit wurde für Ersteres eine explorative Recherche nach Rechtsvorschriften, aber auch technischen Regeln und Beiträgen staatlicher Arbeitsschutzorganisationen in Deutschland und international durchgeführt. Der Fokus liegt hierbei auf Gesetzen und anderen verbindlichen Rechtsvorschriften, mit absteigender Priorität hin zu Leitfäden oder ähnlichen Informationen empfehlender Art.

Um den Stand der Wissenschaft zum Thema Risikofaktoren für Hitzebelastung und solare UV-Strahlung abzubilden, wurde weiterhin eine systematische Literaturrecherche in den Datenbanken PubMed, Google Scholar und BASE durchgeführt. Aufgrund des thematischen Schwerpunkts der Risikogruppen von Beschäftigten werden hauptsächlich wissenschaftliche Studien mit arbeitsbedingter Hitzebelastung einbezogen, ergänzt um Studien zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze allgemein.

3 Rechtliche Situation

3.1 Stand in Deutschland

3.1.1 Besonders schutzbedürftige Gruppen bezüglich Hitzebelastung im deutschen Vorschriften- und Regelwerk

Eine Anfrage an die KomNet-Wissensdatenbank vom 24.12.2023 ergab für die Fragestellung, welche besonders schutzbedürftigen Beschäftigtengruppen aus Sicht des Arbeitsschutzes festgelegt sind, Verweise u.a. auf die folgenden Quellen:

Im staatlichen Regelwerk ist im ArbSchG § 4 Nr. 6 festgelegt, dass „*spezielle Gefahren für besonders schutzbedürftige Beschäftigtengruppen zu berücksichtigen sind*“. Weitere Gesetze und Verordnungen des staatlichen Rechts betreffen gemäß der Unfallkasse Hessen (2024) explizit bestimmte Gruppen von Beschäftigten und deren besonderen Schutz:

- die Kinderarbeitsschutzverordnung (KindArbSchV) mit Regelungen zum Schutz von beschäftigten Kindern ab 13 Jahren.
- das Jugendarbeitsschutzgesetz (JArbSchG) regelt den Schutz von Menschen unter 18 Jahren, in Abgrenzung zur KindArbSchV gelten Personen unter 15 Jahren als Kind.
- das Mutterschutzgesetz (MuSchG) enthält Regelungen zum Schutz der Gesundheit von Schwangeren und Stillenden, sowie ihren Kindern bei der Arbeit.
- die UN-Behindertenrechtskonvention (UN-BRK) regelt die Gleichberechtigung von Menschen mit Behinderung, darunter den Zugang zur Arbeitswelt. Diese ist seit 2009 in nationalem Recht umgesetzt und verpflichtet staatliche Einrichtungen und Körperschaften öffentlichen Rechts zur Schaffung entsprechender Bedingungen.
- das Sozialgesetzbuch IX (SGB IX) regelt die Rehabilitation und Teilhabe behinderter und den besonderen Schutz schwerbehinderter Menschen. (Unfallkasse Hessen 2024)



Ähnlich zu § 4 Nr.6 ArbSchG wird auch in der Allgemeinen Bundesbergverordnung (ABergV) § 2 „Allgemeine Pflichten“ festgelegt, dass spezielle Gefahren für besonders schutzbedürftige Beschäftigtengruppen und besondere Belange von Behinderten entsprechend Art und Schwere der Behinderung bei der Gestaltung von Maßnahmen zum Arbeits- und Gesundheitsschutz zu berücksichtigen sind.

Im autonomen Recht der Unfallversicherer verweist wiederum die DGUV Vorschrift 1 § 2 Nr. 2 bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Prävention von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren auf diesen § 4 des ArbSchG.

Weiterhin gibt die BG Verkehr bei ihren Hilfestellungen zur Erstellung der Gefährdungsbeurteilung Hinweise zu besonderen Vorgaben hinsichtlich der Sicherheit besonderer Beschäftigtengruppen. Dort werden ebenfalls schwangere und stillende Beschäftigte, sowie Jugendliche unter 18 Jahren zu diesen gezählt, mit Verweis auf das MuSchG und das JArbSchG (BG Verkehr 2025).

Darüber hinaus werden in § 2 der Verordnung (VO) zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (EMFV) Beschäftigte als *besonders schutzbedürftig* im Sinne der Verordnung bestimmt, deren Thermoregulation eingeschränkt ist.

Bezüglich Hitzebelastung und Risikogruppen findet sich in der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.5 folgende Erwähnung: „...hinsichtlich erhöhter Lufttemperatur gesundheitlich Vorbelastete und besonders schutzbedürftige Beschäftigte (z. B. Jugendliche, Ältere, Schwangere, stillende Mütter)[...]“

In der Lärm- und Vibrationsarbeitsschutz-VO § 3, sowie in der VO zum Schutz vor künstlichen optischen Strahlungen § 3 wird der Begriff der „*besonders gefährdeten Gruppen*“ im Kontext der Gefährdungsbeurteilung, insbesondere bzgl. der zu beurteilenden Auswirkungen verwendet. In den für Hitzebelastung relevanten Rechtsvorschriften hat diese Gruppenbezeichnung jedoch bislang keine Relevanz .

3.1.2 Inhaltliche Konkretisierung in ausgewählten Vorschriften

Für schwängere Frauen sieht das MuSchG vor, dass diese keinen Arbeitsbedingungen ausgesetzt werden dürfen, bei denen *physikalische Einwirkungen* eine *unverantwortbare Gefährdung* für Mutter oder Kind darstellen (§ 11 Absatz 3 Nr. 3). Als physikalische Einwirkungen sind hier insbesondere Hitze, Kälte oder Nässe, aber auch ionisierende und nicht-ionisierende Strahlung (wie solare UV-Strahlung) zu berücksichtigen. Eine unverantwortbare Gefährdung liegt dann vor, „wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Gesundheitsbeeinträchtigung angesichts der zu erwartenden Schwere des möglichen Gesundheitsschadens nicht hinnehmbar ist“ (§ 9 Absatz 2).

Weiterhin ist im MuSchG für stillende Frauen festgelegt, dass diese ebenfalls keinen Arbeitsbedingungen ausgesetzt werden dürfen, bei denen *physikalische Einwirkungen* für sie und ihr Kind eine *unverantwortbare Gefährdung* darstellen (§ 12 Absatz 3). Im Gegensatz zu



schwangeren Frauen wird hier Hitze nicht als insbesondere zu berücksichtigende physikalische Einwirkung genannt, allerdings auch nicht ausgeschlossen.

Um den betrieblichen Gesundheitsschutz von schwangeren und stillenden Frauen zu gewährleisten, hat der Arbeitgeber eine Gefährdungsbeurteilung für jede Tätigkeit der beschäftigten Frau durchzuführen und alle Gefährdungen zu ermitteln, denen die Mutter und ihr (ungeborenes) Kind ausgesetzt sind oder sein können. Dies ist erforderlich, sobald die Beschäftigte dem Arbeitgeber mitgeteilt hat, dass sie schwanger ist oder stillt. Werdene Mütter sind in jedem Fall über das Ergebnis dieser Gefährdungsbeurteilung zu informieren (§ 14 Absatz 3). Entsprechend des Ergebnisses der Gefährdungsbeurteilung müssen die Arbeitsbedingungen durch geeignete Schutzmaßnahmen so gestaltet werden, dass Gefährdungen für die schwangere oder stillende Beschäftigte möglichst vermieden werden und eine unverantwortbare Gefährdung ausgeschlossen ist. Falls das nicht möglich oder für den Arbeitgeber nicht zumutbar ist, hat der Arbeitgeber die Frau an einem anderen Arbeitsplatz einzusetzen, soweit dies möglich und für die Frau zumutbar ist. Falls auch das nicht möglich ist, darf der Arbeitgeber die Frau für die Dauer der Schwangerschaft bzw. Stillzeit nicht weiter beschäftigen. Es ist weiterhin für den Arbeitgeber nicht zulässig, der Frau Heimarbeit zuzuweisen, wenn die unverantwortbaren Gefährdungen nicht durch Schutzmaßnahmen ausgeschlossen werden können (in Anlehnung an § 13 Abs. 2).

Jugendliche dürfen nach JArbSchG nicht mit Tätigkeiten beschäftigt werden, bei denen ihre Gesundheit durch außergewöhnliche Hitze gefährdet wird (§ 22 Absatz 1 Nr. 4). Dieselbe Vorschrift findet sich ebenfalls im Seearbeitsgesetz (SeeArbG) § 117 für den besonderen Schutz jugendlicher Besatzungsmitglieder. In beiden Gesetzen gibt es hierfür jedoch Ausnahmen, falls dies zum Erreichen des Ausbildungszieles erforderlich und der Schutz durch fachkundige Aufsichtspersonen sichergestellt ist. Falls in dem Betrieb ein Betriebsarzt oder Fachkraft für Arbeitssicherheit verpflichtet ist, muss die betriebsärztliche oder sicherheitstechnische Betreuung der Jugendlichen sichergestellt sein. In Betrieben, bei denen Beschäftigte in außergewöhnlichem Maße Hitze ausgesetzt sind, dürfen Jugendliche in der warmen Jahreszeit ab 5 Uhr beschäftigt werden. Vor Beginn der Beschäftigung und danach in regelmäßigen Abständen dürfen sich Jugendliche arbeitsmedizinisch untersuchen lassen – die Kosten dafür sind vom Arbeitgeber zu tragen (§ 14 Absatz 6).

In der KindArbSchV werden die für Kinder gemäß Definition des JArbSchG zulässigen Beschäftigungen bestimmt, sodass nur leichte und für Kinder geeignete Tätigkeiten erlaubt sind. Eine Beschäftigung ist leicht, wenn die Tätigkeit und die Arbeitsbedingungen die Sicherheit, Gesundheit und Entwicklung der Kinder, ihren Schulbesuch oder Berufsausbildung bzw. die Fähigkeit diesen nutzbringend zu folgen, nicht nachteilig beeinflussen. Darüber hinaus werden für Kinder keine konkreten Einschränkungen hinsichtlich physikalischer Einwirkungen wie Hitze festgelegt, allerdings müssen die zulässigen Beschäftigungen für Kinder denselben Anforderungen des JArbSchG genügen, wie für die Beschäftigung von Jugendlichen.



Das SGB IX regelt bei den Pflichten des Arbeitgebers und Rechten schwerbehinderter Menschen (§ 164 Absatz 4 Nr. 4 und 5), dass die Arbeitsstätte behinderungsgerecht eingerichtet und betrieben, sowie die Gestaltung von Arbeitsplätzen, -umfeld, -organisation und -zeit unter besonderer Berücksichtigung der Unfallgefahr durchgeführt wird. Weiterhin gilt ein Anspruch der behinderten Person auf eine Ausstattung des Arbeitsplatzes mit den erforderlichen technischen Arbeitshilfen. Der Anspruch auf behinderungsgerechte Beschäftigung entfällt allerdings, wenn die Erfüllung für den Arbeitgeber nicht zumutbar ist oder durch die Umsetzung Arbeitsschutzvorschriften nicht eingehalten werden können. Konkrete Einschränkungen der erlaubten Exposition von schwerbehinderten Beschäftigten mit Hitze werden hier nicht festgelegt.

Die Bestimmung von Beschäftigten mit eingeschränkter Thermoregulation als besonders schutzbedürftig im Sinne der EMFV hat zum Ziel, dass für diese Beschäftigten niedrigere Expositionsgrenzwerte gelten, da unter bestimmten Bedingungen durch diese EM-Felder eine Energieabsorption im Gewebe, also ein Wärmeeintrag in den Körper vorliegen kann. Die gesonderte Bewertung der Gefährdungssituation für diese Beschäftigten wird auch in der Technischen Regel zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz (TREM-F HF) konkretisiert.

Grundsätzlich ergibt sich aus den Regelungen zur Raumtemperatur der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) keine verbindliche maximale Raumtemperatur und keine Sonderregelung für besondere Personengruppen. Diesbezüglich weist die Arbeitsstättenregel (ASR) 3.5 darauf hin, dass die Lufttemperatur in Arbeitsräumen 26°C nicht überschreiten soll, aber in bestimmten Fällen bei Tätigkeiten über 26°C eine Gesundheitsgefährdung vorliegen kann. Das ist bspw. der Fall bei „hinsichtlich erhöhter Lufttemperatur gesundheitlich Vorbelasteten und besonders schutzbedürftigen Beschäftigten (z. B. Jugendliche, Ältere, Schwangere, stillende Mütter)“. Die für den Gesundheitsschutz erforderlichen Maßnahmen müssen auf Grundlage einer angepassten Gefährdungsbeurteilung und unter Beteiligung des Betriebsarztes, der Fachkraft für Arbeitssicherheit, sowie der Beschäftigtenvertretung festgelegt werden.

Im „Fachbuch Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Fassung 2016, zurückgezogen) wurde in der Anleitung zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung ebenfalls auf besonders schutzbedürftige Personen hingewiesen. Zusätzlich zu den gesetzlich festgeschriebenen Gruppen der Jugendlichen, schwangeren und stillenden Müttern, sowie Beschäftigten mit Behinderung, werden dort auch Rehabilitanden zu den besonders schutzbedürftigen Beschäftigten gezählt. Die für diese Beschäftigtengruppen geltenden Beschäftigungsbeschränkungen, die sich aus den oben genannten Gesetzen ergeben, sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung auf Einhaltung zu prüfen.



3.1.3 Begriffsdefinitionen

Es ist ersichtlich, dass das Schutzziel im § 4 Nr. 6 ArbSchG auf Verordnungs- und Regelungsebene nicht konkretisiert, welche Personengruppen als *besonders schutzbedürftig* anzusehen sind. Weiterhin wird auch die Begrifflichkeit „besonders schutzbedürftig“ nicht definiert, was die Feststellung erschwert, welche Beschäftigten sich darauf berufen können.

Im Folgenden werden daher thematisch ähnliche Fachbegriffe und deren Definitionen betrachtet, wie sie von staatlichen Institutionen oder in (Kommentaren zu) Gerichtsurteilen formuliert sind. Anschließend soll daraus eine Vereinheitlichung der Begriffe und die Festlegung einer sinnvollen Definition von *besonders schutzbedürftigen Beschäftigtengruppen* gefolgert werden.

Vulnerabilität (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)): Maß für die anzunehmende Schadensanfälligkeit eines Schutzgutes in Bezug auf ein bestimmtes Ereignis (Zusammentreffen Gefahr [Zustand/Vorgang durch den ein Schaden/negativ bewertete Auswirkung auf ein Schutzgut einwirkt] und Schutzgut)

Vulnerabel (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)): Als vulnerable Bevölkerungsgruppen versteht man in der Entwicklungszusammenarbeit Menschen, die nicht in der Lage sind, Herausforderungen aus eigener Kraft zu bewältigen, und daher unter Krisen besonders leiden.

Resilienz (BBK): Fähigkeit eines Systems, Ereignissen zu widerstehen bzw. sich daran anzupassen und dabei seine Funktionsfähigkeit zu erhalten oder möglichst schnell wieder zu erlangen.

Resilienz (BMZ): Bezogen auf den Menschen beschreibt Resilienz die Fähigkeit von Personen oder Gemeinschaften, schwierige Lebenssituationen wie Krisen oder Katastrophen ohne dauerhafte Beeinträchtigung zu überstehen. Resilienz in Bezug auf den Klimawandel bedeutet zum Beispiel, dass der Mensch lernt, mit den Risiken und Folgen der globalen Erwärmung zu leben, sein Verhalten daran anzupassen und künftigen Krisen vorzubeugen.

Besonders schutzbedürftige Beschäftigte (beck-online: Landmann/Rohmer GewO/Wiebauer ArbSchG § 4 Rn. 52-57): Beschäftigte (Gruppe von Beschäftigten) die von einer Gefahr ausschließlich oder in einem besonderen Maße betroffen ist

Besonders gefährdet (Richtlinie 89/391 EWG Artikel 15) „Besonders gefährdete Risikogruppen müssen gegen die speziell sie bedrohenden Gefahren geschützt werden.“ UND (BAD Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH) „Jeder Arbeitnehmer kann aber aufgrund seiner Tätigkeit zu einer Gruppe besonders gefährdeter Arbeitnehmer gehören, wenn er diese in besonderen Gefahren- oder Risikobereichen ausübt. Beispielsweise sind Personen besonders gefährdet, die mit speziellen Stoffen wie Asbest umgehen müssen oder die bei der Arbeit hohen Lärmpegeln ausgesetzt sind.“



Besondere Gefahr (Beratungsgesellschaft für Arbeits- und Gesundheitsschutz mbH) „Besondere Gefahr ist gleichzusetzen mit dem Begriff „unmittelbar erhebliche Gefahr“. Beide Begriffe bezeichnen eine Sachlage, bei der der Eintritt eines Schadens ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen sehr wahrscheinlich ist oder sein Eintritt nicht mehr abgewendet werden kann und der Schaden nach Art oder Umfang besonders schwer ist.“ UND (Quelle suva.ch) „Besondere Gefahren bedeutet: diese Tätigkeiten haben überdurchschnittlich häufig schwere Unfälle oder Berufskrankheiten zur Folge.“

Besonders exponiert (REACH-Info 11) „Exposition bedeutet allgemein das Ausgesetztsein des Menschen oder der Umwelt gegenüber Einflüssen.“ Besonders exponiert bedeutet entsprechend ein überdurchschnittlich stark ausgeprägtes Ausgesetztsein gegenüber Einflüssen oder auch einem unüblichen Einfluss (z. B. unüblich für die spezielle Tätigkeit oder den Arbeitsort).

3.2 Rechtlicher Stand international

3.2.1 Begriffsdefinitionen

Im Folgenden werden Synonyme und fachlich verwandte Begriffe aus dem Themenfeld besonders schutzbedürftiger Beschäftigtengruppen im Kontext von Hitzebelastung und Exposition mit solarer UV-Strahlung auf internationaler Ebene betrachtet. Dabei liegt der Fokus auf festgelegten Begrifflichkeiten und Definitionen, die von Organisationen der Vereinten Nationen und von Ministerien bzw. anderen staatlichen Institutionen veröffentlicht wurden.

Vulnerability (Intergovernmental Panel on Climate Change): Summenmaß aus all den schützenden Faktoren und Risikofaktoren, die bestimmen, ob Personen(gruppen) negative Gesundheitsauswirkungen erleben UND (US Environmental Protection Agency): Die Vulnerabilität einer Person für Auswirkungen des Klimawandels setzt sich zusammen aus und wird beeinflusst durch:

- Exposition, diese hängt davon ab wo und wie lange sich Personen aufhalten und was sie dort tun
- Sensitivität/Anfälligkeit, diese hängt von persönlichen Faktoren wie Alter und dem Gesundheitszustand ab
- Anpassungsfähigkeit, beschreibt die Fähigkeit einer Person, sich auf Gefährdungen (des Klimawandels) einzustellen, daraus Nutzen zu ziehen oder darauf zu reagieren. Dies wird u.a. beeinflusst durch das Einkommen, Alter, Lebenssituation, Zugang zu Gesundheitsversorgung etc.

Sensitivity (Intergovernmental Panel on Climate Change): ein Maß für die erhöhte (in Relation zur „Normalbevölkerung“) Empfänglichkeit/Anfälligkeit einer Person(engruppe) gegenüber einer Exposition – häufig aus biologischen Gründen – durch Faktoren wie Entwicklungsstatus,



Vorerkrankungen, erworbene Faktoren (Immunität), genetische Faktoren oder auch den sozioökonomischen Status.

Vulnerable workers (International Labour Organization) Es gibt zwar keine allgemein anerkannte Definition des Begriffs „schutzbedürftige Arbeitnehmer“, aber der Begriff wird häufig verwendet, um diejenigen zu bezeichnen, deren Beschäftigung prekär, schlecht bezahlt und manchmal gefährlich ist und die häufig unter einer Form von Diskriminierung leiden. Sie sind nicht auf einen bestimmten Beschäftigungssektor oder eine bestimmte Gruppe beschränkt, obwohl sie häufig in der informellen Wirtschaft arbeiten. Gefährdete Arbeitnehmer sind auch nicht auf ein bestimmtes Land oder eine bestimmte Region beschränkt, sondern sind sowohl in Entwicklungs- als auch in Industrieländern weltweit anzutreffen².

Vulnerable workers (European Agency for Safety and Health at Work, 2022) Die EU-OSHA definiert gefährdete Arbeitnehmer als „bestimmte Gruppen, die möglicherweise stärker durch Arbeitsunfälle oder Krankheiten gefährdet sind als andere oder die besondere Überlegungen anstellen, die im Zusammenhang mit Sicherheit und Gesundheitsschutz berücksichtigt werden müssen“³.

Vulnerable workers (Health and Safety Authority Ireland): Vulnerable Beschäftigte sind Personen, die im Vergleich zur allgemeinen Arbeitsbevölkerung besonders empfindlich oder übermäßig stark potenziellen Gesundheits- und Sicherheitsrisiken ausgesetzt sind⁴.

Vulnerable workers (Health and Safety Executive UK) Die Health and Safety Executive definiert vulnerable Beschäftigte als „diejenigen, die Gefahr laufen, dass ihnen ihre Ansprüche am Arbeitsplatz verweigert werden, und die nicht über die Fähigkeit oder die Mittel verfügen, diese zu sichern“⁵.

Vulnerable employment (United Nations) Gefährdete Beschäftigung wird definiert als die Summe der Beschäftigungsgruppen der Selbstständigen und der mithelfenden Familienangehörigen. Es ist unwahrscheinlich, dass sie formale Arbeitsvereinbarungen haben, und es ist daher wahrscheinlicher, dass sie keine angemessenen Arbeitsbedingungen, keine angemessene soziale Sicherheit und keine „Stimme“ durch eine wirksame Vertretung durch Gewerkschaften und ähnliche Organisationen haben. Gefährdete Beschäftigungsverhältnisse

² While there is no generally accepted definition of “vulnerable worker”, the term is often used to refer to those for whom employment is precarious, poorly paid and sometimes dangerous, and who often suffer from some form of discrimination. They are not restricted to one particular employment sector or group, though they often work in the informal economy. Vulnerable workers are also not confined to one country or region but are to be found in both developing and industrialized countries worldwide.

³ EU-OSHA defines vulnerable workers as ‘certain groups who may be more at risk from occupational accidents or ill-health than others or those that have special considerations that may need to be taken account of in a health and safety context’

⁴ Vulnerable Workers are people who may be particularly sensitive or over exposed to potential health and safety risks in comparison to the general working population

⁵ The Health and Safety Executive defines vulnerable workers as “those who are at risk of having their workplace entitlements denied, and who lack the capacity or means to secure them.”



sind häufig durch unzureichende Verdienste, geringe Produktivität und schwierige Arbeitsbedingungen gekennzeichnet, die die Grundrechte der Arbeitnehmer untergraben⁶.

Vulnerable employment (International Labour Office): Selbstständige und mitarbeitende Familienangehörige werden als vulnerabel Beschäftigte bezeichnet.

Es ist festzustellen, dass im internationalen Bereich für den Begriff „besonders schutzbedürftig“ keine spezifische Übersetzung vorhanden ist und häufig mit Vulnerabilität gleichgesetzt oder zumindest verbunden wird. „Schutzbedürftig“ wird als „vulnerable“ übersetzt. Darüber hinaus wird der im Deutschen verwendete Begriff der „besonderen Schutzbedürftigkeit“ mit Fokus auf *besonders* in der englischen Übersetzung nicht übertragen, bspw. durch „particular“. Teilweise werden diese Personengruppen auch durch ein höheres Risiko gekennzeichnet bzw. durch das Risiko erhöhende Eigenschaften, die diese Gruppen inne haben.

3.2.2 Festgelegte vulnerable Gruppen

Die im folgenden dargestellte Übersicht vulnerabler Gruppen von Beschäftigten in Ländern weltweit legt den Fokus auf rechtlich verbindliche Festlegungen. Dabei wurde durch die Recherche deutlich, dass in vielen Ländern bereits eine Reihe von vulnerablen Gruppen von Beschäftigten definiert sind, Risikogruppen bzgl. Hitzebelastung jedoch praktisch ausschließlich in Empfehlungen von Arbeitsschutzorganisationen Erwähnung finden. Es gibt teilweise Überschneidungen zwischen den Gruppen, die als vulnerable Beschäftigte generell in Gesetzestexten oder ähnlichen Schriften aufgeführt werden, und den Risikogruppen für Hitzebelastung, wie sie auch in diesen Empfehlungen für den Arbeitsschutz erläutert werden. Eine ausdrückliche Verknüpfung über den Risikofaktor Hitze wird allerdings auf rechtlicher Ebene als für Hitzebelastung vulnerable Gruppen von Beschäftigten nicht hergestellt.

⁶ Vulnerable employment is defined as the sum of the employment status groups of own-account workers and contributing family workers. They are less likely to have formal work arrangements, and are therefore more likely to lack decent working conditions, adequate social security and ‘voice’ through effective representation by trade unions and similar organizations. Vulnerable employment is often characterized by inadequate earnings, low productivity and difficult conditions of work that undermine workers’ fundamental rights.



	Australien	Neuseeland	USA	Vereinigtes Königreich	Irland	Kanada	Argentinien	Südafrika
Junge Beschäftigte	X	-	-	X	X	X	X	X
Ältere Beschäftigte	-	-	X	X	X	X	-	X
Arbeitsmigranten	X	-	X	X	X	X	-	-
Beschäftigte mit Behinderungen	X	-	X	X	X	X	X	X
Schwangere und stillende Frauen	X	-	X	X	X	X	-	X
Beschäftigte ohne Interessensvertretung	X	X	-	-	-	X	-	-
Beschäftigte ohne bzw. mit wenig Berufserfahrung	-	-	X	X	X	X	-	-
Beschäftigte mit Vorerkrankungen	-	-	-	-	X	X	-	X
Angehörige von Minderheiten	X	-	X	-	X	X	X	X
Beschäftigte in Zeitarbeit / mit Zeitarbeitsvisa	X	X	X	-	X	X	-	-



3.2.3 Vorschriften zum Schutz dieser Gruppen

Im Übereinkommen von Paris (2015) bestätigten die Vertragsparteien, dass sie besonders schutzbedürftige Personengruppen durch spezielle Anpassungsmaßnahmen schützen werden. In diesem Zusammenhang wurden auch explizit weitere Personengruppen genannt, die unter den Begriff der „besonders schutzbedürftigen Personengruppen“ fallen: indigene Völker, lokale Gemeinschaften, Migranten, Kinder und Menschen mit Behinderungen.

Neben diesem Abkommen sieht auch die Europäische Arbeitsschutzrichtlinie (89/391/EWG) Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes vor. In Artikel 15 wird explizit auf besonders gefährdete Risikogruppen eingegangen, welche „...gegen die speziell sie bedrohenden Gefahren geschützt werden müssen.“

Weitere Gesetzgebung auf europäischer Ebene regelt den besonderen Schutz von Schwangeren und stillenden Frauen (92/85/EWG) durch das Verbot gefährlicher Tätigkeiten während der Schwangerschaft, den Anspruch auf Mutterschaftsurlaub und die Anpassung des Arbeitsplatzes, sowie für jugendliche Beschäftigte (94/33/EG) durch ein Mindestalter von 15 Jahren für den Eintritt in das Arbeitsleben und die Begrenzung auf leichte Tätigkeiten, die die Gesundheit und die schulische und körperliche Entwicklung nicht beeinträchtigen dürfen.

Aufgrund der fehlenden expliziten Verknüpfung von besonders schutzbedürftigen Gruppen von Beschäftigten mit Hitzebelastung auf rechtlich verbindlicher Ebene konnten keine Vorschriften für den konkreten Schutz von Risikogruppen für Hitzebelastung im Sinne dieses Gutachtens gefunden werden.

4 Vorschlag Begriffsbestimmung – (besonders) schutzbedürftige Beschäftigtengruppen

Begriffsbestimmung im engeren Sinne:

Zu den *besonders schutzbedürftigen Beschäftigtengruppen* zählen im Sinne § 4 Nr. 6 ArbSchG Jugendliche, werdende und stillende Mütter (gemäß MuSchG) und behinderte Personen (gemäß SGB IX). Darüber hinaus sind die in den Einzelverordnungen zum ArbSchG ausgewiesenen, besonders gefährdeten bzw. besonders schutzbedürftigen Beschäftigten für den entsprechenden Gefährdungsfaktor ebenfalls den besonders schutzbedürftigen Beschäftigtengruppen zuzuordnen, z. B. Beschäftigte mit eingeschränkter Thermoregulation gemäß § 2 Abs. 7 Nr. 5 EMFV.

Begriffsbestimmung im erweiterten Sinne:

Unter Berücksichtigung der zunehmenden Komplexität und Verknüpfung der Arbeits- und Lebenswelten schließt die *Schutzbedürftigkeit* von Beschäftigtengruppen einerseits vulnerable Beschäftigte sowie andererseits bestimmte Arbeitsverhältnisse und Tätigkeiten dauerhaft und/oder zeitweise ein. Als Maßstab für diese Zuordnung ist anzulegen, inwieweit



die Schutzbedürftigkeit über das *für Beschäftigte typische Maß* hinausgeht. Dabei gehen das ArbSchG und seine Einzelverordnungen z. B. bei der Festlegung von Grenzwerten und Maßnahmen von einer gesunden beschäftigten Person aus.

Vulnerable Beschäftigte im Sinne dieser erweiterten Begriffsbestimmung sind unter anderem:

- ältere Beschäftigte,
- Beschäftigte in Rekonvaleszenz und Rehabilitanden,
- Beschäftigte mit Vorerkrankungen, inkl. Implantatträger,
- Beschäftigte unter Medikamenteneinnahme,
- Beschäftigte, die sozioökonomisch benachteiligt sind, z. B. Beschäftigte ohne Berufsqualifikation, Beschäftigte mit unzureichenden Sprachkenntnissen.

Bestimmte Arbeitsverhältnisse und Tätigkeiten im Sinne dieser erweiterten Begriffsbestimmung sind u.a.:

- Ausbildungsverhältnisse,
- Praktika,
- prekäre Arbeitsverhältnisse, z. B. für Scheinselbstständige und Saisonarbeitskräfte,
- illegale Arbeitsverhältnisse,
- Tätigkeiten mit saisonbedingten, besonderen Gefährdungen, z. B. Erntetätigkeiten unter erhöhter Hitze- und solarer UV-Belastung.

Risikogruppen sind schutzbedürftige Beschäftigte, die ein erhöhtes Risiko gegenüber Gesundheitsschäden aufgrund ausgewählter Gefährdungsfaktoren aufweisen. Im Sinne dieses Gutachtens werden als ausgewählte Gefährdungsfaktoren ausschließlich Hitze- und solarer UV-Belastung betrachtet.

5 Stand der Wissenschaft

5.1 Risikofaktoren für Hitzebelastung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zu Risikofaktoren für hitzebedingte Gesundheitsschäden in vier Kategorien gegliedert dargestellt: Individuelle Attribute, pharmakologische Faktoren, bei denen auch nicht-medizinische Stoffe berücksichtigt werden, pathologische Faktoren, die bestimmte Vorerkrankungen umfassen und Faktoren, die sich aus den Arbeitsumgebungsbedingungen ergeben.

Individuelle Faktoren:

- **Alter**

Die Fähigkeit unter heißen Bedingungen zu arbeiten, ist bei älteren Beschäftigten deutlich reduziert (Ellis 1972; Kenny et al. 2016; Larose et al. 2013; Semenza et al. 1999; Semenza et al. 1996). Balmain et al. (2018) geben in ihrer Übersichtsarbeit 60 Jahre und älter als die



Altersgruppe an, die übereinstimmend mit zahlreichen klinischen Berichten am anfälligsten für hitzebedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen ist und den signifikant größten Anteil aller Alterskohorten an diesen Erkrankungen hat. Abhängig von der Höhe der körperlichen Belastung können bereits ab einem Alter von 40-45 Jahren für moderate bis hohe Belastungen Einschränkungen des Schwitzvermögens festgestellt werden, bei niedriger Belastung ist zwischen den Altersstufen 20 – 65 Jahren dagegen kaum ein Unterschied feststellbar. Diese Veränderungen werden dem zugeschrieben, dass die Schweißdrüsen auf stimulierende Signale weniger gut ansprechen und so ein geringere Schweißabgabe pro Drüse abgegeben wird (Cramer et al. 2022). Im fortschreitendem Alter setzt die Reaktion der Schweißdrüsen darüber hinaus auch verlangsamt ein, was ebenfalls zu einer weniger effektiven Thermoregulation führt und ein niedrigeres kritisches Belastungslevel zur Folge hat, das vom Körper nicht mehr kompensiert werden kann (Taylor et al. 2008). Auch die Fähigkeit Temperaturveränderungen wahrzunehmen, kann im Alter durch eine beeinträchtigte periphere Nervenfunktion abnehmen, was zu verzögerten Reaktionen auf extreme Temperaturen führen kann (Blatteis 2012). Zusätzlich sind auch die Gefäßweitung und Hautdurchblutung vermindert, welche in Verbindung zu einer gestörten Thermoregulation stehen (Drinkwater und Horvath 1979; Hellon und Lind 1958; Lind 1977). Dennoch sind ältere Personen trotz der thermoregulatorischen Einschränkungen weiterhin in der Lage, sich – im Vergleich zu Jüngeren noch in leicht verringertem Ausmaß – an Hitzebelastung zu akklimatisieren (Kenny et al. 2010). Zunehmendes Alter wird auch mit einer Zunahme an Vorerkrankungen assoziiert, welche wiederum negative Auswirkungen auf die Thermoregulation haben können und vice versa.

Allerdings zeigt sich auch bei Kindern und Jugendlichen, dass diese im Vergleich zu Erwachsenen deutlich anfälliger für hohe Hitzebelastung reagieren. Dies wird u.a. zurückgeführt auf ein im Vergleich zu Erwachsenen größeres Verhältnis von Körperoberfläche zu Körpermasse, bei höheren KKT einsetzendes Schwitzen, niedrigere Schwitzraten, verringertes Durstgefühl und eine erhöhte metabolischer Rate pro Körpergewicht (Bytomski und Squire 2003).

➤ **Geschlecht**

Zum Einfluss des Geschlechts auf die Hitzetoleranz wird in der Literatur uneinheitlich berichtet: Gagnon und Kenny (2011) beobachteten in ihrer Studie, dass Frauen bei gleichem Körpergewicht und Körperoberfläche eine geringere Schweißproduktion als Männer aufweisen, was zu einem stärkeren Anstieg der Körpertemperatur führt. D'Souza et al. (2020) kommen ihrerseits zu dem Ergebnis, dass unabhängig vom Alter Frauen auf den ganzen Körper bezogen weniger Wärme an die Umgebung abgeben als Männer. Zudem trägt ein relativ höherer Anteil an Körperfett und eine geringere Ausdauer als Männer ebenfalls zu einem Anstieg bei (Flouris et al. 2018). Kazman et al. (2015) stellten in ihrer Arbeit sogar fest, dass Frauen um den Faktor 3,7 wahrscheinlicher von Hitzeintoleranz betroffen sind.



Kenney et al. (2003) dagegen stellten zwar eine von Menstrualzyklus und Alter bzw. dem Eintreten der Menopause abhängige, hormonbedingte Erhöhung der KKT um etwa 0,5 °C fest, konnten gleichzeitig aber kein eindeutig höheres Risiko für hitzebedingte Erkrankungen feststellen. Auch in der Übersichtsarbeit von Cramer et al. (2022) wird darauf hingewiesen, dass unter biophysischen Gesichtspunkten kaum geschlechterspezifische Unterschiede in der Thermoregulation beobachtet wurden.

➤ **Schwangerschaft**

Eine Schwangerschaft reduziert die Toleranz für Hitzestress (Navy Environmental Health Center 2007). Für Frauen, die während einer Schwangerschaft unter heißen Bedingungen arbeiten, ist das Risiko einer Fehlgeburt oder anderen unerwünschten Schwangerschaftsausgängen doppelt so hoch oder höher als bei nicht-exponierten Frauen (Rekha et al. 2024).

➤ **Behinderung**

Einige körperliche Einschränkungen können dazu führen, dass die Thermoregulation nur eingeschränkt möglich ist, z. B. können Rückenmarksverletzungen die Erweiterung der Blutgefäße oder das Schwitzen im Bereich unterhalb der Nervenverletzung verhindern (Tsoutsoubi et al. 2023; Yamasaki et al. 2001). Viele Behinderungen stehen im Zusammenhang mit einer Grunderkrankung, die durch Hitzestress verschlimmert werden kann. Auch Prothesen oder adaptives Equipment können die Wärmeabgabe erschweren (Ghoseiri et al. 2018). Personen mit schweren kognitiven Einschränkungen können sich selbst schlechter vor Hitze schützen und sind auf Hilfe angewiesen (Robert Koch Institut (RKI) 2023; World Health Organization (WHO) 2019).

➤ **Übergewicht**

Das zusätzliche Gewicht aufgrund von vermehrtem Fettgewebe führt dazu, dass die Muskeln eine erhöhte Stoffwechselenergie bei bestimmten Tätigkeiten generieren (Bar-Or et al. 1969; Kenny et al. 2010). Zudem hat Fettgewebe eine geringere spezifische Wärmekapazität, dadurch wird bei übergewichtigen Personen mehr Wärmeenergie bei Hitzebelastung gespeichert, weswegen sich die durchschnittliche Gewebetemperatur stärker erhöht (Henschel 1967). Die vergrößerte subkutane Fettschicht bildet eine Isolationsbarriere zwischen der Haut und den Geweben und reduziert theoretisch so die direkte Wärmeübertragung von den Muskeln auf die Haut (Wells und Buskirk 1971).

➤ **Geringe körperliche Fitness**

Je höher die körperliche Fitness, desto effizienter ist der Schwitzmechanismus und die Belastung durch Hitze verringert sich (WSH 2010).



➤ Weitere individuelle Risikofaktoren

Als weiterer Risikofaktor kann auch eine hohe Motivation der Beschäftigten zählen, da diese frühe Anzeichen von hitzebedingten Erkrankungen ignorieren und bis zum Auftreten eines kritischen Hitzschlags weiter arbeiten. Darüber hinaus können Mangelernährung, Dehydratation, Schlafentzug, vergangene Betroffenheit mit hitzebedingten Erkrankungen und andauernde Müdigkeit zu einem erhöhten Risiko führen (WSH 2010). Zudem erhöhen eine fehlende Akklimatisation und falsche Selbsteinschätzung, u.a. bei Akkordarbeit oder militärischen Aktivitäten, ebenso das Risiko für Gesundheitsschäden (Gun 2019; Kenny et al. 2016; Leon und Bouchama 2015; Sawka et al. 2003; Sawka et al. 2011).

Pathologische Faktoren / Vorerkrankungen:

➤ Bluthochdruck

Die Auswirkungen von Bluthochdruck auf die resultierende Beanspruchung durch Hitzebelastung sind differenziert zu betrachten. Einerseits wird verringerte Vasodilatation im peripheren Blutkreislauf auf verringerte Elastizität der Blutgefäße infolge von Hypertonie zurückgeführt, was einen verringerten Blut- und damit Wärmetransport vom Körperkern zur Hautoberfläche bedeuten könnte (Kenny et al. 2010). Trotz dessen wurden in Studien weitgehend ähnliche Raten der Wärmeabgabe zwischen Personen mit Hypertonie und mit Blutdruck im Normalbereich unter körperlicher Beanspruchung beobachtet (Cramer et al. 2022). Auch wenn dieser Umstand bisher noch nicht abschließend aufgelöst ist, besteht jedoch ein Konsens darüber, dass Bluthochdruck langfristig negative Auswirkungen auf die Herzgesundheit hat, welche sich durch die zusätzliche Belastung unter Hitze weiter verschlechtern kann. Darüber hinaus kann ein erhöhtes Risiko für hitzebedingten Kreislaufkollaps und Durchblutungsstörungen von Organen bestehen, wenn blutdrucksenkende Medikamente mit einem Blutdruckabfall aufgrund von Vasodilatation und Flüssigkeitsverlust zusammenwirken (Centers for Disease Control and Prevention 2024; Winklmayer et al. 2023).

➤ Diabetes mellitus

Sowohl bei Diabetes Typ 1 als auch bei Typ 2 kann die Fähigkeit der Erweiterung der Blutgefäße beeinträchtigt sein. Bei Typ 1 tritt diese Beeinträchtigung mit zunehmender Krankheitsdauer und einem erhöhten Blutzuckerspiegel auf (Kenny et al. 2010).

Ein chronisch erhöhter Blutzuckerspiegel kann auch zu einer Neuropathie führen (Xu et al. 2019). Diese steht bei Typ 1 sowie 2 in Verbindung mit einer verminderten Schweißreaktion (Kenny et al. 2010). Cramer et al (2022) führen allerdings an, dass die verringerte Fähigkeit zur Wärmeabgabe von der vorhandenen Wärmebelastung und dem Schweregrad der Erkrankung bzw. der vorliegenden Neuropathie abhängt, und dass die niedrigere Verdunstungskühlung



durch Schweiß als der hauptsächliche Treiber dafür angenommen wird. Zudem können Diabetes-Medikamente ihrerseits die Thermoregulation beeinträchtigen (Xu et al. 2019).

➤ Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Unter Hitzebelastung steigt die Herzfrequenz an, um den Blutdruck trotz größeren Volumens des Kreislaufs (Vasodilatation) und verstärkter Durchblutung der Körperperipherie aufrecht zu halten. Diese zusätzliche Belastung kann bestehende Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinsuffizienz oder Koronare Herzkrankheit verschlimmern (Augustin et al. 2023; Bauer et al. 2022; Winklmyer et al. 2023; Zielo und Matzarakis 2018). Weiterhin kann eine solche Vorerkrankung die Steigerung der Herzleistung bei Hitze einschränken, sodass nicht ausreichend Blut und Wärme zur Körperoberfläche abgeleitet werden und somit die Wärmeabgabe an die Umgebung gestört wird (Kenny et al. 2010; Phung et al. 2016).

➤ Krebs

Bestimmte Krebsarten, wie kleinzelliger Lungenkrebs oder Brustkrebs, stehen in Zusammenhang mit einer thermischen Fehlregulation (Adachi et al. 2020; Idiáquez 2018; Wiśniewska et al. 2016). Kleinzelliger Lungenkrebs kann mit dem Lambert-Eaton-Syndrom in Verbindung gebracht werden, eine Autoimmunerkrankung, welche unter anderem zum Ausbleiben oder zu einer starken Verminderung des Schwitzens führt (Cheshire 2020; Idiáquez 2018).

➤ Neuropsychiatrische Erkrankungen

Zu den hierbei relevanten Erkrankungen zählen unter anderem Parkinson und Alzheimer. Bei Parkinson führt ein Ungleichgewicht von Neurotransmittern zu einer Beeinträchtigung der Thermoregulation (Coon und Low 2018; Francis und Perry 2007). Darüber hinaus haben davon betroffene Personen eingeschränkte Fähigkeiten, auf die Körperreaktion aufgrund von Hitze mit Verhaltensanpassungen zu reagieren.

➤ Nierenerkrankung

Wird der Flüssigkeitsverlust durch Schwitzen bei Hitze nicht ausreichend ausgeglichen, können sich Abfallstoffe ansammeln, welche durch den Urin ausgeschieden werden sollen, und die Filterfunktion der Nieren überbeanspruchen (Bauer et al. 2022). Bestehende Vorerkrankungen der Nieren können daher durch wiederholte Dehydratation verschlimmert werden (Zielo und Matzarakis 2018).

➤ Weitere Vorerkrankungen

Zu weiteren Vorerkrankungen, die das Risiko für hitzebedingte Erkrankungen erhöhen, gehören Entzündungen und fieberhafte Erkrankungen aufgrund der bereits vorhandenen Erhöhung der Körpertemperatur, die Sichelzellenanämie, maligne Hyperthermie, chronische Lebererkrankungen und diverse neuropathische Erkrankungen, bei denen eine stark verminderte Schweißbildung bzw. -sekretion (Anhidrose) als Symptom auftritt (Cheshire



2016; Leon und Bouchama 2015; Leyk et al. 2019; Notley et al. 2019; Sawka et al. 2003; Sawka et al. 2011). Auch psychische und zerebrovaskuläre Erkrankungen (bspw. Depressionen, Schizophrenie oder Schlaganfall) werden als mögliche Risikofaktoren eingestuft (Robert Koch Institut (RKI) 2023; World Health Organization (WHO) 2019).

Pharmakologische Faktoren:

➤ **Alkohol**

Der Konsum von Alkohol wird häufig mit dem Auftreten eines Hitzschlags in Verbindung gebracht. Alkohol beeinträchtigt die zentrale sowie die periphere Nervenfunktion und trägt zur Dehydrierung bei (Leithead und Lind 1964).

➤ **Rauschmittel**

Verschiedene Drogen wie Kokain, Amphetamine, „Ecstasy“ etc. beeinflussen den Blutfluss im Körper, das Wärmeempfinden und die Fähigkeit für rationale Verhaltensanpassungen, sodass sich eine lebensgefährliche Überhitzung entwickeln kann (NIOSH 2016).

Zu der nicht erschöpfenden Liste von **Medikamenten**, die unter Hitzeeinwirkung gefährliche Nebenwirkungen entfalten und/oder zu einem erhöhten Risiko für hitzebedingte Gesundheitsschäden beitragen können, zählen Kuch (2021) und Cramer et al. (2022):

- **Anticholinergika** (wie Psychopharmaka, Antidepressiva oder Antihistaminika) beeinträchtigen die Thermoregulation durch verringertes Schwitzen, Blutdruckabfälle oder kognitive Einschränkung
- **Antihypertensiva** (Bluthochdruckmittel) behindern einerseits die Erweiterung der Blutgefäße durch Betablocker, andererseits hat die Erweiterung eine blutdrucksenkende Wirkung, welche zu Blutdruckabfällen führt
- **Diuretika** (entwässernde Medikamente als Bluthochdruckmittel oder bei Herzinsuffizienz) führen zu einer verstärkten Blutdrucksenkung, Dehydrierung, Nierenversagen sowie zu einem Elektrolytungleichgewicht
- **Antianginosa** (bei koronarer Herzerkrankung) verstärken die Erweiterung der Blutgefäße und können zu einem gefährlichen Abfall des Blutdrucks führen
- **Antiepileptika** schränken die kognitive Wachsamkeit ein und verschlimmern einen Natriummangel
- **Schmerzmittel** können zu Nierenversagen sowie zu Anfällen von Bluthochdruck führen
- **Insulin** stellt bei Hitzebelastung eine Gefahr durch Unterzuckerung dar
- **SGLT2-Inhibitoren** (bei Diabetes, Herzinsuffizienz und Niereninsuffizienz) stehen in Verbindung mit einer starken Dehydratation sowie einer atypischen Ketoazidose



Arbeitsumgebungsfaktoren:

Zu den beruflichen Faktoren und Arbeitsumgebungsfaktoren gehören:

- Hohe Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit, besonders wenn die Hitzeperiode über längeren Zeitraum andauert (Robert Koch Institut (RKI) 2023; WSH 2010)
- Geringe Luftströmungsgeschwindigkeit, besonders in Innenräumen (Gun 2019)
- Fehlender Schatten (Spector et al. 2014)
- Körperlich anstrengende Arbeit (WSH 2010)
- Wärme(-strahlungs)quellen (WSH 2010)
- Große Entfernungen zu Trinkwasser, sowie unzureichende Trinkwasservorräte (Spector et al. 2014)
- Arbeiten im Freien (Robert Koch Institut (RKI) 2023; World Health Organization (WHO) 2019)
- Tragen von isolierender Bekleidung/Schutzausrüstung (bspw. Atemschutzgeräten oder Schutzanzügen) (Hanna et al. 2011; Lin et al. 2024; Spector et al. 2014)
- Fehlender betrieblicher Plan zum Umgang mit Hitzebelastung (Lin et al. 2024)
- Tätigkeiten, bei denen Beschäftigte ihren Arbeitsplatz auch bei hohen Innenraumtemperaturen während Hitzewellen nicht verlassen können, wie bspw. in Medizin- und Pflegeeinrichtungen, vor allem in Kombination mit isolierender PSA (Robert Koch Institut (RKI) 2023; World Health Organization (WHO) 2019)

5.2 Risikofaktoren für solare UV-Strahlung

Ultraviolette (UV) Strahlung stellt den unsichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums dar und liegt in dem Wellenlängenbereich zwischen sichtbarem Licht und Röntgenstrahlung. Abhängig von der Wellenlänge wird UV-Strahlung in drei Kategorien unterteilt: UV-A (320–400 nm), UV-B (280–320 nm) und UV-C (200–280 nm). Diese Strahlung kann sowohl schädliche als auch positive Effekte hervorrufen. Insbesondere die kurzweilige und energieintensive UV-C-Strahlung hat jedoch aufgrund ihrer Eigenschaften ähnlich wie ionisierende Strahlung das Potenzial, als starkes Mutagen zu wirken, was in extremen Fällen zu immunvermittelten Erkrankungen und Krebs führen kann (Paredes Villegas 1993).

UV-Strahlung wird als „komplettes Karzinogen“ eingestuft, da sie sowohl mutagen wirkt als auch unspezifische Schäden verursacht, die tumorauslösend und tumorfördernd sind. Sie stellt den wichtigsten modifizierbaren Risikofaktor für Hautkrebs und andere Hauterkrankungen dar. Gleichzeitig fördert UV-Strahlung die Synthese von Vitamin D und Endorphinen, was positive Effekte auf die Gesundheit hat. Trotz dieser positiven Aspekte führt übermäßige UV-Exposition zu Gesundheitsrisiken wie Hautatrophie, Pigmentveränderungen, Faltenbildung und malignen Veränderungen. Epidemiologische und molekularbiologische Studien haben UV-Strahlung mit den drei häufigsten Hautkrebsarten – Basalzellkarzinom, Plattenepithelkarzinom und malignem Melanom – in Verbindung gebracht (D'Orazio et al. 2013).



Eine umfassende Analyse der durch UV-Strahlung verursachten gesundheitlichen Schäden erfordert die Berücksichtigung verschiedener Risikofaktoren, die in vier Hauptkategorien unterteilt werden können. Zunächst spielen individuelle Faktoren eine entscheidende Rolle, welche die Empfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung beeinflussen. Umweltbedingte Faktoren betreffen Aspekte, die die Intensität der UV-Exposition variieren lassen. Pharmakologische Faktoren umfassen Substanzen, die die Hautempfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung erhöhen und das Risiko für Hautschäden verstärken können. Darüber hinaus können photosensibilisierende Stoffe allergische Reaktionen auslösen. Schließlich sind pathologische Faktoren von Bedeutung, da bestimmte Erkrankungen oder Hautveränderungen das Risiko für UV-induzierte Schäden erhöhen. Eine detaillierte Betrachtung dieser verschiedenen Faktoren ermöglicht es, die Gesundheitsrisiken durch UV-Strahlung besser zu verstehen und entsprechende Schutzmaßnahmen zu entwickeln.

Individuelle Risikofaktoren:

Die Auswirkungen der UV-Exposition auf die Gesundheit zeigen sich in unterschiedlichen Bereichen und können sowohl positive als auch negative Effekte haben. Laut einer Meta-Analyse deuteten die Ergebnisse darauf hin, dass UV-Exposition in den ersten drei Monaten der Schwangerschaft das fetale Wachstum fördert, aber den Blutdruck während der Schwangerschaft ansteigen lässt (Botyar und Khoramroudi 2018). In ähnlicher Weise zeigt eine andere Studie, dass UV-Strahlung und Ozon in den wärmeren Monaten das Risiko für die Entwicklung einer altersbedingten Makuladegeneration (AMD) erhöhen, wobei das Ozon in der Atmosphäre potenziell die Auswirkungen der UV-Exposition mildern kann. Dies unterstreicht die Notwendigkeit Präventionsstrategien zu entwickeln, die sowohl die Umweltexposition als auch geographische Faktoren berücksichtigen (Qu et al. 2024).

Die Veränderung des Verhaltens in Bezug auf Sonnenexposition in vielen hellhäutigen Bevölkerungsgruppen im vergangenen halben Jahrhundert, mit vermehrtem Aufenthalt in der Sonne, hat wahrscheinlich stärker zur erhöhten Belastung durch UV-Strahlung beigetragen als der Ozonabbau (Lucas et al. 2015). Behrens et al. (2018) stellten in ihrer Arbeit einen positiven Zusammenhang her zwischen körperlicher Aktivität und kardiorespiratorischer Fitness mit dem Auftreten von schwarzem Hautkrebs. Es ist plausibel, dass solare UV-Strahlung als Risikofaktor für schwarzen Hautkrebs während der körperlichen Aktivität im Freien einen Confounder darstellt.

Andere Studien zeigen, dass eine übermäßige UV-Bestrahlung, die nicht dem Hauttyp der betroffenen Person entspricht, schädliche Auswirkungen auf die Haut haben kann. Diese reichen von Sonnenbränden bis hin zu langanhaltenden Hautreaktionen, insbesondere bei besonders empfindlicher Haut (Lucas et al. 2019). Langfristige UV-Exposition führt zudem zu Schäden an den strukturellen Proteinen der Dermis, was die Bildung von Falten und die typischen Anzeichen der Hautalterung fördert.



Pharmakologische Risikofaktoren:

Photosensibilisierende Arzneimittelreaktionen sind Hautreaktionen wie bspw. Ausschläge, die bei Personen nach der Einnahme von Medikamenten auftreten, welche die Haut gegenüber ultravioletter Strahlung empfindlicher machen und nach der Exposition gegenüber UV-Licht auftreten. Es gibt eine umfangreiche Liste von Medikamenten, die eine Photosensibilisierung bewirken, insbesondere im Falle von Phototoxizität. Die häufigsten sind Amiodaron, Chlorpromazin, Doxycyclin, Hydrochlorothiazid, Nalidixinsäure, Naproxen, Piroxicam, Tetracyclin, Thioridazin, Vemurafenib und Voriconazol (Montgomery und Worswick 2022). Es ist zu erwähnen, dass Alkoholkonsum in positivem Zusammenhang mit einem erhöhten Risiko für Melanome steht (Yamauchi et al. 2022). Neben Medikamenten kann auch die Aufnahme bestimmter anderer chemischer oder biologischer Stoffe in den Körper oder bei Hautkontakt die Photosensibilität erhöhen, bspw. Teer- und Pechbestandteile, Farbstoffe oder Furokumarine. Eine nicht abschließende Liste dieser Stoffe wird in der Technischen Regel zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Inkohärente Optische Strahlung) zur Verfügung gestellt.

Pathologische Risikofaktoren:

Die Auswirkungen von UV-Strahlung auf die Hautgesundheit sind komplex und können sowohl die Entwicklung von Hauterkrankungen als auch das Risiko für Hautkrebs beeinflussen. Eine der Folgen der UV-Exposition ist die Immunsuppression, die die Homöostase der Haut stört und zu weit verbreiteten Hautdysplasien sowie zur Feldkanzerisierung führen kann (Son et al. 2025). Darüber hinaus gelten melanozytäre Nävi (Muttermale) und Sommersprossen als etablierte Biomarker für das Risiko einer Melanomentwicklung. Diese Hautveränderungen werden sowohl durch UV-Strahlung als auch durch genetische Prädispositionen beeinflusst, was das Risiko für das Auftreten eines Melanoms erhöht (Barón et al. 2014).

Die Rolle der UV-Exposition in der Entwicklung von Melanomen ist jedoch weiterhin Gegenstand kontroverser Diskussionen. Kumulative Studien, die unterschiedliche methodische Ansätze verfolgen, haben unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Frage geliefert, ob UV-Strahlung, einschließlich (frühkindlicher) Sonnenbrände und chronischer UV-Exposition, das Risiko für die Entstehung eines Melanoms tatsächlich erhöht (Chang et al. 2010). Sonnenbrände selbst sind eine akute Entzündungsreaktion der Haut auf längere UV-Exposition, sei es durch Sonneneinstrahlung oder künstliche Quellen wie Solarien (Guerra und Crane 2025). Trotz der bekannten krebserregenden Wirkung von UV-Strahlung bleibt das absichtliche Bräunen, oft begleitet von Sonnenbränden, besonders bei erwachsenen Frauen eine verbreitete Praxis, was die gesundheitlichen Risiken weiter verstärkt (Gantenbein et al. 2024).

Zu den Erkrankungen, die durch solare UV-Strahlung verschlimmert werden oder die die Anfälligkeit für UV-Exposition erhöhen, gehören u.a. Lupus Erythematodes, Albinismus, krankhafte Veränderungen der Iris (Kolobom, Aniridie), chronische Weitung der Pupille und das Fehlen bzw. die operative Entfernung der Linse (Aphakie) (Modenese et al. 2023; Suebsarakam und Mairiang 2023).



Umweltbedingte Risikofaktoren:

Umweltbedingte Risikofaktoren für Gesundheitsschäden durch solare UV-Strahlung umfassen eine Vielzahl von Aspekten, die das Risiko für UV-bedingte Gesundheitsprobleme wie Hautkrebs und Hautalterung beeinflussen. Der Abbau der Ozonschicht stellt einen entscheidenden Faktor dar, da diese den natürlichen Schutz vor UV-Strahlen verringert. Auch die Tageszeit spielt eine bedeutende Rolle, da die UV-Strahlungsintensität in den späten Vormittags- und Nachmittagsstunden am höchsten ist. Darüber hinaus variiert die Strahlungsintensität je nach Jahreszeit, wobei sie im Sommer stärker ist. Geografische Faktoren wie Breitengrad und Höhenlage beeinflussen ebenfalls die UV-Exposition, wobei Regionen nahe dem Äquator und in höheren Lagen stärker betroffen sind. Zusätzlich können Albedo, also die Reflexion von UV-Strahlen durch Oberflächen wie Schnee oder Wasser, sowie die Wolkenbedeckung die UV-Exposition erhöhen (Kimlin 2008). Eine weitere Studie deutet darauf hin, dass die Auswirkungen von UV-Strahlung und Luftverschmutzung nicht isoliert voneinander betrachtet werden können, was nahelegt, dass Pigmentflecken möglicherweise das Ergebnis einer Wechselwirkung zwischen diesen beiden Umweltfaktoren sind (Hüls et al. 2019).

Die berufliche Exposition mit UV-Strahlung stellt ein erhebliches Risiko für die Entwicklung von Lentiginen und Hautkrebs dar, insbesondere für Beschäftigte, die im Freien arbeiten, wie in der Landwirtschaft, im Bauwesen, im Militär oder bei der Post. Diese Berufsgruppen sind einer verstärkten UV-Exposition ausgesetzt, die oft unbemerkt bleibt und selten als signifikantes berufliches Gesundheitsrisiko wahrgenommen wird. Das zunehmende Auftreten von Hautkrebs in diesen Bereichen führt zu hohen wirtschaftlichen Belastungen sowohl für die betroffenen Beschäftigten, die mit medizinischen Kosten und Einkommensverlusten aufgrund von Krankheitsausfällen konfrontiert sind, als auch für die Arbeitgeber, die die Kosten für Gesundheitsversorgung und krankheitsbedingte Fehltage tragen müssen (Slavinsky et al. 2024). Diese Faktoren verdeutlichen die Komplexität der UV-Exposition und deren Auswirkungen auf die Gesundheit, sowohl auf individueller als auch auf gesellschaftlicher Ebene.

5.3 Zusammenfassende Darstellung der Risikogruppen

Abschließend lassen sich anhand der wissenschaftlichen Literatur folgende Personengruppen von Beschäftigten als besonders gefährdet gegenüber Hitze und solarer UV-Strahlung ausweisen:

- Kinder und Jugendliche
- Frauen und Schwangere
- ältere Beschäftigte, teilweise schon ab 40 Jahren und ab 55 Jahren mit verstärkten Einschränkungen
- Beschäftigte mit den oben genannten Vorerkrankungen, Behinderungen oder anderen körperlichen/geistigen Einschränkungen
- Beschäftigte, die im Freien arbeiten und körperlich schwere Tätigkeiten ausüben



6 Internationale Umsetzung

Neben der Recherche in wissenschaftlicher Literatur zu den Erkenntnissen im Bereich der Faktoren, die für Beschäftigte das Risiko für Gesundheitsschäden aufgrund von Hitzebelastung erhöhen, wurde auch nach Informationen und Erfahrungsberichten zu der Umsetzung von speziellen Schutzmaßnahmen für Risikogruppen auf internationaler Ebene gesucht. Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt im Hinblick auf das Vorgehen zur Bestimmung von besonders schutzbedürftigen Beschäftigten, die Zuständigkeiten bei der Umsetzung von Schutzmaßnahmen für diese Risikogruppen und die Wirksamkeit der Maßnahmen. Synergieeffekte und Schutzzielkonflikte zwischen Schutzmaßnahmen für Hitzebelastung und solarer UV-Strahlung werden ebenfalls betrachtet.

Vorgehen

Der Leitfaden für Arbeit bei Hitze der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (EU-OSHA (2023)) empfiehlt, im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung Beschäftigte zu identifizieren, die aufgrund von Risikofaktoren anfälliger für Hitzebelastung sind. Für die Bewertung kann ggf. auch eine Beratung durch einen Arbeitsmediziner erforderlich sein. Zusätzlich sollen auch die Beschäftigten selbst bzgl. der Risikofaktoren sensibilisiert und auf die Möglichkeit einer Beratung durch den arbeitsmedizinischen Dienst hingewiesen werden.

Um festzustellen, ob Beschäftigte eine geringere Hitzetoleranz aufweisen und zusätzlichen Schutz benötigen, werden von der US-amerikanischen Occupational Safety and Health Agency (OSHA) Informationen zur physiologischen Überwachung der Körperfunktionen wie Herzfrequenz oder Hauttemperatur bereitgestellt. Da anhand dieser Parameter die individuelle Reaktion des Körpers auf die Hitzebelastung direkt gemessen werden kann, ist es somit auch möglich, unter vergleichbaren Arbeits- und Umgebungsbedingungen Beschäftigte zu identifizieren, die ein erhöhtes Risiko für hitzebedingte Gesundheitsschäden aufweisen. Persönliches Monitoring bietet hierbei einen Vorteil gegenüber der Messung von Umgebungsbedingungen durch bspw. Klimasummenmaße, da diese die individuelle Hitzebelastung des Beschäftigten nicht genau abbilden können.

In den Kriterien für eine Norm zu Hitzebelastung des National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH 2016) werden anhand der festgelegten Grenzwerte arbeitsmedizinische Untersuchungen für alle Beschäftigten unabhängig ihres Akklimatisations-Status empfohlen, wenn diese unter Hitzebelastung oberhalb dieser Grenzwerte tätig sind. Dabei sollen diese Untersuchungen mindestens jährlich und vor der erstmaligen Aufnahme der Tätigkeit durchgeführt werden. Besonders schutzbedürftige Beschäftigte sollen durch diese Untersuchungen anhand der Risikofaktoren identifiziert werden und mit Unterstützung des Arbeitsmediziners mit dem Arbeitgeber Maßnahmen erarbeiten, die die Hitzebelastung auf ein Maß reduziert, welches die Gesundheit des Beschäftigten nicht gefährdet.



Mit Bezug auf den Heat-Standard der OSHA ergänzt das American College of Occupational and Environmental Medicine (2025), dass zum Schutze der vertraulichen Daten der Beschäftigten und für einen verbesserten Schutz von Risikogruppen ein vertraulicher Fragebogen durch die Beschäftigten ausgefüllt werden sollte. Dieser soll von einem Arbeitsmediziner mit Spezialisierung auf hitzebedingte Erkrankungen ausgewertet werden. Dadurch soll festgestellt werden, ob eine arbeitsmedizinische Untersuchung des Beschäftigten erforderlich ist. Die Ergebnisse dieser Untersuchung und Empfehlungen hinsichtlich einer ggf. erforderlichen Anpassung des Arbeitsplatzes unter Hitzebelastung durch zusätzliche Schutzmaßnahmen dürfen nur mit schriftlicher Genehmigung des Beschäftigten an den Arbeitgeber weitergegeben werden.

In den Staaten am persischen Golf sind zusätzlich zu den generellen Arbeitsverboten während der Mittagshitze in den Sommermonaten jährlich arbeitsmedizinische Untersuchungen durch den Arbeitgeber anzubieten. Diese sollen insbesondere dazu dienen, chronische Erkrankungen zu diagnostizieren und zu behandeln, welche das Risiko von hitzebedingten Gesundheitsschäden erhöhen. Diese Untersuchungen sind für die Beschäftigten kostenfrei anzubieten und die medizinischen Aufzeichnungen durch den Arbeitgeber aufzubewahren.

Zuständigkeiten

In Australien wird die Richtlinie für "Persons Conducting a Business or Undertaking" (PCBU) angewendet, die eine praxisorientierte Anleitung für die Bewältigung von Risiken im Zusammenhang mit Arbeiten unter Hitzeeinfluss bietet. Sie enthält Empfehlungen dazu, wie Arbeitgeber mit hitzebedingten Gefährdungen umgehen und welche Maßnahmen zu ergreifen sind, wenn ein Arbeitnehmer an einer hitzebedingten Erkrankung leidet. Der Leitfaden konzentriert sich auf Hitze als direktes Risiko für die Gesundheit und Sicherheit von Arbeitnehmern, insbesondere auf Hitze, die zu gesundheitlichen Beschwerden oder Erkrankungen führen kann (RICHARDSON 2024).

Verantwortliche Akteure, die dafür sorgen müssen, dass Arbeitsumgebungen und -einrichtungen keine Risiken für Sicherheit und Gesundheit darstellen, umfassen:

- Personen, die ein Unternehmen führen oder eine Tätigkeit ausüben (PCBUs)
- Personen, die für die Verwaltung oder Kontrolle eines Arbeitsplatzes verantwortlich sind
- Konstrukteure, Hersteller, Importeure, Lieferanten und Installateure von Arbeitsmitteln, Stoffen oder Bauwerken sowie Konstrukteure von Gebäuden
- Führungskräfte (Officers).

Darüber hinaus tragen auch Arbeitnehmer und andere Personen am Arbeitsplatz gemäß dem Arbeitsschutzgesetz (WHS Act 2011) Verantwortung. Dazu gehört die Verpflichtung, angemessene Sorgfalt für die eigene Gesundheit und Sicherheit sowie die der anderen am Arbeitsplatz walten zu lassen. Es ist möglich, dass eine Person mehrere Pflichten gleichzeitig hat, und dass mehrere Personen zur gleichen Zeit für die Erfüllung derselben Pflicht verantwortlich sind.



Die Zuständigkeit für den Arbeits- und Gesundheitsschutz liegt in Singapur grundsätzlich beim Arbeitgeber. Dieser ist gesetzlich dazu verpflichtet, Risiken im Zusammenhang mit extremer Hitze und UV-Strahlung zu bewerten und geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen (Ministry of Manpower 2025).

Schutzmaßnahmen und Wirksamkeit

In Singapur wird ein umfassendes Konzept zum Schutz von Arbeitnehmern vor hitzebedingten Gesundheitsrisiken verfolgt (Wan et al. 2021). Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) und der Heat Stress Index (HSI) dienen dabei als zentrale Indikatoren zur stündlichen Wetterüberwachung. Der Workplace Safety and Health Council (WSHC) hat seit 2010 Leitlinien entwickelt, die zuletzt 2020 aktualisiert wurden. Neben dem Schutz der Beschäftigten und der Unfallprävention zielt das Hitzemanagement auch auf die Erhaltung der Produktivität ab. Eine wesentliche Neuerung ist die Berücksichtigung metabolischer Hitze als zusätzlichem Risikofaktor. Zur Anpassung an hohe Temperaturen wird ein 14-tägiges Akklimatisierungsprogramm empfohlen, ergänzt durch Trinkpausen zur Sicherstellung der ausreichenden Hydration.

Für die Risikobewertung schlägt der WSHC ein WBGT-basiertes Schwellenwertsystem vor:

- <31°C: geringes Risiko,
- 31–31,9°C: moderates Risiko,
- 32°C: hohes Risiko.

Die praktische Umsetzung dieser Grenzwerte gestaltet sich jedoch als herausfordernd, da handelsübliche WBGT-Messgeräte eine Messungenauigkeit von $\pm 0,5^\circ\text{C}$ bis $\pm 2^\circ\text{C}$ aufweisen und thermische Bedingungen auf Baustellen stark variieren können. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, setzt Singapur verstärkt auf technologische Innovationen, insbesondere tragbare Sensoren zur Echtzeitüberwachung der individuellen Hitzebelastung.

Zudem müssen Fälle von Hitzschlag über das Online-Meldesystem des Ministry of Manpower erfasst werden (MOM 2020). Zu den zentralen Präventionsmaßnahmen gehören:

- Arbeitsfähigkeit
- Hitzebelastungsakklimatisierung
- Einsatz mechanischer Hilfsmittel
- Arbeitszeitplanung
- Schattige Ruhebereiche
- Ausreichende Flüssigkeitszufuhr
- Mitarbeiterbewusstsein
- Arbeitskleidung

In den USA gibt es grundlegende Schutzmaßnahmen gegen Hitzebelastung, die von der OSHA im Rahmen des „OSHA Acts“ empfohlen werden. Allerdings fehlt ein bundeseinheitlicher Standard zur Bekämpfung von Hitzestress. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen variiert je nach Bundesstaat und Branche, und ihre Umsetzung hängt in hohem Maße von der



Bereitschaft der Arbeitgeber ab, präventive Maßnahmen zu ergreifen und geeignete Arbeitsbedingungen zu gewährleisten (OSHA 2025).

Die Richtlinien der OSHA zur ionisierenden Strahlung berücksichtigen keine spezifischen Vorgaben zur UV-Strahlenexposition von Beschäftigten. Zwar haben die Centers for Disease Control and Prevention (CDC) sowie das NIOSH Empfehlungen für den Einsatz von Schutzkleidung, Handschuhen, Gesichtsschutz und Schutzbrillen für im Freien tätige Arbeitnehmer formuliert, jedoch fehlt es an deren verbindlicher Durchsetzung, insbesondere auf Bundesebene (Boniol et al. 2012).

Ein Beispiel hierfür ist Kalifornien (State of California, Department of Industrial Relations 2025), wo die California Division of Occupational Safety and Health (Cal/OSHA) den sogenannten „Heat Illness Prevention Standard“ eingeführt hat. Dieser Standard verpflichtet Arbeitgeber dazu, Maßnahmen zum Schutz ihrer Beschäftigten vor hitzebedingten Gesundheitsrisiken zu ergreifen. Obwohl der Fokus dieser Regelung primär auf der Prävention von Hitzebelastung liegt, trägt sie indirekt auch zum Schutz vor solarer UV-Strahlung bei. Gemäß den Vorgaben des Standards sind Arbeitgeber unter anderem dazu verpflichtet:

- Schulungen für Mitarbeiter anzubieten, in denen über die Gefahren von Hitze aufgeklärt wird,
- den Zugang zu schattigen Bereichen während der Pausen sicherzustellen,
- angemessene Schutzkleidung bereitzustellen und
- Maßnahmen zur Akklimatisierung der Beschäftigten an hohe Temperaturen zu ergreifen.

Bezüglich der Wirksamkeit von UV-Schutzmaßnahmen vergleichen und bewerten Boniol et al. (2012) in ihrer Studie zentralisierte Ansätze für Schutzstrategien mit fragmentierten Strukturen: Australien und das Vereinigte Königreich setzen auf zentralisierte, staatlich unterstützte Programme wie das Anti-Cancer Council und das SunSmart-Programm, um den Sonnenschutz zu fördern. In den USA hingegen sind die Bemühungen dezentral und auf verschiedene Bundesbehörden verteilt, wodurch eine nationale Koordination fehlt. Leitlinien empfehlen zwar Sonnenschutzmaßnahmen, enthalten jedoch keine verbindlichen Vorschriften für Hersteller, Solarienbetreiber oder Arbeitgeber. Zudem erschwert die fragmentierte US-Gesundheitsversorgung die Umsetzung einheitlicher Sonnenschutzrichtlinien durch ungleichen Zugang zu Prävention, Gesundheitsbildung und Produkten.

Synergien und Schutzzielkonflikte mit Maßnahmen zum Schutz vor solarer UV-Strahlung

Grifoni et al. (2022) legen in ihrer Studie nahe, dass die Übernahme und Verbreitung bewährter Schutzmaßnahmen eine effektive, kombinierte Primärprävention beider Gefährdungsfaktoren für Rettungsschwimmer darstellen könnte, die über längere Zeiträume intensiver UV-Strahlung und Hitze ausgesetzt sind. Alle untersuchten T-Shirts boten einen sehr guten bis ausgezeichneten UV-Schutz, obwohl sie nicht speziell als UV-Schutzkleidung zertifiziert waren. Zusätzlich sollten Beschattungsstrukturen zur Verringerung der direkten Sonneneinstrahlung als zentrale Schutzmaßnahme mit Synergieeffekt gegen UV-Strahlung



und Hitzestress betrachtet werden und so lange wie möglich genutzt werden – in Abhängigkeit von den jeweiligen Arbeitsanforderungen. Gleichzeitig ist es essenziell, zusätzliche Schutzmaßnahmen wie UV-Schutzkleidung, Hüte, Sonnenbrillen und Sonnenschutzmittel zu verwenden sowie durch angemessenes Verhalten – insbesondere zur Vermeidung von Dehydrierung – das Gesundheitsrisiko weiter zu minimieren.

Dennoch gibt es hinsichtlich der Umsetzung von Schutzmaßnahmen gegen Hitze und solare UV-Strahlung auch Kombinationen aus Maßnahmen, bei denen sich ein Schutzzielkonflikt ergibt: Bekleidung kann die Verdunstungskühlung durch Schweißverdunstung, den Wärmeaustausch durch Wärmestrahlung und durch Konvektion signifikant beeinträchtigen und somit aufgrund des Wärmestaus die Gefährdung durch Hitze erhöhen. Gleichzeitig kann lange Bekleidung den Beschäftigten effektiv vor solarer UV-Strahlung schützen. Die Empfehlung der OSHA (2021) zu diesem Thema weist darauf hin, dass lange Bekleidung wenn möglich lose getragen und aus atmungsaktiven Stoffen wie Baumwolle gefertigt sein sollte. Allerdings wird auch darauf eingegangen, dass bei vielen Tätigkeiten keine Möglichkeit besteht, die Bekleidung entsprechend anzupassen, ohne den schützenden Effekt der Schutzkleidung gegen bspw. Pestizide in der Landwirtschaft oder mechanische Gefährdungen auf Baustellen zu kompromittieren. Um diesen Widerspruch aufzulösen werden als Schutzmaßnahmen die Reduktion der Arbeitslast und -tempo, sowie zusätzliche Pausen empfohlen.

Aus arbeitsmedizinischer Sicht werden verschiedene weitere Maßnahmen zum Schutz der menschlichen Haut vor ultravioletter Strahlung empfohlen: Verwendung von Sonnenschutzmitteln, Meiden der Sonne bei maximaler Intensität und das Bedecken eines möglichst großen Anteils der Hautoberfläche (Biswa Ranjan Das 2010). Diese Maßnahmen können jedoch zu einer erhöhten Körpertemperatur führen und somit das Auftreten von hitzebedingten Erkrankungen begünstigen (Baum 1986). Darüber hinaus kann eine verstärkte Schweißbildung bei hoher Hitzebelastung auch den UV-Schutz von aufgetragenen Sonnenschutzmitteln erheblich verringern (Keshavarzi et al. 2021).

Praxisbeispiel

In diesem Abschnitt wird eine Studie der American Society for Testing and Materials (ASTM) betrachtet, welche einen Standardleitfaden (E3279-21) für das Management von Hitzestress und Hitzebelastung in Gießereien entworfen hat. Dieser Leitfaden enthält bewährte Verfahren zur Identifikation und Bewertung von Hitzestress sowie zur Minderung der Hitzebelastung am Arbeitsplatz. Zudem definiert die Norm die Verantwortlichkeiten der Arbeitgeber und empfiehlt zentrale Elemente für ein systematisches „Heat Stress and Heat Strain Management Program“ (American Foundry Society 2021). Dieser Leitfaden basiert u.a. auf einem Projekt der American Foundry Society (AFS), welches mit dem Ziel durchgeführt wurde, das Wissen und die Erfahrungen unterschiedlicher Gießerei-Unternehmen im Bereich Hitzeschutz systematisch zu erfassen und Wissenslücken zu schließen (American Foundry Society Health and Safety Committee 2020).



An diesem Projekt haben 8 Gießereien in den USA über einen Zeitraum von drei bis fünf Jahren teilgenommen. Zur Gewinnung relevanter Daten wurde ein strukturierter Fragebogen erstellt, der an verschiedene Gießereien versandt wurde. Die Fragen waren offen formuliert, um umfassende und praxisnahe Einblicke zu erhalten. Der Fokus lag auf vier zentralen Themenbereichen, die für ein effektives Hitzeschutzprogramm von Bedeutung sind:

1. **Organisatorische Vorbereitung:** Analyse, wie Gießereien ihre Strukturen im Hinblick auf Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen für hitzeexponierte Tätigkeiten anpassen.
2. **Schulung der Mitarbeiter:** Bewertung der Maßnahmen zur Vorbereitung der Beschäftigten auf die sichere Ausführung von Arbeiten unter Hitzeeinwirkung.
3. **Notfallmanagement:** Überprüfung der vorhandenen Reaktionsstrategien für Situationen, in denen die Hitzeexposition kritische Werte erreicht und gesundheitliche Risiken entstehen.
4. **Evaluierung und Optimierung:** Untersuchung der regelmäßigen Bewertung und Anpassung des Hitzeschutzprogramms basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen.

Diese strukturierte Vorgehensweise soll es ermöglichen, bestehende Best Practices abzuleiten und Empfehlungen zur Optimierung hitzebezogener Schutzmaßnahmen in Gießereien zu entwickeln. Aus diesen Daten wurden für die teilnehmenden Unternehmen Maßnahmenpakete abgeleitet, aus welchen durch die im Betrieb für den Arbeitsschutz verantwortlichen Akteure Maßnahmen ausgewählt und in die bestehenden Strukturen des betrieblichen Hitzeschutzes integriert wurden.

Aus der Analyse der positiven Rückmeldungen wurden aus den als erfolgreich bewerteten Schutzprogrammen wichtige Erkenntnisse für „Best Practice“ gewonnen. In Betrieben, die mit ihren Ansätzen erfolgreich hitzebedingte Erkrankungen verhindern konnten, zeichneten sich die Schutzprogramme durch folgende gemeinsame Elemente aus:

1. **Organisatorische und personelle Vorbereitung:** Die Betriebe bereiteten sowohl die Arbeitsumgebung als auch die Mitarbeitenden gezielt auf Tätigkeiten unter Hitzeeinwirkung vor.
2. **Kontinuierliche Überwachung:** Am Arbeitsplatz wurden fortlaufend Parameter für Hitzestress sowie Anzeichen von Hitzebelastung kontrolliert.
3. **Präventive Interventionen:** Auf Basis der Überwachungsergebnisse wurden vorbeugende Maßnahmen eingeleitet, um eine kritische Hitzeeinwirkung zu vermeiden.
4. **Sofortreaktionen bei Beschwerden:** Sobald Anzeichen einer hitzebedingten Beeinträchtigung auftraten, erfolgte umgehend eine Meldung und Reaktion.
5. **Akute Hilfsmaßnahmen:** Betroffene wurden in gekühlte Bereiche gebracht und medizinisch untersucht.
6. **Nachbereitung und Freigabe:** Vor der Rückkehr an den Arbeitsplatz wurden die Ursachen analysiert und notwendige Anpassungen vorgenommen.



Ein zentrales Merkmal der erfolgreichen Programme bestand auch darin, dass sie auf einer bewussten Wahrnehmung der Arbeitsbedingungen durch die Mitarbeitenden basierten. Die Selbstbeurteilung von Hitzebelastung wurde durch Schulungen und kollektive Verantwortungsübernahme ergänzt, um die Risiken von Verwirrung und Desorientierung in kritischen Situationen zu minimieren. Mitarbeitende, Vorgesetzte und das Hilfspersonal waren gleichermaßen geschult, Anzeichen einer hitzebedingten Gesundheitsgefährdung zu erkennen und zu melden (vgl. „Buddy system“).

Bezüglich besonders schutzbedürftiger Beschäftigter wurde in den umgesetzten Hitzeschutz-Programmen lediglich Rückmeldungen zur medizinischen Beratung und Untersuchung der Arbeitnehmer gesammelt. Diese Untersuchungen bzw. Beratungen umfassten u.a. die Berücksichtigung des Gesundheitszustands, der eingenommenen Medikamente und der gesundheitlichen Probleme im Zusammenhang mit Hitzebelastung in der Vergangenheit.

Im Ergebnis der Studie des ASTM und des erarbeiteten Standards werden für die Umsetzung eines systematischen Hitzebelastungs-Managementprogramms in Gießereien die folgenden Empfehlungen ausgesprochen:

Verantwortlichkeiten

Der Standard definiert klare Zuständigkeiten zur Kontrolle der Hitzebelastung in Gießereien:

1. Gießereimanagement

- Bewertung der Temperaturen und Ausgabe von Hitzewarnungen bei Bedarf.
- Sicherstellung von Schutzmaßnahmen und Bereitstellung geeigneter persönlicher Schutzausrüstung (PSA).
- Überprüfung von Vorfällen im Zusammenhang mit Hitzebelastung und Genehmigung von Korrekturmaßnahmen.

2. Personal- und Sicherheitsmitarbeiter

- Entwicklung und Durchführung von Schulungen für Beschäftigte, Vorgesetzte und Ersthelfer.
- Zusammenarbeit mit der Technikabteilung zur Reduzierung der Hitzebelastung.
- Bewertung von Wärmequellen im Rahmen der Arbeitssicherheitsanalysen.
- Überwachung von Maßnahmen zur Reduktion der Hitzebelastung, einschließlich der Rückkehhgenehmigung für betroffene Mitarbeitende.
- Auswahl geeigneter PSA und Planung medizinischer Dienstleistungen zur Überprüfung der Arbeitsfähigkeit unter Hitzebedingungen sowie zur Behandlung hitzebedingter Erkrankungen.
- Koordination von Ersthelfern zur schnellen Reaktion auf übermäßige Hitzebelastung.



3. Technik/Ingenieurwesen

- Analyse der Hitzebelastung und Entwicklung von Maßnahmen zur Wärmebegrenzung.
- Optimierung von Prozesskontrollen sowie Belüftungssystemen.
- Umsetzung von Korrekturmaßnahmen auf Basis von Untersuchungsberichten.
- Bereitstellung von gekühlten Bereichen und Hydrationsstationen.

4. Beschäftigte

- Einhaltung der Schulungsvorgaben.
- Vorbereitung auf Arbeiten unter Hitzestressbedingungen.
- Erkennen und Melden von Anzeichen übermäßiger Hitzebelastung bei sich selbst und Kollegen.

5. Vorgesetzte

- Bewertung der Arbeitsbedingungen und der Hitzebelastung, Einleitung notwendiger Maßnahmen auf dem Niveau der Hitzebelastung.
- Unterstützung bei Schulungen und Zuweisungsbewertungen.
- Entfernen von Mitarbeitenden aus hitzebelasteten Bereichen, wenn Symptome auftreten, und Zusammenarbeit mit Rettungskräften.

Programmelemente zur Hitzebelastungsbewältigung

Der Standard beschreibt wesentliche Elemente eines Hitzebelastungs-Management-Programms und Maßnahmen zur Umsetzung:

A. Schutzmaßnahmen

1. Setzen Sie nur Mitarbeitende in hitzebelastete Bereiche ein, die auf die Exposition vorbereitet sind und diese vertragen können. Dies lässt sich durch eine Kombination aus Bewertung, Schulung und Akklimatisierung erreichen. Zudem sollten die Mitarbeitenden ermutigt werden, Anzeichen übermäßiger Hitzebelastung bei sich selbst und anderen zu erkennen und zu melden. Weiterhin sind regelmäßige Pausen sinnvoll, um die Mitarbeitenden dazu anzuregen, nach Bedarf Pausen zu machen.
2. Kontrolle von Wärmequellen, um die Hitzeeinwirkung zu begrenzen, unter Verwendung von Belüftung und Arbeitsrotation.
3. Unterstützung der Mitarbeitenden, die Hitzeexposition zu regulieren, um die Körpertemperatur zu steuern. Dies kann durch zusätzliche Flüssigkeitszufuhr, geeignete PSA, Zugang zu Kühlräumen, Anpassung der Arbeitszeiten sowie Reduzierung der Arbeitszeit und Arbeitsbelastung geschehen. Weitere Maßnahmen umfassen die Bereitstellung von Hitzeschutzteams und tragbaren Kühlgeräten.



B. Überwachung der Hitzeexposition

Überwachung der Hitzeexposition und der Hitzebelastung unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Variabilität von Hitzestress, Hitzebelastung und Hitzetoleranz bei den Mitarbeitenden bedeutet, dass die Schutzmaßnahmen nicht unter allen Umständen ausreichend sein könnten:

1. Überprüfung, ob die Hitzeschutzmaßnahmen wirksam sind und ob die Mitarbeitenden die Sicherheitspraktiken für das Arbeiten bei hohen Temperaturen einhalten.
2. Messung der Temperaturen und Bewertung der Arbeitsbedingungen zur Einschätzung der Auswirkungen von Hitzestress.
3. Beobachtung und Kommunikation mit den Mitarbeitenden zur Beurteilung des Potenzials für Hitzebelastung.
4. Festlegung von Schwellenwerten für das Einleiten von Maßnahmen basierend auf den Überwachungsergebnissen.

C. Reaktionsmaßnahmen bei Hitzestress

Ergreifen Sie angemessene Maßnahmen und setzen Sie vorab geplante Strategien um, basierend auf den Überwachungsergebnissen, die auf zunehmende Hitzestressbedingungen, den Beginn einer möglichen Hitzebelastung, eine Fehlfunktion der Schutzmaßnahmen, Prozessstörungen oder die Nichteinhaltung der richtigen Praktiken durch die Mitarbeitenden hinweisen:

1. Ermutigen Sie die Mitarbeitenden, sich selbst und ihre Kollegen auf Anzeichen übermäßiger Hitzebelastung zu beobachten.
2. Mildern Sie den Hitzestress durch zusätzliche Pausen oder Anpassungen der Arbeitsaufgaben.
3. Fördern Sie zusätzliche Luftzirkulation und stellen Sie Kühlmöglichkeiten bereit.

D. Notfall- und Interventionsprotokoll

Erstellen Sie ein Interventionsprotokoll für die Meldung von Warnzeichen einer übermäßigen Hitzebelastung, das folgende Maßnahmen umfassen kann:

1. Schulung von Einsatzkräften (First Responders)
2. Notfall-Behandlung der betroffenen Mitarbeitenden.
3. Nach der Beurteilung und Behandlung der Mitarbeitenden, Durchführung der erforderlichen Verfahren für ihre Rückkehr an den Arbeitsplatz oder Neuzuweisung.
4. Identifizierung und Korrektur der Ursachen, die für die Hitzebelastung verantwortlich sind.
5. Nach der Beurteilung und Behandlung der Mitarbeitenden, Durchführung der erforderlichen Verfahren für ihre Rückkehr an den Arbeitsplatz oder Neuzuweisung.
6. Identifizierung und Entfernung der Ursachen von Hitzebelastung.



7 Fazit und Ausblick

7.1 Handlungsempfehlungen

Die in diesem Gutachten zusammengeführten Informationen machen deutlich, dass eine Vielzahl von Personen- und Beschäftigtengruppen von unterschiedlichen Faktoren betroffen sind, die ihr Risiko für Gesundheitsschäden aufgrund von Hitze und solarer UV-Strahlung erhöhen. Weiterhin zeigt sich, dass obwohl in diesem Themenfeld bereits seit mehreren Jahrzehnten international sehr aktiv geforscht wird, bislang noch keine effektiven Grenzwerte für Hitzebelastung bei der Arbeit festgelegt werden konnten, für die es einen breiten wissenschaftlichen Konsens gibt. Die vielfältigen, teilweise wechselwirkenden Einflussfaktoren und die individuell unterschiedliche physiologische Reaktion auf Hitzebelastung führen dazu, dass ein Großteil der Studien zu Instrumenten der Bewertung von Hitzebelastung und der Festlegung von Grenzwerten Risikogruppen bewusst aus den untersuchten Studienpopulationen ausschließen: Brimicombe et al. (2024) stellten in ihrer Übersichtsarbeit fest, dass eine große Mehrheit der analysierten Studien gesunde, männliche Erwachsene im Alter zwischen 25 – 55 Jahren untersuchen. Obwohl die Komplexität der Thematik es bereits herausfordernd macht, für den „durchschnittlichen“ gesunden Beschäftigten wirksame Grenzwerte festzulegen, sprechen sich die Autoren dafür aus, Risikogruppen in zukünftigen Studien verstärkt zu berücksichtigen.

Für den Schutz von Risikogruppen in Deutschland wird aus diesem Gutachten ersichtlich, dass es für Arbeitgeber nur schwer bzw. nicht möglich ist, alle Einflussfaktoren für die Bewertung der Hitzebelastung zu erfassen. Daher ist es umso bedeutsamer, dass trotz fehlender verbindlicher Grenzwerte das Minimierungsgebot gemäß § 4 Nr. 1 ArbSchG konsequent umgesetzt wird. Adressat sind hierfür in erster Linie die Arbeitgeber als für den Arbeitsschutz Verantwortliche, aber auch für die Beschäftigten sollte im Rahmen des Eigenschutzes und des Schutzes Dritter im eigenen Tätigkeitsumfeld das Minimierungsgebot Anwendung finden. Dafür müssen die Beschäftigten entsprechend sensibilisiert werden und hinsichtlich der oben erläuterten und für die Beschäftigten relevanten Risikofaktoren unterwiesen werden. Aufgrund der Komplexität der Einflussfaktoren sollten für die Gestaltung des Arbeitsplatzes und der Schutzmaßnahmen Arbeitsmediziner mit einbezogen werden, insbesondere bei den besonders schutzbedürftigen Beschäftigtengruppen.

7.2 Forschungsbedarfe / Ausblick

Die im Arbeitsschutz bzw. der Arbeitsmedizin angewandte Methode des *Biomonitoring* (vgl. AMR Nr. 6.2) bezeichnet „...die Untersuchung biologischen Materials der Beschäftigten zur Bestimmung von Gefahrstoffen, deren Metaboliten oder deren biochemischen beziehungsweise biologischen Effektparametern. Dabei ist es das Ziel, die Belastung und die Gesundheitsgefährdung von Beschäftigten zu erfassen, die erhaltenen Analysewerte mit entsprechenden Werten zur Beurteilung [...] zu vergleichen und geeignete Maßnahmen vorzuschlagen, um die Belastung und die Gesundheitsgefährdung zu reduzieren.“ Diese



Methode ist vergleichbar mit der Empfehlung der OSHA, physiologisches Monitoring der Beschäftigten bei Hitzebelastung durchzuführen, um die individuelle Hitzebeanspruchung der Beschäftigten feststellen zu können. Durch dieses Bewertungsinstrument könnte die Notwendigkeit, die Arbeitsumgebungsbedingungen zu messen und anhand dessen Grenzwerte für die Hitzebelastung festzulegen reduziert werden. Dafür ist es erforderlich, geeignete physische Biomarker zu erforschen, die sowohl die Bewertung des individuellen Risikos für hitzebedingte Gesundheitsschäden ermöglichen, als auch in der betrieblichen Praxis anwenderfreundlich messbar sind. Darüber hinaus ist es für die Sammlung der notwendigen Messdaten erforderlich, ein Konzept zu entwickeln, welches diese sensiblen persönlichen Daten der Beschäftigten zuverlässig schützen kann. Diese Anforderung ergibt sich nicht nur aus dem gesetzlichen Datenschutz, sondern fördert auch die Akzeptanz der Beschäftigten für diese Bewertungsmethode.



Literaturverzeichnis

Abassi, Z. A.; Hoffman, A.; Better, O. S. (1998): Acute renal failure complicating muscle crush injury. In: *Seminars in nephrology* 18 (5), S. 558–565.

Adachi, Koji; Ansai, Shinichi; Yamaguchi, Fumio; Igarashi, Yumi; Morita, Akio (2020): BT-09 Anhidrosis in neurohypophyseal germinoma treated with CBDCA and VP-16. In: *Neuro-Oncology Advances* 2 (Supplement_3), ii20-ii20. DOI: 10.1093/noajnl/vdaa143.087.

Adolph, Lars; Beermann, Beate; Brenscheidt, Frank; Brockt, Georg; Bux, Kersten; Caffier, Gustav et al. (2016): Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung - Handbuch für Arbeitsschutzfachleute: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).

American College of Occupational and Environmental Medicine (Hg.) (2025): Comments on Heat Injury and Illness Prevention in Outdoor and Indoor Work Settings. Online verfügbar unter <https://acoem.org/acoem/media/PDF-Library/1-13-25-ACOEM-Comment-Package-Occupational-Heat-Standard-OSHA-2021-0009.pdf>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

American Foundry Society (2021): Modern casting, S. 38–41. Online verfügbar unter <https://cdn.coverstand.com/55001/715684/3a62874d6b451e8b594e25e2944577415defaa1e.pdf>.

American Foundry Society Health and Safety Committee (2020): Foundry Approaches to Control the Heat Exposure of Workers. Online verfügbar unter [Regulations.gov](https://www.regulations.gov), zuletzt aktualisiert am 12.02.2025, zuletzt geprüft am 12.02.2025.

Armstrong, Lawrence E.; Casa, Douglas J.; Millard-Stafford, Mindy; Moran, Daniel S.; Pyne, Scott W.; Roberts, William O. (2007): American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. In: *Medicine and science in sports and exercise* 39 (3), S. 556–572. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31802fa199.

Augustin, Jobst; Burkart, Katrin; Endlicher, Wilfried; Herrmann, Alina; Jochner-Oette, Susanne; Koppe, Christina et al. (2023): Klimawandel und Gesundheit. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöller (Hg.): *Klimawandel in Deutschland*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 171–189.

BAD Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH: Besonders gefährdete Arbeitnehmer. Online verfügbar unter <https://www.bad-gmbh.de/glossar/besonders-gefaehrdete-arbeitnehmer/>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Balmain, Bryce N.; Sabapathy, Surendran; Louis, Menaka; Morris, Norman R. (2018): Aging and Thermoregulatory Control: The Clinical Implications of Exercising under Heat Stress in Older Individuals. In: *BioMed research international* 2018, S. 8306154. DOI: 10.1155/2018/8306154.

Barón, Anna E.; Asdigian, Nancy L.; Gonzalez, Victoria; Aalborg, Jenny; Terzian, Tamara; Stiegmann, Regan A. et al. (2014): Interactions between ultraviolet light and MC1R and OCA2 variants are determinants of childhood nevus and freckle phenotypes. In: *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention : a publication of the American Association for*



Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology 23 (12), S. 2829–2839. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-14-0633.

Bar-Or, O.; Lundegren, H. M.; Buskirk, E. R. (1969): Heat tolerance of exercising obese and lean women. In: *Journal of applied physiology* 26 (4), S. 403–409. DOI: 10.1152/jappl.1969.26.4.403.

Bates, Graham P.; Schneider, John (2008): Hydration status and physiological workload of UAE construction workers: A prospective longitudinal observational study. In: *Journal of Occupational Medicine and Toxicology (London, England)* 3, S. 21. DOI: 10.1186/1745-6673-3-21.

Bauer, Stefan; Bux, Kersten; Dieterich, Frank; Gabriel, Katharina; Kienast, Camilla; Klar, Stefanie; Alexander, Thomas (2022): Klimawandel und Arbeitsschutz.

Baum, J. (1986): Der Hitzschlag. Therapeutische Überlegungen zu einem Fall. In: *Anästhesie, Intensivtherapie, Notfallmedizin* 21 (5), S. 284–287.

Behrens, Gundula; Niedermaier, Tobias; Berneburg, Mark; Schmid, Daniela; Leitzmann, Michael F. (2018): Physical activity, cardiorespiratory fitness and risk of cutaneous malignant melanoma: Systematic review and meta-analysis. In: *PloS one* 13 (10), 1. DOI: 10.1371/journal.pone.0206087.

Beratungsgesellschaft für Arbeits- und Gesundheitsschutz mbH: Arbeitsschutz Lexikon von A - Z. Online verfügbar unter <https://www.bfga.de/arbeitsschutz-lexikon-von-a-bis-z/>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

BG Verkehr (2025): Schutz besonderer Beschäftigtengruppen. Hg. v. Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft, Post-Logistik, Telekommunikation. Online verfügbar unter <https://www.bg-verkehr.de/arbeitssicherheit-gesundheit/themen/arbeitsschutz-organisieren/gefaehrungsbeurteilung/schutz-besonderer-beschaefigtengruppen>, zuletzt geprüft am 18.11.2024.

Biswa Ranjan Das (2010): UV Radiation Protective Clothing. Online verfügbar unter <https://benthamopenarchives.com/contents/pdf/TOTEXTILEJ/TOTEXTILEJ-3-14.pdf>.

Blatteis, Clark M. (2012): Age-dependent changes in temperature regulation - a mini review. In: *Gerontology* 58 (4), S. 289–295. DOI: 10.1159/000333148.

Boniol, Mathieu; Autier, Philippe; Boyle, Peter; Gandini, Sara (2012): Cutaneous melanoma attributable to sunbed use: systematic review and meta-analysis. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 345, 254. DOI: 10.1136/bmj.e4757.

Botyar, Malihe; Khoramroudi, Rozita (2018): Ultraviolet radiation and its effects on pregnancy: A review study. In: *Journal of family medicine and primary care* 7 (3), S. 511–514. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_311_17.

Brimicombe, C.; Gao, C.; Otto, I. M. (2024): Vulnerable to heat stress: gaps in international standard metric thresholds. In: *International journal of biometeorology* 68 (12), S. 2495–2506. DOI: 10.1007/s00484-024-02783-6.



Brooks, Nick (2003): Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Hg. v. Tyndall Centre for Climate Change Research. Intergovernmental Panel on Climate Change. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/apps/njlite/srex/njlite_download.php?id=5463, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK): Glossar. Vulnerabilität (auch: Verwundbarkeit oder Verletzlichkeit). BBK. Online verfügbar unter https://www.bbk.bund.de/DE/Infothek/Glossar/_functions/glossar.html?lv2=19848, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesinstitut für Öffentliche Gesundheit (Hg.) (2024): Hitze und Klimawandel. Hitze und Hitzeschutz. Online verfügbar unter <https://www.klima-mensch-gesundheit.de/hitze-und-hitzeschutz/hitze-und-klimawandel/>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium der Justiz (12.04.1976): Gesetz zum Schutze der arbeitenden Jugend. Jugendarbeitsschutzgesetz - JArbSchG, vom 23.10.2024. In: *Bundesgesetzblatt* 1976 (Teil I), S. 965. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/jarbschg/index.html>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium der Justiz (23.06.1998): Verordnung über den Kinderarbeitsschutz. Kinderarbeitsschutzverordnung - KindArbSchV, vom 23.06.1998. In: *Bundesgesetzblatt* 1998 (Teil I), S. 1508. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/kindarbschv/index.html>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium der Justiz (23.12.2016): Sozialgesetzbuch Neuntes Buch – Rehabilitation und Teilhabe von Menschen mit Behinderungen. Neuntes Buch Sozialgesetzbuch - SGB IX, vom 22.12.2023. In: *Bundesgesetzblatt* 2016 (Teil I), S. 3234. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/sgb_9_2018/index.html, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium der Justiz (23.05.2017): Gesetz zum Schutz von Müttern bei der Arbeit, in der Ausbildung und im Studium. Mutterschutzgesetz - MuSchG, vom 23.10.2024. In: *Bundesgesetzblatt* 2017 (Teil I), S. 1228. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/muschg_2018/index.html, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (07.08.1996): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit. Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG, vom 15.07.2024. In: *Bundesgesetzblatt* 1996 (Teil I), S. 1246. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/_5.html, zuletzt geprüft am 27.01.2025.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (12.08.2004): Verordnung über Arbeitsstätten. Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV, vom 27.03.2024. In: *Bundesgesetzblatt* 2004 (Teil I), S. 2179. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/index.html, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (06.03.2007): Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen. Lärm- und Vibrations-



Arbeitsschutzverordnung - LärmVibrationsArbSchV, vom 2021. In: *Bundesgesetzblatt* (Teil I Nr. 8), S. 261. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/l_rmvibrationsarbschv/index.html, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Juni 2010): Raumtemperatur. ASR A3.5, vom März 2022. In: *Gemeinsames Ministerialblatt* 2022, S. 198. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-5.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (19.07.2010): Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung. Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - OStrV, vom 18.10.2017. In: *Bundesgesetzblatt* 2010 (Teil I), S. 960. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/ostrv/index.html>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (20.04.2013): Seearbeitsgesetz. SeeArbG, vom 14.03.2023. In: *Bundesgesetzblatt* 2013 (Teil I), S. 868. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/seearbg/index.html>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (November 2013): Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung. TROS Inkohärente Optische Strahlung, vom November 2013. In: *Gemeinsames Ministerialblatt* 2013 (Nr. 65-67), S. 1302. Online verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TROS/TROS-IO-Allgemeines>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (15.11.2016): Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder. Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern - EMFV, vom 30.04.2019. In: *Bundesgesetzblatt* 2016 (Teil I), S. 2531. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/emfv/index.html>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (14.02.2023): Technische Regel zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern. TREMF HF Elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz, vom 04.11.2024. In: *Gemeinsames Ministerialblatt* 2023 (Nr. 3-12), S. 140. Online verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TREMF/TREMF-HF>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für Wirtschaft (13.08.1980): Bergverordnung für alle bergbaulichen Bereiche. Allgemeine Bundesbergverordnung - ABergV, vom 1995. In: *Bundesgesetzblatt* 1980 (Teil I), S. 1310. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/abbergv/index.html#BJNR146600995BJNE000100000>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ): Lexikon der Entwicklungspolitik. Online verfügbar unter <https://www.bmz.de/de/service/lexikon#lexicon=70564>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.



- Bytomski, Jeffrey R.; Squire, Deborah L. (2003): Heat Illness in Children. In: *Current Sports Medicine Reports* 2 (6). Online verfügbar unter https://journals.lww.com/acsm-csmr/fulltext/2003/12000/heat_illness_in_children.7.aspx.
- Campero, M.; Baumann, T. K.; Bostock, H.; Ochoa, J. L. (2009): Human cutaneous C fibres activated by cooling, heating and menthol. In: *The Journal of physiology* 587 (Pt 23), S. 5633–5652. DOI: 10.1113/jphysiol.2009.176040.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety (Hg.): Vulnerable Workers. Online verfügbar unter https://www.ccohs.ca/topics/workers/vulnerable#ctgt_wb-auto-3, zuletzt geprüft am 18.02.2025.
- Centers for Disease Control and Prevention (Hg.) (2024): Clinical Overview of Heat and Cardiovascular Disease. Online verfügbar unter <https://www.cdc.gov/heat-health/hcp/clinical-overview/heat-and-people-with-cardiovascular-disease.html>, zuletzt aktualisiert am 18.06.2024, zuletzt geprüft am 18.02.2025.
- Cervellin, Gianfranco; Comelli, Ivan; Lippi, Giuseppe (2010): Rhabdomyolysis: historical background, clinical, diagnostic and therapeutic features. In: *Clinical chemistry and laboratory medicine* 48 (6), S. 749–756. DOI: 10.1515/CCLM.2010.151.
- Chang, Ni-Bin; Feng, Rui; Gao, Zhiqiang; Gao, Wei (2010): Skin cancer incidence is highly associated with ultraviolet-B radiation history. In: *International journal of hygiene and environmental health* 213 (5), S. 359–368. DOI: 10.1016/j.ijheh.2010.06.006.
- Chatterjee, Rhitu (2016): Occupational hazard. In: *Science (New York, N.Y.)* 352 (6281), S. 24–27. DOI: 10.1126/science.352.6281.24.
- Cheshire, William P. (2016): Thermoregulatory disorders and illness related to heat and cold stress. In: *Autonomic neuroscience : basic & clinical* 196, S. 91–104. DOI: 10.1016/j.autneu.2016.01.001.
- Cheshire, William P. (2020): Sudomotor Dysfunction. In: *Seminars in neurology* 40 (5), S. 560–568. DOI: 10.1055/s-0040-1713847.
- Coon, Elizabeth A.; Low, Phillip A. (2018): Thermoregulation in Parkinson disease. In: *Handbook of clinical neurology* 157, S. 715–725. DOI: 10.1016/B978-0-444-64074-1.00043-4.
- Cramer, Matthew N.; Gagnon, Daniel; Laitano, Orlando; Crandall, Craig G. (2022): Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury. In: *Physiological reviews* 102 (4), S. 1907–1989. DOI: 10.1152/physrev.00047.2021.
- Department of Employment and Labour (01.03.2024): Regulation Gazette No. 11671. In: *Government Gazette Staatskoerant* (Vol. 705). Online verfügbar unter <https://www.labour.gov.za/DocumentCenter/Regulations%20and%20Notices/Regulations/Occupational%20Health%20and%20Safety/Draft%20Lead%20Regulations%20Gazette%20No.%2011671%201%20March%202024.pdf>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.
- Department of Employment and Workplace Relations (31.07.2018): Work Health and Safety Act 2011. WHS Act 2011, vom 2018. Online verfügbar unter



<https://www.legislation.gov.au/C2011A00137/2018-07-01/text>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Department of Enterprise, Trade and Employment (2005): Safety, Health and Welfare at work (General Application) Regulations 2007, vom 01.11.2007. Online verfügbar unter <https://www.irishstatutebook.ie/eli/2007/si/299/made/en/>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (November 2013): DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“, S. 17. Online verfügbar unter <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/2909>.

DiBeneditto, J. P.; Worobec, S. M. (1985): Exposure to hot environments can cause dermatological problems. In: *Occupational health & safety (Waco, Tex.)* 54 (1), S. 35–38.

DOD (2003): Technical bulletin: heat stress control and heat casualty management. TB MED 507/AFPAM 48-152 (I). Departments of the U.S. Army, Navy, and Air Force. Washington, D.C.

D'Orazio, John; Jarrett, Stuart; Amaro-Ortiz, Alexandra; Scott, Timothy (2013): UV radiation and the skin. In: *International journal of molecular sciences* 14 (6), S. 12222–12248. DOI: 10.3390/ijms140612222.

Drinkwater, B. L.; Horvath, S. M. (1979): Heat tolerance and aging. In: *Medicine and science in sports* 11 (1), S. 49–55.

D'Souza, Andrew W.; Notley, Sean R.; Kenny, Glen P. (2020): The Relation between Age and Sex on Whole-Body Heat Loss during Exercise-Heat Stress. In: *Medicine and science in sports and exercise* 52 (10), S. 2242–2249. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002373.

Dukes-Dobos, F. N. (1981): Hazards of heat exposure. A review. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 7 (2), S. 73–83. DOI: 10.5271/sjweh.2560.

Ellis, F. P. (1972): Mortality from heat illness and heat-aggravated illness in the United States. In: *Environmental research* 5 (1), S. 1–58. DOI: 10.1016/0013-9351(72)90019-9.

Enke, K.; Knacke, P. G. (Hg.) (2009): Allgemeine und spezielle Notfallmedizin, Schwerpunkt Traumatologie. 4. Aufl. Edewecht: Stumpf + Kossendey (Grundlagen, Bd. 3).

European Agency for Safety and Health at Work (Hg.) (2013): Psychosocial risks and vulnerable groups. Online verfügbar unter <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/psychosocial-risks-and-vulnerable-groups>, zuletzt aktualisiert am 30.09.2024, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

European Agency for Safety and Health at Work (Hg.) (2023): Heat at work - Guidance for workplaces. Online verfügbar unter <https://osha.europa.eu/en/publications/heat-work-guidance-workplaces>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Eychenne, A.; Fort, M. (2024): Pourquoi il est difficile de recenser les morts de la chaleur au travail. Hg. v. Le Monde. Online verfügbar unter https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2024/11/01/pourquoi-il-est-difficile-de-recenser-les-morts-de-la-chaleur-au-travail_6371004_4355770.html, zuletzt geprüft am 18.02.2025.



Fair Work Ombudsman (Hg.) (2024): Glossary & Acronyms. vulnerable workers. Australian Government. Online verfügbar unter <https://www.fairwork.gov.au/taxonomy/term/441>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Fatima, Syeda Hira; Rothmore, Paul; Giles, Lynne C.; Varghese, Blessom M.; Bi, Peng (2021): Extreme heat and occupational injuries in different climate zones: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. In: *Environment international* 148, S. 106384. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106384.

Flouris, Andreas D.; Azzi, M.; Graczyk, H.; Nafradi, B.; Scott, N. (2024): Heat at Work: Implications for Safety and Health. A Global Review of the Science, Policy and Practice. Geneva: International Labour Office. Online verfügbar unter https://www.ilo.org/sites/default/files/2024-07/ILO_OSH_Heatstress-R16.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Flouris, Andreas D.; McGinn, Ryan; Poirier, Martin P.; Louie, Jeffrey C.; Ioannou, Leonidas G.; Tsoutsoubi, Lydia et al. (2018): Screening criteria for increased susceptibility to heat stress during work or leisure in hot environments in healthy individuals aged 31–70 years. In: *Temperature (Austin, Tex.)* 5 (1), S. 86–99. DOI: 10.1080/23328940.2017.1381800.

Francis, Paul T.; Perry, Elaine K. (2007): Cholinergic and other neurotransmitter mechanisms in Parkinson's disease, Parkinson's disease dementia, and dementia with Lewy bodies. In: *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society* 22 Suppl 17, S351-7. DOI: 10.1002/mds.21683.

Gagnon, Daniel; Kenny, Glen P. (2011): Sex modulates whole-body sudomotor thermosensitivity during exercise. In: *The Journal of physiology* 589 (Pt 24), S. 6205–6217. DOI: 10.1113/jphysiol.2011.219220.

Gantenbein, Lorena; Cerminara, Sara Elisa; Maul, Julia-Tatjana; Navarini, Alexander A.; Maul, Lara Valeska (2024): Artificial Intelligence-Driven Skin Aging Simulation as a Novel Skin Cancer Prevention. In: *Dermatology (Basel, Switzerland)*, S. 1–13. DOI: 10.1159/000541943.

Ghoseiri, Kamiar; Zheng, Yong Ping; Leung, Aaron K. L.; Rahgozar, Mehdi; Aminian, Gholamreza; Lee, Tat Hing; Safari, Mohammad Reza (2018): Temperature measurement and control system for transtibial prostheses: Functional evaluation. In: *Assistive technology : the official journal of RESNA* 30 (1), S. 16–23. DOI: 10.1080/10400435.2016.1225850.

Glaser, Jason; Lemery, Jay; Rajagopalan, Balaji; Diaz, Henry F.; García-Trabanino, Ramón; Taduri, Gangadhar et al. (2016): Climate Change and the Emergent Epidemic of CKD from Heat Stress in Rural Communities: The Case for Heat Stress Nephropathy. In: *Clinical journal of the American Society of Nephrology : CJASN* 11 (8), S. 1472–1483. DOI: 10.2215/CJN.13841215.

Goldman, R. F. (1973): Clothing, its physiological effects, adequacy in extreme thermal environments, and possibility of future improvements. In: *Archives des sciences physiologiques* 27 (2), S. 137–147.



- Goldman, R. F. (1985): Heat stress in industrial protective encapsulating garments. In: S. P. Levine und W. F. Martin (Hg.): *Protecting Personnel at Hazardous Waste Sites*. Vol. 10. Boston: Butterworth Publishers.
- Grifoni, Daniele; Betti, Giulio; Bogi, Andrea; Bramanti, Lucia; Chiarugi, Alessandra; Gozzini, Bernardo et al. (2022): Protective Measures From Solar Ultraviolet Radiation for Beach Lifeguards in Tuscany (Italy): Shade and Clothing Strategies. In: *Safety and health at work* 13 (4), S. 421–428. DOI: 10.1016/j.shaw.2022.08.009.
- Guerra, Karla C.; Crane, Jonathan S. (2025): StatPearls. Sunburn. Treasure Island (FL).
- Gun, Richard (2019): Deaths in Australia from Work-Related Heat Stress, 2000–2015. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (19). DOI: 10.3390/ijerph16193601.
- Gutberlet, Anna Katharina (2014): REACH: Expositionsabschätzung für den Arbeitsplatz :helpdesk reach-CLP ; Text: Dr. Anna Gutberlet, Dr. Dag Rother, Dr. Michal Wiecko, Dr. Michael Roitzsch (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin). 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (REACH-Info, 11).
- Hallin, R. G.; Torebjörk, H. E.; Wiesenfeld, Z. (1982): Nociceptors and warm receptors innervated by C fibres in human skin. In: *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 45 (4), S. 313–319. DOI: 10.1136/jnnp.45.4.313.
- Hanna, Elizabeth G.; Kjellstrom, Tord; Bennett, Charmian; Dear, Keith (2011): Climate change and rising heat: population health implications for working people in Australia. In: *Asia-Pacific journal of public health* 23 (2 Suppl), 14S-26. DOI: 10.1177/1010539510391457.
- Health and Safety Authority (Hg.): Vulnerable Workers. Online verfügbar unter https://www.hsa.ie/eng/topics/vulnerable_workers/vulnerable_workers.html, zuletzt geprüft am 18.02.2025.
- Health and Safety Authority (Hg.) (2024): Sensitive Risk Groups. Online verfügbar unter https://www.hsa.ie/eng/workplace_health/sensitive_risk_groups/, zuletzt geprüft am 18.02.2025.
- Health and Safety Executive (Hg.) (2024): Vulnerable workers. Online verfügbar unter <https://www.hse.gov.uk/vulnerable-workers/index.htm>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.
- Hellon, R. F.; Lind, A. R. (1958): The influence of age on peripheral vasodilatation in a hot environment. In: *The Journal of physiology* 141 (2), S. 262–272. DOI: 10.1113/jphysiol.1958.sp005971.
- Henschel, A. (1967): Obesity as an occupational hazard. In: *Canadian journal of public health = Revue canadienne de sante publique* 58 (11), S. 491–493.
- Hüls, Anke; Sugiri, Dorothea; Fuks, Kateryna; Krutmann, Jean; Schikowski, Tamara (2019): Lentigine Formation in Caucasian Women-Interaction between Particulate Matter and Solar UVR. In: *The Journal of investigative dermatology* 139 (4), S. 974–976. DOI: 10.1016/j.jid.2018.09.034.



Idiáquez, Juan (2018): Evaluation and Management of Autonomic Disorders. A Case-Based Practical Guide. Unter Mitarbeit von Eduardo Benarroch und Martin Nogues. Cham: Springer. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5355938>.

ILO (2024): Ensuring safety and health at work in a changing climate. Geneva: International Labour Office. Online verfügbar unter <https://www.ilo.org/publications/ensuring-safety-and-health-work-changing-climate>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

International Labour Office (Hg.): National employment policies: A guide to workers' organisations. Some key terms and what they mean. Geneva. Online verfügbar unter https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_emp/@emp_policy/documents/publication/wcms_334921.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

International Labour Organisation: ILO Curriculum on Building Modern and Effective Labour Inspection Systems. Module 9: Dealing with vulnerable groups of workers. Geneva. Online verfügbar unter https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed_dialogue/%40lab_admin/documents/genericdocument/wcms_856569.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Johnson, John M.; Minson, Christopher T.; Kellogg, Dean L. (2014): Cutaneous vasodilator and vasoconstrictor mechanisms in temperature regulation. In: *Comprehensive Physiology* 4 (1), S. 33–89. DOI: 10.1002/cphy.c130015.

Joy, Robert J. T.; Goldman, Ralph F. (1968): A Method of Relating Physiology and Military Performance A Study of Some Effects of Vapor Barrier Clothing in a Hot Climate. In: *Military Medicine* 133 (6), S. 458–470. DOI: 10.1093/milmed/133.6.458.

Karthick, Sanjgna; Kermanshachi, Sharareh; Pamidimukkala, Apurva; Namian, Mostafa (2023): A review of construction workforce health challenges and strategies in extreme weather conditions. In: *International journal of occupational safety and ergonomics : JOSE* 29 (2), S. 773–784. DOI: 10.1080/10803548.2022.2082138.

Kazman, Josh B.; Purvis, Dianna L.; Heled, Yuval; Lisman, Peter; Atias, Danit; van Arsdale, Stephanie; Deuster, Patricia A. (2015): Women and exertional heat illness: identification of gender specific risk factors. In: *U.S. Army Medical Department journal*, S. 58–66.

Kenney, W. Larry; Munce, Thayne A. (2003): Invited review: aging and human temperature regulation. In: *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)* 95 (6), S. 2598–2603. DOI: 10.1152/jappphysiol.00202.2003.

Kenny, Glen P.; Groeller, Herbert; McGinn, Ryan; Flouris, Andreas D. (2016): Age, human performance, and physical employment standards. In: *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme* 41 (6 Suppl 2), S92-S107. DOI: 10.1139/apnm-2015-0483.

Kenny, Glen P.; Yardley, Jane; Brown, Candice; Sigal, Ronald J.; Jay, Ollie (2010): Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. In: *CMAJ : Canadian Medical*

Association journal = journal de l'Association medicale canadienne 182 (10), S. 1053–1060.
DOI: 10.1503/cmaj.081050.

Keshavarzi, Fatemeh; Knudsen, Nina Ø.; Brewer, Jonathan R.; Ebbesen, Morten F.; Komjani, Niloufarsadat M.; Moghaddam, Saeed Z. et al. (2021): In vitro skin model for characterization of sunscreen substantivity upon perspiration. In: *International Journal of Cosmetic Science* 43 (3), S. 359–371. DOI: 10.1111/ics.12703.

Khogali, M.; Hales, J.R.S. (Hg.) (1983): Heat stroke and temperature regulation. Sydney: Academic Press.

Kiefer, Max; Rodríguez-Guzmán, Julietta; Watson, Joanna; van Wendel de Joode, Berna; Mergler, Donna; Da Silva, Agnes Soares (2016): Worker health and safety and climate change in the Americas: issues and research needs. In: *Revista panamericana de salud publica = Pan American journal of public health* 40 (3), S. 192–197.

Kimlin, Michael G. (2008): Geographic location and vitamin D synthesis. In: *Molecular aspects of medicine* 29 (6), S. 453–461. DOI: 10.1016/j.mam.2008.08.005.

Kjellstrom, Tord; Maître, Nicolas; Saget, Catherine; Otto, Matthias; Karimova, Tahmina (2019): Working on a warmer planet. The impact of heat stress on labour productivity and decent work, S. 53. Online verfügbar unter https://labordoc.ilo.org/discovery/fulldisplay?docid=alma994999777802676&context=L&vid=41ILO_INST:41ILO_V1&lang=en&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=Everything&query=sub,exact,small%20scale%20industry,AND&mode=advanced&offset=20, zuletzt geprüft am 28.11.2024.

Konietzny, F.; Hensel, H. (1975): Letters and notes: Warm fiber activity in human skin nerves. In: *Pflugers Archiv : European journal of physiology* 359 (3), S. 265–267. DOI: 10.1007/BF00587384.

Konietzny, F.; Hensel, H. (1977): The dynamic response of warm units in human skin nerves. In: *Pflugers Archiv : European journal of physiology* 370 (1), S. 111–114. DOI: 10.1007/BF00707956.

Kuch, B. (2021): Der Einfluss des Klimawandels auf das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Handlungsansätze und die besondere Herausforderung durch Arzneimittelwechselwirkungen. In: Christian Günster, Jürgen Klauber, Bernt-Peter Robra, Caroline Schmuker und Alexandra Schneider (Hg.): *Versorgungs-Report Klima und Gesundheit*. Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft. Online verfügbar unter www.wido.de/publikationen-produkte/buchreihen/versorgungs-

Larose, Joanie; Wright, Heather E.; Stapleton, Jill; Sigal, Ronald J.; Boulay, Pierre; Hardcastle, Stephen; Kenny, Glen P. (2013): Whole body heat loss is reduced in older males during short bouts of intermittent exercise. In: *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology* 305 (6), R619-29. DOI: 10.1152/ajpregu.00157.2013.



Law Commission of Ontario (Hg.) (2012): Vulnerable Workers and Precarious Work. Online verfügbar unter <https://www.lco-cdo.org/wp-content/uploads/2012/08/FINAL-Vulnerable-Workers-Interim-Report.pdf>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Leithead, C. S.; Lind, A. R. (1964): Heat stress and heat disorders. London: Cassell.

Leon, Lisa R.; Bouchama, Abderrezak (2015): Heat stroke. In: *Comprehensive Physiology* 5 (2), S. 611–647. DOI: 10.1002/cphy.c140017.

Leyk, Dieter; Hoitz, Joachim; Becker, Clemens; Glitz, Karl Jochen; Nestler, Kai; Piekarski, Claus (2019): Health Risks and Interventions in Exertional Heat Stress. In: *Deutsches Arzteblatt international* 116 (31-32), S. 537–544. DOI: 10.3238/arztebl.2019.0537.

Lin, Nancy W.; Ramirez-Cardenas, Alejandra; Wingate, Kaitlin C.; King, Bradley S.; Scott, Kenneth; Hagan-Haynes, Kyla (2024): Risk factors for heat-related illness resulting in death or hospitalization in the oil and gas extraction industry. In: *Journal of occupational and environmental hygiene* 21 (1), S. 58–67. DOI: 10.1080/15459624.2023.2268142.

Lind, A. R. (1977): Human tolerance to hot climates. In: D. H.K. Lee, H. L. Falk, S. D. Murphy und American Physiological Society (Hg.): Handbook of physiology. a critical, comprehensive presentation of physiological knowledge and concepts. Bethesda, Maryland: American Physiological Society.

Lucas, R. M.; Norval, M.; Neale, R. E.; Young, A. R.; Gruijl, F. R. de; Takizawa, Y.; van der Leun, J. C. (2015): The consequences for human health of stratospheric ozone depletion in association with other environmental factors. In: *Photochemical & photobiological sciences : Official journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology* 14 (1), S. 53–87. DOI: 10.1039/C4PP90033B.

Lucas, R. M.; Yazar, S.; Young, A. R.; Norval, M.; Gruijl, F. R. de; Takizawa, Y. et al. (2019): Human health in relation to exposure to solar ultraviolet radiation under changing stratospheric ozone and climate. In: *Photochemical & photobiological sciences : Official journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology* 18 (3), S. 641–680. DOI: 10.1039/c8pp90060d.

Lundgren, Karin; Kuklane, Kalev; Gao, Chuansi; Holmér, Ingvar (2013): Effects of heat stress on working populations when facing climate change. In: *Industrial health* 51 (1), S. 3–15. DOI: 10.2486/indhealth.2012-0089.

Marx, John A.; Hockberger, Robert S.; Walls, Ron M.; Biros, Michelle H.; Danzl, Daniel F.; Gausche-Hill, Marianne et al. (2014): Rosen's emergency medicine : concepts and clinical practice / editor-in-chief, John A. Marx, MD ; senior editors, Robert S. Hockberger, MD, Ron M. Walls, MD ; editors, Michelle H. Biros, MD, Daniel F. Danzl, MD, Marianne Gausche-Hill, MD, Andy Jagoda, MD, FACEP, Louis J. Ling, MD, Edward J. Newton, MD, Brian J. Zink, MD. Eighth edition. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders (ClinicalKey).



Mekjavic, Igor B.; Eiken, Ola (2006): Contribution of thermal and nonthermal factors to the regulation of body temperature in humans. In: *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)* 100 (6), S. 2065–2072. DOI: 10.1152/jappphysiol.01118.2005.

Minard, D. (1973): Physiology of heat stress. In: National Institute for Occupational Safety and Health, United States Public Health Service, Division of Occupational Health (Hg.): *The industrial environment: its evaluation & control*. 3. Aufl. Washington, D.C.: Government Printing Office.

Minard, D.; Copman, L. (1963): Elevation of body temperature in disease. In: J. D. Hardy (Hg.): *Temperature: its measurement and control in science and industry*. New York: Reenhold Co (3).

Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social Secretaria de Empleo (2024): Ley de Empleo N° 24.013. Online verfügbar unter <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/pri-mera/273124/20221004>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Ministry of Business, Innovation, and Employment (19.08.2000): Employment Relations Act 2000, vom 30.06.2024. Online verfügbar unter <https://www.legislation.govt.nz/act/public/2000/0024/208.0/DLM58317.html>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Ministry of Manpower (2025): wshc heat stress management. MOM. Online verfügbar unter <https://www.tal.sg/wshc/topics/heat-stress/heat-stress-management>, zuletzt aktualisiert am 29.01.2025, zuletzt geprüft am 29.01.2025.

Modenese, Alberto; Chou, B. Ralph; Ádám, Balázs; Loney, Tom; Silva Paulo, Marilia; Tenkate, Thomas; Gobba, Fabriziomaria (2023): Occupational Exposure to Solar Radiation and the Eye: A Call to Implement Health Surveillance of Outdoor Workers. In: *La Medicina del lavoro* 114 (4), e2023032. DOI: 10.23749/mdl.v114i4.14657.

MOM (2020): *Managing_Heat_Stress_in_the_Workplace*, S. 16. Online verfügbar unter https://www.tal.sg/wshc/-/media/tal/wshc/resources/publications/wsh-guidelines/files/managing_heat_stress_in_the_workplace.ashx.

Montgomery, Simone; Worswick, Scott (2022): Photosensitizing drug reactions. In: *Clinics in dermatology* 40 (1), S. 57–63. DOI: 10.1016/j.clindermatol.2021.08.014.

Mora, Camilo; Dousset, Bénédicte; Caldwell, Iain R.; Powell, Farrah E.; Geronimo, Rollan C.; Bielecki, Coral R. et al. (2017): Global risk of deadly heat. In: *Nature Clim Change* 7 (7), S. 501–506. DOI: 10.1038/nclimate3322.

Morris, Nathan B.; Bain, Anthony R.; Cramer, Matthew N.; Jay, Ollie (2014): Evidence that transient changes in sudomotor output with cold and warm fluid ingestion are independently modulated by abdominal, but not oral thermoreceptors. In: *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)* 116 (8), S. 1088–1095. DOI: 10.1152/jappphysiol.01059.2013.



Navy Environmental Health Center (2007): Prevention and treatment of heat and cold stress injuries. Technical Manual NEHC-TM-OEM 6260.6A. Navy Environmental Health Center, Bureau of Medicine and Surgery. Portsmouth, VA. Online verfügbar unter https://www.med.navy.mil/Portals/62/Documents/NMFA/NMCPHC/root/Occupational%20and%20Environmental%20Medicine/5Heat_and_Cold_final_June07.pdf.

NIOSH (2016): NIOSH criteria for a recommended standard: occupational exposure to heat and hot environments. Unter Mitarbeit von B. Jacklitsch, W. J. Williams, K. Musolin, A. Coca, J-H Kim und H. Turner. Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati, OH (DHHS (NIOSH) Publication, 2016-106).

Notley, Sean R.; Poirier, Martin P.; Sigal, Ronald J.; D'Souza, Andrew; Flouris, Andreas D.; Fujii, Naoto; Kenny, Glen P. (2019): Exercise Heat Stress in Patients With and Without Type 2 Diabetes. In: *JAMA* 322 (14), S. 1409–1411. DOI: 10.1001/jama.2019.10943.

OSHA (Hg.): Personal Risk Factors. Online verfügbar unter <https://www.osha.gov/heat-exposure/personal-risk-factors>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

OSHA (Hg.) (2021): Public Citizen 50 Years. Docket No. OSHA-2021-0009 Comments of Public Citizen. Online verfügbar unter https://downloads.regulations.gov/OSHA-2021-0009-0712/attachment_1.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

OSHA (2025): (OSH Act) heat stress. Online verfügbar unter <https://www.osha.gov/emergency-preparedness/guides/heat-stress>, zuletzt aktualisiert am 23.01.2025, zuletzt geprüft am 23.01.2025.

OSHA-NIOSH (2011): OSHA-NIOSH infosheet: protecting workers from heat illness. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati, OH. Online verfügbar unter DDHHS (NIOSH) Publication No. 2011-174, <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-174/>.

Pandolf, K. B.; Griffin, T. B.; Munro, E. H.; Goldman, R. F. (1980a): Heat intolerance as a function of percent of body surface involved with miliaria rubra. In: *The American journal of physiology* 239 (3), R233-40. DOI: 10.1152/ajpregu.1980.239.3.R233.

Pandolf, K. B.; Griffin, T. B.; Munro, E. H.; Goldman, R. F. (1980b): Persistence of impaired heat tolerance from artificially induced miliaria rubra. In: *The American journal of physiology* 239 (3), R226-32. DOI: 10.1152/ajpregu.1980.239.3.R226.

Paredes Villegas, Antonio (1993): Ultraviolet Light in Human Health, Diseases and Environment. 1. ed. Panamá: Instituto Nacional de cultura Dirección Nacional de Extensión Cultural Departamento de Letras (Colección Ricardo Miró). Online verfügbar unter <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-56017-5>.

Phung, Dung; Thai, Phong K.; Guo, Yuming; Morawska, Lidia; Rutherford, Shannon; Chu, Cordia (2016): Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: An updated systematic review and meta-analysis. In: *The Science of the total environment* 550, S. 1084–1102. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.154.



Qu, Yanlin; Jiang, Yichen; Zhang, Guanran; Luo, Huihuan; Hu, Weiting; Wu, Zhenyu et al. (2024): Association of exposure to ultraviolet radiation and warm-season ozone air pollution with incident age-related macular degeneration: A nationwide cohort study in China. In: *The Science of the total environment* 938, S. 173580. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173580.

Rekha, Shanmugam; Nalini, Sirala Jagadeesh; Bhuvana, Srinivasan; Kanmani, Sellappa; Hirst, Jane Elizabeth; Venugopal, Vidhya (2024): Heat stress and adverse pregnancy outcome: Prospective cohort study. In: *BJOG : an international journal of obstetrics and gynaecology* 131 (5), S. 612–622. DOI: 10.1111/1471-0528.17680.

RICHARDSON, Anna (2024): Managing the work environment and facilities, S. 20. Online verfügbar unter https://www.safeworkaustralia.gov.au/sites/default/files/2024-11/model_code_of_practice-managing_the_work_environment_and_facilities-nov24.pdf.

Robert Koch Institut (RKI) (2023): Auswirkungen des Klimawandels auf nicht- übertragbare Erkrankungen und die psychische Gesundheit. Teil 2 des Sachstandsberichts Klimawandel und Gesundheit 2023. RKI (Journal of Health Monitoring). Online verfügbar unter https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBE_Downloads/J/HealthMonit_2023_S4_Sachstandsbericht_Klimawandel_Gesundheit_Teil2.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 22.01.2025.

Romanovsky, Andrej A. (Hg.) (2018): Handbook of Clinical Neurology. Thermoregulation Part I: From Basic Neuroscience to Clinical Neurology. San Diego: Elsevier. Online verfügbar unter <https://livivo.idm.oclc.org/login?url=https://ebookcentral.proquest.com/lib/zbmed-ebooks/detail.action?docID=5599544>.

Rowell, Loring B. (1977): Competition Between Skin and Muscle for Blood Flow During Exercise. In: Ethan R. Nadel (Hg.): Problems with Temperature Regulation During Exercise. New York: Academic Press, S. 49–76.

Rowell, Loring B. (1993): Human cardiovascular control. New York, Oxford: Oxford University Press. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0604/92016434-d.html>.

Rowlinson, Steve; Yunyanjia, Andrea; Li, Baizhan; Chuanjingju, Carrie (2014): Management of climatic heat stress risk in construction: a review of practices, methodologies, and future research. In: *Accident; analysis and prevention* 66, S. 187–198. DOI: 10.1016/j.aap.2013.08.011.

Safe Work Australia (Hg.) (2018): Model Code of Practice: Managing the work environment and facilities. Online verfügbar unter <https://www.safeworkaustralia.gov.au/doc/model-code-practice-managing-work-environment-and-facilities>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Sauret, John M.; Marinides, George; Wang, Gordon K. (2002): Rhabdomyolysis. In: *American family physician* 65 (5), S. 907–912.

Sawka, M. N.; Wenger, C. B.; Montain, S. J.; Kolka, M. A.; Bettencourt, B.; Flinn, S. et al. (2003): Heat Stress Control and Heat Casualty Management. Army Research Institute of



Environmental Medicine. Online verfügbar unter
<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA433236>.

Sawka, Michael N.; Leon, Lisa R.; Montain, Scott J.; Sonna, Larry A. (2011): Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. In: *Comprehensive Physiology* 1 (4), S. 1883–1928. DOI: 10.1002/cphy.c100082.

Schlader, Zachary J.; Hostler, David; Parker, Mark D.; Pryor, Riana R.; Lohr, James W.; Johnson, Blair D.; Chapman, Christopher L. (2019): The Potential for Renal Injury Elicited by Physical Work in the Heat. In: *Nutrients* 11 (9). DOI: 10.3390/nu11092087.

Semenza, J. C.; McCullough, J. E.; Flanders, W. D.; McGeehin, M. A.; Lumpkin, J. R. (1999): Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. In: *American journal of preventive medicine* 16 (4), S. 269–277. DOI: 10.1016/s0749-3797(99)00025-2.

Semenza, J. C.; Rubin, C. H.; Falter, K. H.; Selanikio, J. D.; Flanders, W. D.; Howe, H. L.; Wilhelm, J. L. (1996): Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. In: *The New England journal of medicine* 335 (2), S. 84–90. DOI: 10.1056/NEJM199607113350203.

Shibolet, S.; Lancaster, M. C.; Danon, Y. (1976): Heat stroke: a review. In: *Aviation, space, and environmental medicine* 47 (3), S. 280–301.

Slavinsky, Victoria; Helmy, John; Vroman, Jenna; Valdebran, Manuel (2024): Solar ultraviolet radiation exposure in workers with outdoor occupations: a systematic review and call to action. In: *International journal of dermatology* 63 (3), S. 288. DOI: 10.1111/ijd.16877.

Son, Heehwa G.; Ha, Dat Think; Xia, Yun; Li, Tiancheng; Blandin, Jasmine; Oka, Tomonori et al. (2025): Commensal papillomavirus immunity preserves the homeostasis of highly mutated normal skin. In: *Cancer cell* 43 (1), 36-48.e10. DOI: 10.1016/j.ccell.2024.11.013.

Spector, June T.; Krenz, Jennifer; Rauser, Edmund; Bonauto, David K. (2014): Heat-related illness in Washington State agriculture and forestry sectors. In: *American journal of industrial medicine* 57 (8), S. 881–895. DOI: 10.1002/ajim.22357.

State of California, Department of Industrial Relations (2025): Frequently Asked Questions Related to Outdoor Heat Illness Prevention. Online verfügbar unter <https://www.dir.ca.gov/dosh/heatillnessqa.html>, zuletzt aktualisiert am 27.01.2025, zuletzt geprüft am 27.01.2025.

Statistisches Bundesamt (Hg.) (2022): 15. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/begleitheft.html>.

Suebsarakam, Porntipa; Mairiang, Dara (2023): Accuracy and adequacy of photoprotection in pediatric systemic lupus erythematosus patients, and the effect of education on photoprotection: a prospective study. In: *Pediatric rheumatology online journal* 21 (1), S. 123. DOI: 10.1186/s12969-023-00901-z.



Sultana, Nahid; Ferdousi, Jannatul; Shahidullah, Md (2015): Health Problems among Women Building Construction Workers. In: *J Bangladesh Soc Physiol* 9 (1), S. 31–36. DOI: 10.3329/jbsp.v9i1.22793.

Takamata, A.; Yoshida, T.; Nishida, N.; Morimoto, T. (2001): Relationship of osmotic inhibition in thermoregulatory responses and sweat sodium concentration in humans. In: *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology* 280 (3), R623-9. DOI: 10.1152/ajpregu.2001.280.3.R623.

Taylor, Nigel; Groeller, Herbert (Hg.) (2008): *Physiological bases of human performance during work and exercise*. Edinburgh, London, New York, Oxford, Philadelphia, St. Louis, Sydney, Toronto: Churchill Livingstone Elsevier.

Taylor, Nigel; Kondo, Narihiko; Kenney, Larry (2008): The physiology of acute heat exposure, with implications for human performance. In: Nigel Taylor und Herbert Groeller (Hg.): *Physiological bases of human performance during work and exercise*. Edinburgh, London, New York, Oxford, Philadelphia, St. Louis, Sydney, Toronto: Churchill Livingstone Elsevier.

Todd, G.; Gordon, C. J.; Groeller, H.; Taylor, N. A. S. (2014): Does intramuscular thermal feedback modulate eccrine sweating in exercising humans? In: *Acta physiologica (Oxford, England)* 212 (1), S. 86–96. DOI: 10.1111/apha.12327.

Tsoutsoubi, Lydia; Ioannou, Leonidas G.; Alba, Billie K.; Cheung, Stephen S.; Daanen, Hein A.; Mekjavic, Igor B.; Flouris, Andreas D. (2023): Central versus peripheral mechanisms of cold-induced vasodilation: a study in the fingers and toes of people with paraplegia. In: *European journal of applied physiology* 123 (8), S. 1709–1726. DOI: 10.1007/s00421-023-05175-7.

U.S. Department of Labor (2025): Fair Labor Standards Act (FLSA). Online verfügbar unter <https://www.dol.gov/agencies/whd/flsa>, zuletzt aktualisiert am 03.02.2025, zuletzt geprüft am 03.02.2025.

Umweltbundesamt (Hg.) (2023): *Monitoringbericht 2023. zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/das-monitoringbericht_2023_bf_korr.pdf, zuletzt geprüft am 22.11.2024.

UN Women (Hg.): *Vulnerable employment*. Online verfügbar unter https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/events/other/retreat/docs/UN%20WOMEN_Indicator_vulnerable_employment.pdf, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Unfallkasse Hessen (2024): *Schutz für besondere Personengruppen - Sozialer Arbeitsschutz. Jugendliche, Schwangere oder behinderte Beschäftigte müssen geschützt werden*. Online verfügbar unter <https://www.ukh.de/unternehmen-und-beschaeftigte/arbeitsschutz-und-gesundheit/schutz-fuer-besondere-personengruppen>, zuletzt aktualisiert am 21.01.2024, zuletzt geprüft am 23.01.2024.



United States Environmental Protection Agency (Hg.): Climate Change and Human Health: Who's Most at Risk? Online verfügbar unter <https://www.epa.gov/climateimpacts/climate-change-and-human-health-whos-most-risk>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

United States Equal Employment Opportunity Commission (Hg.) (2023): Strategic Enforcement Plan Fiscal Years 2024 - 2028. Online verfügbar unter <https://www.eeoc.gov/strategic-enforcement-plan-fiscal-years-2024-2028>, zuletzt geprüft am 18.02.2025.

Wan, Roxanne; Jia, Andrea; Goh, Yang Miang (2021): Managing climatic heat stress in Singapore: state of the practice and wearables on site. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/354810208_Managing_climatic_heat_stress_in_Singapore_state_of_the_practice_and_wearables_on_site.

Weiner, Daniel E.; McClean, Michael D.; Kaufman, James S.; Brooks, Daniel R. (2013): The Central American epidemic of CKD. In: *Clinical journal of the American Society of Nephrology* : CJASN 8 (3), S. 504–511. DOI: 10.2215/CJN.05050512.

Wells, C. L.; Buskirk, E. R. (1971): Limb sweating rates overlying active and nonactive muscle tissue. In: *Journal of applied physiology* 31 (6), S. 858–863. DOI: 10.1152/jappl.1971.31.6.858.

Wesseling, Catharina; Crowe, Jennifer; Hogstedt, Christer; Jakobsson, Kristina; Lucas, Rebekah; Wegman, David H. (2014): Resolving the enigma of the mesoamerican nephropathy: a research workshop summary. In: *American journal of kidney diseases : the official journal of the National Kidney Foundation* 63 (3), S. 396–404. DOI: 10.1053/j.ajkd.2013.08.014.

WHO (2021): WHO/ILO Joint Estimates of the Work-Related Burden of Disease and Injury, 2000-2016. Global Monitoring Report. 1st ed. Geneva: World Health Organization. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=30500756>.

Winklmayr, Claudia; Matthies-Wiesler, Franziska; Muthers, Stefan; Buchien, Sebastian; Kuch, Bernhard; Der Heiden, Matthias an; Mücke, Hans-Guido (2023): Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention. DOI: 10.25646/11645.

Wiśniewska, Iwona; Jochymek, Bożena; Lenart-Lipińska, Monika; Chabowski, Mariusz (2016): The pharmacological and hormonal therapy of hot flushes in breast cancer survivors. In: *Breast cancer (Tokyo, Japan)* 23 (2), S. 178–182. DOI: 10.1007/s12282-015-0655-2.

Wolf, S. Tony; Bernard, Thomas E.; Kenney, W. Larry (2022): Heat exposure limits for young unacclimatized males and females at low and high humidity. In: *Journal of occupational and environmental hygiene* 19 (7), S. 415–424. DOI: 10.1080/15459624.2022.2076859.

World Health Organization (WHO) (2019): Gesundheitshinweise zur Prävention hitzebedingter: Gesundheitsschäden neue und aktualisierte Hinweise für unterschiedliche Zielgruppen. World Health Organization (WHO). Online verfügbar unter <https://iris.who.int/handle/10665/341625>, zuletzt geprüft am 22.01.2025.



Wouters, Hendrik; Keune, Jessica; Petrova, Irina Y.; van Heerwaarden, Chiel C.; Teuling, Adriaan J.; Pal, Jeremy S. et al. (2022): Soil drought can mitigate deadly heat stress thanks to a reduction of air humidity. In: *Science advances* 8 (1), eabe6653. DOI: 10.1126/sciadv.abe6653.

WSH (2010): Workplace Safety and Health Guidelines. Managing Heat Stress in the Workplace. Workplace Safety and Health Council (WSH), Ministry of Manpower. Online verfügbar unter https://www.tal.sg/wshc/-/media/tal/wshc/resources/publications/wsh-guidelines/files/managing_heat_stress_in_the_workplace.ashx, zuletzt geprüft am 22.01.2025.

Xiang, Jianjun; Bi, Peng; Pisaniello, Dino; Hansen, Alana (2014): Health impacts of workplace heat exposure: an epidemiological review. In: *Industrial health* 52 (2), S. 91–101. DOI: 10.2486/indhealth.2012-0145.

Xu, Zhiwei; Tong, Shilu; Cheng, Jian; Crooks, James Lewis; Xiang, Hao; Li, Xiangyu et al. (2019): Heatwaves and diabetes in Brisbane, Australia: a population-based retrospective cohort study. In: *International journal of epidemiology* 48 (4), S. 1091–1100. DOI: 10.1093/ije/dyz048.

Yamasaki, M.; Kim, K. T.; Choi, S. W.; Muraki, S.; Shiokawa, M.; Kurokawa, T. (2001): Characteristics of body heat balance of paraplegics during exercise in a hot environment. In: *Journal of physiological anthropology and applied human science* 20 (4), S. 227–232. DOI: 10.2114/jpa.20.227.

Yamauchi, Takeshi; Shangraw, Sarah; Zhai, Zili; Ravindran Menon, Dinoop; Batta, Nisha; Dellavalle, Robert P.; Fujita, Mayumi (2022): Alcohol as a Non-UV Social-Environmental Risk Factor for Melanoma. In: *Cancers* 14 (20). DOI: 10.3390/cancers14205010.

Ziegenfuß, Thomas (2017): Notfallmedizin. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer.

Zielo, Birgit; Matzarakis, Andreas (2018): Bedeutung von Hitzeaktionspläne für den präventiven Gesundheitsschutz in Deutschland. In: *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))* 80 (4), e34-e43. DOI: 10.1055/s-0043-107874.