

Klimawandel und Arbeitsschutz

baua: Bericht

S. Bauer
K. Bux
F. Dieterich
K. Gabriel
C. Kienast
S. Klar
T. Alexander

Klimawandel und Arbeitsschutz

1. Auflage März 2022
Dortmund/Berlin/Dresden

Diese Veröffentlichung ist das Ergebnis einer Studie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den Autoren.

Autorinnen/Autoren: Dr. Stefan Bauer, FG 2.2
Dr. Kersten Bux, FG 2.4
Dr. Frank Dieterich, FG 4.7
Dr. Katharina Gabriel, FG 3.4
Camilla Kienast, FG 3.4
Dr. Stefanie Klar, FG 4.7
Dr. Thomas Alexander, FB 2
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)

Titelfoto: Paolese/stock.adobe.com, juefraphoto/iStock.com,
Sjo/iStock.com

Umschlaggestaltung: Christane Zay
wbv Media GmbH & Co. KG

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1–25, 44149 Dortmund
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund
Telefon 0231 9071-2071
Telefax 0231 9071-2070
E-Mail info-zentrum@buaa.bund.de
Internet www.buaa.de

Berlin: Nöldnerstraße 40 – 42, 10317 Berlin
Telefon 030 51548-0
Telefax 030 51548-4170

Dresden: Fabricestraße 8, 01099 Dresden
Telefon 0351 5639-50
Telefax 0351 5639-5210

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

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



10.21934/buaa:bericht20220601 (online)

<https://doi.org/10.21934/buaa:bericht20220601>

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	5
Abstract	7
1 Zielsetzung	9
2 Relevante Risikofaktoren	10
2.1 Hitze	11
2.2 Solare UV-Strahlung	12
2.3 Infektionskrankheiten	14
2.4 Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine	18
2.5 Extremwetterereignisse	18
3 BAuA-Aktivitäten	20
3.1 Staatliche Regelsetzung	20
3.1.1 Gesetze und Verordnungen	20
3.1.2 Technische und Arbeitsmedizinische Regeln für Klima und UV-Strahlung	21
3.1.3 Technische und Arbeitsmedizinische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe	22
3.2 Informationsangebot	26
3.2.1 Praktische Hilfen	26
3.2.2 Ausgewählte Forschungsergebnisse	27
3.3 Expertinnen- und Expertengesprächsreihe	29
3.3.1 Hitzebelastung durch überwärmte Gebäude	29
3.3.2 Solare UV-Belastung bei der Arbeit im Freien	30
3.3.3 Gefahren sich ausbreitender Infektionskrankheiten	31
4 Aktivitäten der Unfallversicherungsträger	33
4.1 Informationen und Handlungshilfen	33
4.2 Berufskrankheiten	34
4.2.1 Solare UV-Strahlung – Plattenepithelkarzinome (SCC) und aktinische Keratosen der Haut	34
4.2.2 Infektionskrankheiten	35
5 Nationale Akteure	37
5.1 Umweltbundesamt	37
5.1.1 Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel	37
5.1.2 Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland	38
5.1.3 Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung	38
5.2 Klimavorsorgedienst der Bundesregierung	39
5.3 Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit	39
5.4 Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung	40
5.5 Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung	40
5.6 Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin	40

5.7	Deutsches Institut für Normung	41
5.7.1	NA 023-00-05 GA Ergonomie der physikalischen Umgebung	41
5.7.2	Normung im Bereich solarer UV-Strahlung	42
5.7.3	Exemplarische Auswahl nationaler Normen mit Bezug zu Mikroorganismen und Vektoren	43
5.8	Strahlenschutzkommission	44
5.9	UV-Schutz-Bündnis	45
5.10	UV-Messnetz	45
5.11	Robert Koch-Institut	45
5.12	Deutscher Wetterdienst	46
5.13	Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst	46
6	Praxisorientierte Informationen, Tools und Handlungshilfen	48
7	Systematische Literaturrecherche	51
7.1	Hitze	51
7.1.1	Aufbau und Funktion des Suchstrings	52
7.1.2	Artikelsichtung	52
7.1.3	Ergebnisse	53
7.2	Solare UV-Strahlung	57
7.2.1	Aufbau und Funktion des Suchstrings	58
7.2.2	Artikelsichtung	59
7.2.3	Ergebnisse	61
7.3	Infektionskrankheiten	66
7.3.1	Aufbau und Funktion des Suchstrings	66
7.3.2	Titelsichtung und Kategorisierung	67
7.3.3	Ergebnisse	67
7.4	Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine	73
7.4.1	Aufbau und Funktion des Suchstrings	73
7.4.2	Artikelsichtung	74
7.4.3	Ergebnisse	74
8	Forschungs- und Handlungsbedarf	79
8.1	Hitze	79
8.2	Solare UV-Strahlung	80
8.3	Infektionskrankheiten	82
8.4	Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine	83
9	Zusammenfassung	84
9.1	Hitze	84
9.2	Solare UV-Strahlung	84
9.3	Infektionskrankheiten	86
9.4	Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine	87
	Richtlinien, Gesetze, Verordnungen, Regeln	88
	Abkürzungsverzeichnis	91
	Literaturverzeichnis	93

Klimawandel und Arbeitsschutz

Kurzreferat

Der globale Klimawandel hat viele Auswirkungen: Er führt zu einem wärmeren Klima mit erhöhter Hitze- und solarer UV-Belastung insbesondere bei Arbeiten im Freien. Es können Überträger von Infektionskrankheiten (Vektoren) und invasive Arten mit Allergenen pflanzlicher oder tierischer Herkunft neu oder vermehrt auftreten. Die Häufigkeit von Extremwetterereignissen wird voraussichtlich zunehmen. Die damit verbundenen Gefährdungen für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bedeuten für den Arbeitsschutz eine besondere Herausforderung, insbesondere, um für die Auswirkungen des Klimawandels angepasste Bewertungsmaßstäbe und Schutzmaßnahmen bereitzustellen. Mit einer umfassenden Analyse wissenschaftlicher Studien und laufender Aktivitäten von verschiedenen Akteuren wurde der aktuelle Wissensstand zum Thema „Klimawandel und Arbeitsschutz“ recherchiert und dokumentiert. Daraus wurden erste mögliche zukünftige Herausforderungen und Forschungsbedarfe für den Arbeitsschutz abgeleitet. Betrachtet wurden dabei die Risikofaktoren Hitze, solare UV-Strahlung, Infektionskrankheiten sowie pflanzliche und tierische Allergene und Toxine, auf Extremwetterereignisse wurde nur exemplarisch eingegangen.

Hitze

Die für den Menschen notwendige ausgeglichene Wärmebilanz des Körpers kann durch Arbeiten unter Hitzebelastung gefährdet werden, wodurch ein gesundheitliches Risiko entstehen kann. Durch Muskelarbeit bei körperlicher Tätigkeit wird zum einen sehr viel Wärme im Körper produziert, zum anderen kann die persönliche (Schutz-)Kleidung isolierend wirken und so eine ausreichende Abgabe der produzierten Wärme verhindern. Durch den Klimawandel bedingte höhere Lufttemperaturen verstärken die thermische Belastung. Sie führt zur Belastung des Herz-Kreislauf-Systems sowie häufig zu einem Flüssigkeits- und Elektrolytverlust durch das Schwitzen. Zu den gefährdeten Organen zählen insbesondere das Herz, die Nieren sowie das Gehirn. Personen mit hier bestehenden Vorschädigungen sind gegenüber Hitze besonders gefährdet. Als Folge treten Einschränkungen der kognitiven und physischen Leistungsfähigkeit auf, was wiederum in Unfällen münden kann. Mit dem vermehrten Auftreten von Hitzewellen im Rahmen des Klimawandels werden thermische Belastung und ihre Folgen in allen Klimazonen zunehmen. Um Schäden möglichst zu vermeiden, ist Aufklärung zu den Zusammenhängen und den Gefahren auf Ebene der Verhaltensprävention die grundlegende Maßnahme. Auf Ebene der Verhältnisprävention stehen Maßnahmen zur Arbeitsgestaltung im Vordergrund.

Solare UV-Strahlung

Der Klimawandel beeinflusst die UV-Belastung von Beschäftigten im Freien auf unterschiedliche Weise. Die prognostizierte Erholung der UV-absorbierenden stratosphärischen Ozonschicht kann sich durch den Klimawandel verlangsamen und die Häufigkeit von Niedrigozon-Ereignissen, die mit intensiver UV-Strahlung einhergehen, zunehmen. Im komplexen Zusammenwirken zwischen Klimawandel, Ozonschicht und Treibhausgasen sind UV-absorbierende Luftschadstoffe, deren Emissionen weiter reduziert werden, zukünftig stärker zu berücksichtigen. Die sich im Mittel verringemde Bewölkung und damit zunehmende Sonnenscheindauer führt bereits zu

steigenden Jahres-UV-Dosen. Als Folge der globalen Erwärmung ist vor allem im Frühjahr mit verstärkter Außenaktivität, leichter Bekleidung und damit verhaltensbedingt mit einer Zunahme der UV-Belastung zu rechnen, die durch den Trend zur mobilen Arbeit zudem mehr Beschäftigte betreffen könnte.

Infektionskrankheiten

Der Klimawandel kann auf vielfältige Art und Weise mittelbar auf das Auftreten von Infektionskrankheiten des Menschen Einfluss nehmen, einschließlich Auswirkungen auf die Gesundheit Beschäftigter am Arbeitsplatz. Vorrangig sollten Beschäftigte, die im Freien tätig sind, verstärkt auf mögliche Veränderungen im Infektionsgeschehen vorbereitet werden. Gleichzeitig wird deutlich, dass weitere Faktoren ursächlich für geändertes Infektionsgeschehen sind, vor allem die globalisierte Mobilität von Menschen und Gütern. Dadurch wird die separate Betrachtung des Klimawandels als Ursache nicht immer den komplexen Zusammenhängen gerecht, und erscheint aus dem Blickwinkel des Arbeitsschutzes nicht immer zielführend. Darüber hinaus wird die Gesundheit der Beschäftigten auch durch Beschäftigungsstatus, Einkommen und Zugang zu Gesundheitssystemen bestimmt. Dies soll ebenfalls in der arbeitsplatzbezogenen Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden. Derzeit geltende Arbeitsschutzmaßnahmen bieten jedoch für Beschäftigte einen der aktuellen Kenntnis entsprechenden Schutz vor Erregern. Dies schließt die gegebenenfalls durchzuführende Anpassung an neue Situationen und neu auftretende Erreger ein.

Allergene und Toxine

Der Lebensraum von Tieren und insbesondere von Pflanzen wird wesentlich von klimatischen Parametern bestimmt. In erster Linie zählen dazu die Temperatur der Luft und des Bodens, aber auch Zeitpunkt und Menge des Niederschlags. Ändern sich mit dem Klimawandel diese Parameter, dann verschieben sich auch die Lebensräume der Tiere und Pflanzen. Zwar werden Spezies durch den Klimawandel aus ihrem angestammten Habitat auch verdrängt, im hier diskutierten Kontext sind aber vor allem die sich weiter Verbreitenden und die neu Zuwandernden von Interesse. Da von Flora und Fauna eine Gefährdung der Gesundheit durch Allergene und Toxine ausgehen kann, verändert sich mit den Habitaten auch das jeweilige Gefährdungsgebiet. Klimatische Parameter wirken im Lebenszyklus von Pflanzen und Tieren häufig als Signal, unter anderem für die Fortpflanzung. In erster Linie zählen dazu die Temperatur der Luft oder des Bodens, aber auch Zeitpunkt und Menge des Niederschlags. In den letzten Jahren konnten in diesem Zusammenhang Änderungen beobachtet werden, die auf den Klimawandel zurückgeführt werden können. Aufgrund steigender Temperaturen in Luft und Boden haben Pflanzen mehr Pollen produziert. Auch der Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre trägt zur Erhöhung der Pollenzahl bei, kann aber gleichzeitig auch das allergene Potential von Pollen verstärken bzw. die Aggressivität ihrer Toxine (sekundäre Pflanzenstoffe) erhöhen.

Schlagwörter

Arbeitsschutz, Klimawandel, globale Erwärmung, Hitzebelastung, Thermoregulation, geistige Leistungsfähigkeit, körperliche Leistungsfähigkeit, Arbeitsunfall, Dehydration, Hitzeerkrankungen, solare UV-Strahlung, Ozonabbau, Treibhausgase, Bewölkung, Sonnenscheindauer, Hautkrebs, Infektionskrankheiten, Übertragungswege, Risikogruppen Biologischer Arbeitsstoffe, Borreliose, FSME, Vektor-übertragbare Krankheiten, Pollen, Toxine, Allergie, Kontakt-Dermatitis

Climate Change and Safety at Work

Abstract

Global Climate Change has many effects: It leads to a warmer climate with growing exposure to heat and solar UV, especially when working outdoors. Vectors carrying infectious diseases will emerge or increase in numbers, and so will allergens and toxins posed by flora and fauna. The frequency of extreme weather events are likely to increase as well. The associated hazards in employees present a particular challenge for occupational safety and health. Providing assessment standards and protective measures adapted to the impact of climate change is a primary objective. A thorough analysis of scientific literature as well as a listing of ongoing activities considering various actors document the current state of knowledge on "climate change and occupational safety and health". Subsequently, potential challenges and research needs for occupational safety and health were derived. The risk factors 'heat', 'solar UV radiation', 'infectious diseases' as well as 'plant and animal allergens and toxins' were elaborated in more detail while the risk factor 'extreme weather events' was considered briefly.

Heat

A stable thermal balance is essential for human beings. However, it can be compromised by work under heat stress, which can pose a health risk. Muscle work during physical activity elevates metabolic rate and increases temperature within the body. In addition, personal (protective) clothing can have an insulating effect and thus prevent sufficient release of the heat produced. Higher air temperatures caused by climate change increase thermal stress. It causes strain on the cardiovascular system and often results in loss of fluid and electrolytes due to sweating. Organs specifically affected include the heart, the kidneys and the brain. People with pre-existing disorders to these organs are particularly vulnerable to heat. As a result, cognitive and physical performance is impaired, which in turn can lead to accidents. With the increased occurrence of heat waves in the context of climate change, thermal stress and its consequences will increase in all climate zones. In order to prevent damage best possible training on interrelationships and hazards is a fundamental measure at the level of behavioural prevention. At the level of situational prevention, the focus is on measures for work design.

Solar UV radiation

Climate change affects the UV exposure of outdoor workers in different ways. The predicted recovery of the UV absorbing stratospheric ozone layer might be slowed down by climate change, and the frequency of low-ozone events associated with intense UV radiation might increase. The complex interaction between climate change, ozone layer, and greenhouse gases requires a greater consideration of UV-absorbing air pollutants, whose emissions will be minimizing continuously. The reduction in cloudiness and the associated increase in sunshine duration, both on average, are already leading to rising annual UV doses. As a result of global warming, more outdoor activity is expected to take place with less textile body coverage, especially in spring, resulting in a behavior-related UV exposure increase. This might also affect a higher number of employees due to the trend towards mobile work.

Infectious diseases

Climate change can affect infectious disease in a complex way, including effects on health of employees at the workplace. In particular, employees who work outdoors seem to be prepared for potential changes in infection incidence. At the same time, further factors appear as causes for altered infection incidence, in particular globalised mobility of man and goods. This is why a detached look at climate change as a reason does not necessarily reflect the complex underlying relationships, and why it is not always suited to be a reference viewpoint in occupational safety. Moreover, employee's health is determined not only by occupational risks, but also by employment status, income and access to health systems, and must therefore be considered consistently when assessing occupational health risks. Currently applied occupational health and safety measures provide protection against pathogens according to the best available knowledge for employees. This includes provisions for adapting current regulations should new situations and novel pathogens emerge.

Allergens and toxins

The habitat of animals and especially of plants is defined by climatic parameters substantially. These include the temperature of the air as well as the soil, but also depend on the timing and amount of precipitation. If these parameters change with climate change, the habitats of animals and plants will also shift. Although climate change will also displace species from their traditional habitats, in the context discussed here the focus lies on those extending their habitats and on those newly immigrating (neophytes). Since flora and fauna can pose a health hazard due to allergens and toxins, the respective hazard area also changes with the habitats. Climatic parameters often act as signals in the life cycle of plants and animals, including reproduction. Primarily, these include the temperature of the air and soil, but also the timing and amount of precipitation. In recent years, changes that have been observed in this context can be attributed to climate change: Due to increasing temperatures in air and soil, plants have produced more pollen. The increase of CO₂ in the atmosphere contributes to the increase of pollen counts as well, but at the same time, it can also increase the allergenic potential of pollen and increase the aggressiveness of their toxins (secondary plant compounds).

Key words

safety at work, climate change, global warming, thermal strain, thermoregulation, mental performance, physical performance, injuries, dehydration, heat illness, solar UV radiation, ozone depletion, atmospheric pollutants, cloudiness, sunshine duration, skin cancer, infectious diseases, modes of transmission, risk groups biological agents, lyme disease, TBE, vector-borne diseases, pollen, toxin, allergy, contact dermatitis

1 Zielsetzung

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) wurde vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Rahmen der G7-Präsidentschaft Deutschlands im Jahr 2022 beauftragt, den aktuellen Wissensstand zum Thema „Klimawandel und Arbeitsschutz“ im betrieblichen Kontext zu recherchieren und zu dokumentieren. Darauf aufbauend soll eine Ableitung möglicher zukünftiger Herausforderungen für den Arbeitsschutz erfolgen, da die Auswirkungen des Klimawandels auch für die Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Gehäuft auftretende, längere Hitzeperioden können zu einer Überwärmung von Innenräumen von Arbeitsstätten ohne Klimaanlage und damit einer Hitzebelastung der Beschäftigten führen. Vor allem für Arbeitsplätze im Freien werden bestimmte Effekte verstärkt in Erscheinung treten, insbesondere Hitzeperioden, erhöhte solare UV-Belastung und verschiedene Extremwetterereignisse wie Niederschläge (z. B. Starkregen, Hagel) mit der Folge von z. B. Hochwasser und Sturzfluten sowie Wind (z. B. Sturm, Zyklone, Fallwinde) und Gewitter (z. B. Blitzschlag). Das zunehmend wärmere Klima trägt zur Verbreitung invasiver Arten mit Allergenen pflanzlicher (z. B. Pollen) oder tierischer Herkunft (z. B. Eichenprozessionsspinner) bei, welche allergische Reaktionen bei Beschäftigten hervorrufen können. Daneben steigt mit wärmerem Klima die Wahrscheinlichkeit, dass wärmeliebende Überträger (Vektoren) von Infektionskrankheiten neu oder vermehrt auftreten und sich dadurch potentiell die Gefährdung vektorübertragener Infektionskrankheiten erhöhen kann.

Mit einer Literaturrecherche wurde der Stand des Wissens zu diesen Themenbereichen aufgearbeitet und daraus Forschungsfragen im Hinblick auf zukünftige Herausforderungen für die Sicherheit und Gesundheit in der Arbeitswelt formuliert.

Ergänzend wurden drei Veranstaltungen in Form von Expertinnen- und Expertengesprächen mit Akteuren aus Fachkreisen (z. B. DWD, UBA), Sozialpartnern (z. B. DGB, BDA) sowie Behörden (z. B. KAS, BMU, BZgA) zu den Fachthemen Hitze, solare UV-Exposition und Wirkung von Vektoren durchgeführt.

2 Relevante Risikofaktoren

In der „Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland (KWRA 2021)“ (Kahlenborn et al. 2021) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) wurde eine Einteilung von Risikofaktoren im Hinblick auf den Klimawandel vorgenommen. Darauf aufbauend sollen in diesem Bericht ausgewählte Risikofaktoren gemäß Tabelle 2.1 betrachtet werden, die sich im Wesentlichen direkt und unmittelbar auf Arbeitsbedingungen auswirken. Extremwetterereignisse wie Starkniederschläge, Stürme und Unwetter werden in den Abschnitten 2.5 und 3.1.2 berücksichtigt, jedoch nicht in die systematische Literaturrecherche einbezogen, da hier einer Studie¹ des Umweltbundesamtes (UBA) den aktuellen Wissenstand abbildet.

Zusätzliche Risikofaktoren werden nicht explizit erläutert, etwa Luftverunreinigungen (z. B. NO_x, Ozon, Feinstaub) und psychische Belastungen. Diese Faktoren sollen im Nachgang bzw. in Kooperation mit externen Akteuren betrachtet werden. Im Hinblick auf Luftverunreinigungen ist das UBA, das aktuelle Informationen zu Immissionsbelastungen bereitstellt², als federführend anzusehen. Gesundheitliche Auswirkungen der Luftqualität ergeben sich direkt über Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen aber auch indirekt über den Einfluss auf solare UV-Strahlung. Psychische Belastung kann z. B. durch die Bedrohung durch oder als Reaktion auf Extremwetterereignisse entstehen, was Gefühle von Angst, Hilflosigkeit oder Sorgen auslösen und in Appetitverlust, Schlaflosigkeit oder Panikattacken münden kann.

¹ Köppke, K.-E. 2021: Berücksichtigung des Klimawandels in technischen Regeln für Anlagensicherheit. Forschungskennzahl 3718 48 3250. Umweltbundsamt, Dessau-Roßlau. www.kas-bmu.de/files/publikationen/TRAS/TRAS%20%28entwuerfe%29/4.Zwischenbericht_2_FG_202110.pdf

² www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten#/start?s=q64FAA==&_k=21f5ll

Tab. 2.1 Für den Arbeitsschutz relevante Risikofaktoren mit Bezug zum Klimawandel.

Risikofaktor	Wirkung auf Beschäftigte (Beispiele)	Externe Akteure
Hitze	Beeinträchtigung geistiger und körperlicher Leistungsfähigkeit, Unfälle, Organschädigungen (Herz, Nieren, Gehirn)	ASTA DWD UBA
Solare UV-Strahlung	Haut- und Augenschädigung, Hautkrebs, Katarakt, Immunsuppression	AfAMed ASTA SSK UBA
Infektionskrankheiten	durch Stechmücken und Zecken übertragene Infektionen (Lyme-Borreliose, Malaria)	ABAS AfAMed RKI UBA
Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine	Heuschnupfen, Asthma, Kontakt-Dermatitis	ABAS AfAMed DWD, PID RKI UBA
Extremwetterereignisse	unmittelbare Gefährdung durch mechanische Wirkungen des Windes, Ertrinken oder Blitzschlag	ASTA DWD UBA

2.1 Hitze

Eine Hitzebelastung kann durch bestimmte klimatische Bedingungen im Kontext mit den Arbeitsbedingungen und personenbezogene Größen verursacht werden. Die klimatischen Bedingungen sind über die physikalischen Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit sowie Wärmestrahlung definiert. Dabei reicht die alleinige Betrachtung der Zustandsgröße der Temperatur für eine Betrachtung und Bewertung der klimatischen Belastung in der Regel nicht aus. Die einzelnen Parameter sowie personenbezogene Größen stehen in Wechselbeziehungen und wirken komplex auf den Menschen ein. Diese Parameter werden in sogenannten Klimasummenmaßen zusammengefasst. Hierin werden i. d. R. mehrere der genannten Parameter und gegebenenfalls weitere Größen wie Arbeitsschwere, Bekleidungsisolierung und Akklimatisationsgrad von Personen zu einem Wert zusammengefasst. Bei der Gefährdungsbeurteilung sind zudem insbesondere Expositionszeit, Grad der Dehydratation und der individuelle Gesundheitszustand zu beachten.

Infolge des Klimawandels kann es zu länger andauernden Hitzeperioden kommen, was neben der Überwärmung von Innenräumen von Arbeitsstätten ohne Klimaanlage vor allem Folgen für Arbeitsplätze im Freien hat. Durch die Wärmeexposition treten

verstärkte physiologische Reaktionen zur Thermoregulation auf – eine erhöhte Herzschlagfrequenz und damit Durchblutung der Haut, insbesondere der äußeren Körperteile (Akren – Nase, Kinn, Extremitäten, besonders Finger und Zehen) und verstärkte Schweißsekretion. Zudem wird durch Erweiterung der Blutgefäße (Vasodilatation) die Wärmeabgabe gesteigert. Die für den Menschen notwendige ausgeglichene Wärmebilanz des Körpers kann durch Arbeiten unter Hitzebelastung gefährdet werden, wodurch ein gesundheitliches Risiko entstehen kann. Einschränkungen der körperlichen Leistungsfähigkeit, Hitzeerkrankungen (z. B. Hitzekrampf, Sonnenstich, Hitzesynkope bzw. Hitzekollaps, Hitzeerschöpfung) bis hin zum lebensbedrohlichen anstrengungsbedingten Hitzschlag sind mögliche Folgen der Hitzebelastung bei der Arbeit. Auch bei gemäßigten Umgebungstemperaturen kann z. B. durch schwere Arbeit oder durch eine hohe Bekleidungsisolierung (z. B. Schutzbekleidung) die Wärmebilanz des Körpers nicht mehr ausgeglichen werden und es kann zu einer Überwärmung des Körpers kommen.

2.2 Solare UV-Strahlung

Der Wellenlängenbereich von 100 nm bis 1 mm wird als optische Strahlung bezeichnet, siehe **Abb. 2.1**. Optische Strahlung ist nicht-ionisierend und wird aufgrund des breiten Spektralbereichs in infrarote (IR), sichtbare (Licht, VIS) und ultraviolette (UV) Strahlung unterteilt. IR- und UV-Strahlung sind zusätzlich in A-, B- und C-Spektralanteile untergliedert. Im Gegensatz zu künstlicher UV-Strahlung, z. B. aus Entladungslampen oder vom Schweißlichtbogen, taucht im bodennahen Emissionsspektrum der Sonne keine UV-C-Strahlung auf, da diese durch die Ozonschicht der Erde absorbiert wird.

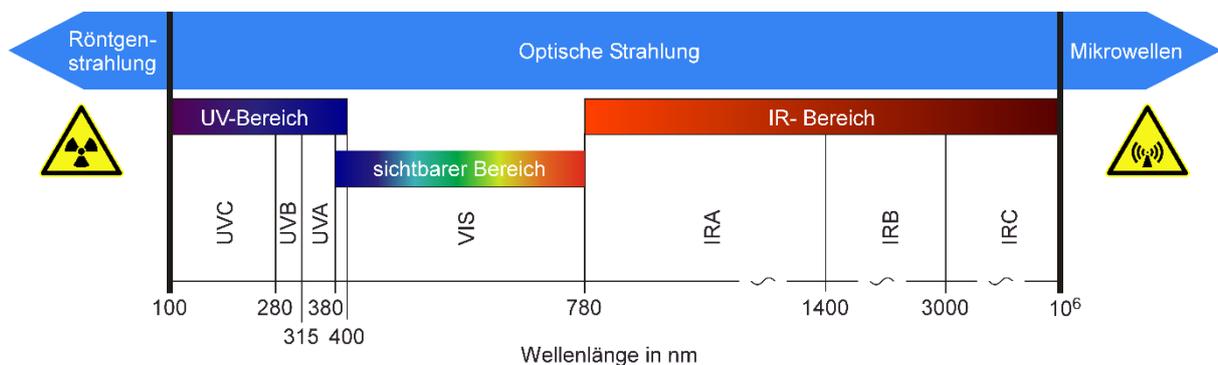


Abb. 2.1 Wellenlängenbereich optischer Strahlung (nicht maßstabsgetreu) mit Unterteilung in einzelne Spektralbereiche (nach TROS IOS).

Hinsichtlich der biologischen Wirkung von UV-Strahlung kommt der Eindringtiefe eine besondere Bedeutung zu, siehe **Abb. 2.2**. Da diese relativ gering ist, werden von UV-Strahlung keine inneren Organe erreicht, so dass UV-induzierte Wirkungen größtenteils an Haut und Augen auftreten.

Akute Schäden durch UV-A- und UV-B-Strahlung zeigen sich am Auge vor allem durch reversible Horn- und Bindehautentzündungen (Photokeratitis und Photokonjunktivitis), wohingegen eine langjährige Exposition zur Linsentrübung (Katarakt) führen kann.

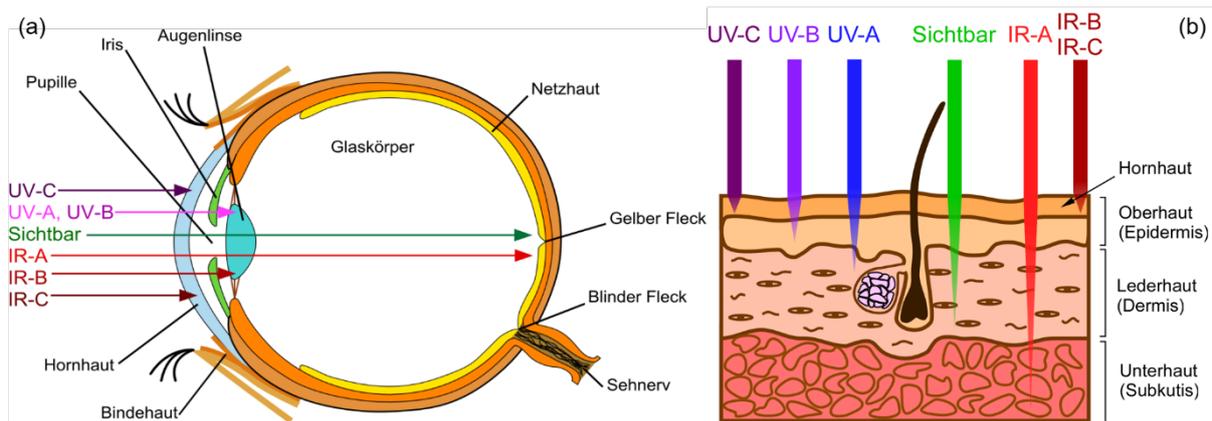


Abb. 2.2 Struktureller Aufbau (a) des Auges und (b) der Haut zusammen mit den spektralbereichsabhängigen Eindringtiefen optischer Strahlung (nach TROS IOS).

Eine kurzzeitige Überexposition gegenüber UV-Strahlung tritt bei der Haut zeitversetzt (mehrere Stunden) durch eine umgangssprachlich als Sonnenbrand bezeichnete entzündliche Hautreaktion (Erythem) auf. Eine hohe chronische UV-Exposition führt zu vorzeitiger Hautalterung und erhöht das Hautkrebsrisiko.

Eine Zusammenstellung dieser und weiterer durch optische Strahlung möglicher Gesundheitsgefahren ist z. B. in den Technischen Regeln zu Optischer Strahlung, Inkohärente Optische Strahlung (TROS IOS) dokumentiert.

Bereits 2012 hat die International Agency for Research on Cancer (IARC) UV-Strahlung als Humankarzinogen der höchsten Klasse 1 eingestuft, für die eine eindeutige krebserzeugende Wirkung nachweisbar ist (International Agency for Research on Cancer (IARC) 2012). Nicht-melanozytäre Hautkrebse – darunter versteht man Plattenepithel- (engl.: Squamous Cell Carcinoma, SCC) und Basalzellkarzinome (engl.: Basal Cell Carcinoma, BCC) – treten am häufigsten in der hellhäutigen Bevölkerung auf. Für 2018 werden in Deutschland ca. 200 000 Neuerkrankungen geschätzt (Robert Koch-Institut (RKI) and Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland (GEKID) 2021). Umfassende wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass Beschäftigte im Freien durch solare UV-Strahlung ein etwa 77 % (SCC und Vorstufen) bzw. 43 % (BCC) höheres Hautkrebsrisiko verglichen mit der Allgemeinbevölkerung haben (Bauer et al. 2011; Schmitt et al. 2011). Dies führte beim SCC zur Anerkennung als Berufskrankheit BK 5103 „Plattenepithelkarzinome oder multiple aktinische Keratosen der Haut durch natürliche UV-Strahlung“ (Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) 2013) im Rahmen der BKV. Für das maligne Melanom konnte eine eindeutige Korrelation mit erhöhter beruflicher UV-Exposition bisher noch nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden (Paulo et al. 2019).

Klimawandelbedingte Veränderungen der solaren UV-Exposition nicht nur von Beschäftigten im Freien sondern auch der Allgemeinbevölkerung könnten die Hautkrebsneuerkrankungsraten „verschärfen“ (Kahlenborn, Porst, Voß, Fritsch, Renner and Zebisch 2021). Für Deutschland zeigt sich bisher eine Abnahme der Bewölkung und damit einhergehend eine Zunahme der Sonnenscheindauer, wobei die zukünftige Entwicklung noch unklar ist. In den letzten Jahrzehnten traten in der Nordhalbkugel und auch in Deutschland vermehrt sog. Niedrigozon-Ereignisse auf. Diese können die UV-Exposition vorübergehend drastisch erhöhen. „Es sollten daher Anstrengungen

unternommen werden, diese kurzfristig und zeitlich begrenzt auftretenden Ereignisse frühzeitig zu erkennen und effektiv zu kommunizieren, damit Schutzmaßnahmen zur Prävention von Hautkrebs im Augenblick des Events ergriffen werden können“ (Deutsche Krebsgesellschaft (DKG) et al. 2021). Darüber hinaus können die im Frühjahr aufgrund der Erderwärmung steigenden Durchschnittstemperaturen zu verhaltensbedingt längeren Außenaufenthalten und damit einer erhöhten UV-Exposition führen (Schmalwieser et al. 2021).

2.3 Infektionskrankheiten

Der IPCC Sonderbericht 2018 stellt in Projektionen dar, dass klimawandelbedingt Gebiete mit Risiken durch vektorübertragene Erkrankungen wie z. B. Denguefieber bei Erwärmung von 1,5 °C auf 2 °C zunehmen werden (Allen et al. 2018).

Es ist wichtig, globale sowie regionale Zusammenhänge zwischen Klima und Krankheiten zu betrachten, um auf mögliche Folgen ggf. rechtzeitig zu reagieren. Bedeutende Fragen hierbei sind, ob erstens Beschäftigte potentiell infektionsgefährdeter Branchen zukünftig tätigkeitsbedingt erhöhten oder veränderten Infektionsrisiken ausgesetzt sein werden und zweitens ob es notwendig ist die bestehenden Arbeitsschutzregelungen und Maßnahmen anzupassen.

Es ist festzustellen, dass der globalisierte Charakter des Warenhandels sowie der Mobilität und Bevölkerungszunahme des Menschen einschließlich Tourismus und Arbeitsleben, aber auch Tierwanderungen die Verbreitung von Krankheitserregern und erregerkompetenten Vektoren bedeutend beeinflussen und in vielen Fällen begünstigen; diese Effekte treten parallel zu klimawandelbedingten Effekten auf (Rappole et al. 2000) (Rosselló et al. 2017) (Medlock and Leach 2015; Mills et al. 2010). Die isolierte Betrachtung des Klimawandels als Ursache für die Deutung von zunehmenden Infektionskrankheiten ist u. U. nicht quantifizierbar und erscheint aus Arbeitsschutzsicht, bei gleichzeitiger Betrachtung paralleler, kumulativer Prozesse nicht generell zielführend.

Infektionserkrankungen, ihre Auslöser und Übertragungswege

Infektionskrankheiten werden beim Menschen durch humanpathogene Infektionserreger ausgelöst. Einschließlich dieser werden im Arbeitsschutz nach Biostoffverordnung Bakterien, Pilze, Viren, Endoparasiten, Zellkulturen und mit Transmissibler Spongiformer Enzephalopathie (TSE) assoziierte Agenzien, die bei der Tätigkeit Beschäftigter in der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden müssen, als Biologische Arbeitsstoffe oder Biostoffe bezeichnet.

Vor allem anhand ihres Potentials, zu infizieren, und der Schwere und Behandelbarkeit der verursachten Erkrankung werden Biostoffe in Risikogruppen eingestuft³. Diese

³ **Risikogruppe 1:** Biostoffe, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass sie beim Menschen eine Krankheit hervorrufen.

Risikogruppe 2: Biostoffe, die eine Krankheit beim Menschen hervorrufen können und eine Gefahr für Beschäftigte darstellen könnten; eine Verbreitung in der Bevölkerung ist unwahrscheinlich; eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung ist normalerweise möglich.

Risikogruppe 3: Biostoffe, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Beschäftigte darstellen können; die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung kann bestehen, doch ist normalerweise eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung möglich.

Einstufungen werden in Deutschland in den Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 460, 462, 464 und 466 bekanntgegeben und regelmäßig aktualisiert, wobei ggf. auch Erkenntnisse zum neuen Auftreten und geänderter Bedeutung im Arbeitsschutz, z. B. begünstigt durch den Klimawandel, berücksichtigt werden (s. auch Kapitel 3). Einstufungen erfolgen in Deutschland durch das BMAS. Beraten wird das BMAS dazu sowohl vom Unterausschuss 3 „Wissenschaftliche Bewertung und Einstufung von Biostoffen“ des Ausschusses für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS), als auch durch die Berufsgenossenschaft für Rohstoffe und chemische Industrie (BGRCI). Aktuell sind 14.924 Biostoffe in Risikogruppen eingestuft (Tabelle 2.2). Darin enthalten sind auch die Biostoffe der EU-Richtlinie 2000/54/EG. Es wird angenommen, dass das derzeit bekannte Artenspektrum der Biostoffe lediglich ein Teil der tatsächlichen Artenvielfalt umfasst, während der überwiegende Teil noch unerforscht ist.

Tab. 2.2 Einstufung von Biostoffen in Risikogruppen nach Biostoffverordnung (Hopf and Dieterich 2019).

	Bakterien TRBA 466	Viren TRBA 462	Pilze TRBA 460	Parasiten TRBA 464
RG 1	10.240	589	986	657
RG 2	1.244	551	164	305
RG 3(**)⁴	9	33		14
RG 3	24	75	13	3
RG 4		17		

Die Schaffung geeigneter Schutzmaßnahmen gegen Infektionskrankheiten bedingt das Wissen um die Übertragungswege der Erreger auf den Menschen.

Die Übertragung kann direkt vom Erregerreservoir, in der Regel infizierte Menschen (Anthroponose) oder Tiere (Zoonose), auf den Empfänger erfolgen, aber auch indirekt über Vehikel (kontaminierte Oberflächen, Lebensmittel u. a.), Vektoren und die Luft (Tabelle 2.3). Im Zuge des Klimawandels gelten vektorübertragene Infektionskrankheiten durch Stechmücken und Zecken als besonders relevant.

Risikogruppe 4: Biostoffe, die eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und eine ernste Gefahr für Beschäftigte darstellen; die Gefahr einer Verbreitung in der Bevölkerung ist unter Umständen groß; normalerweise ist eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung nicht möglich.

⁴ **Risikogruppe 3(**):** Biostoffe der Risikogruppe 3, die nicht auf dem Luftweg übertragbar sind und somit ein geringeres Infektionsrisiko haben als Biostoffe der Risikogruppe 3.

Tab. 2.3 Systematik der Übertragungswege von Infektionserregern.

Direkte Übertragung		Indirekte Übertragung	
Art	Beispiel	Art	Beispiel
über Tröpfchen	erregerhaltige Körperflüssigkeiten (Blut, Sekrete, Ausscheidungen)	vektorübertragen	durch Bisse/Stiche, z. B. durch Zecken und Stechmücken
über Körperkontakt	Infizierte Haut, Schleimhäute	vehikelübertragen	durch Gegenstände (Spielzeug, Kleidung, Türgriffe) durch Substanzen (Wasser, Nahrungsmittel, biol. Produkte wie Blut/Serum/Plasma)
diaplazentare Übertragung	während der Schwangerschaft von Mutter zu Kind, z. B. Röteln, Toxoplasmose	luftübertragen	Luft als Träger der Erreger nur zusammen mit flüssigen und/oder festen Bestandteilen der Luft, z. B. Legionellose

Diese Vektoren erkranken selbst nicht am Erreger, sondern transportieren Erreger vom Infizierten oder Reservoirtier zum Empfänger (Tier oder Mensch) (Abbildung 2.5). Einige Vektoren können selbst zum Reservoir werden, wenn Erreger z. B. transovariell auf die nachfolgenden Generationen übertragen werden.

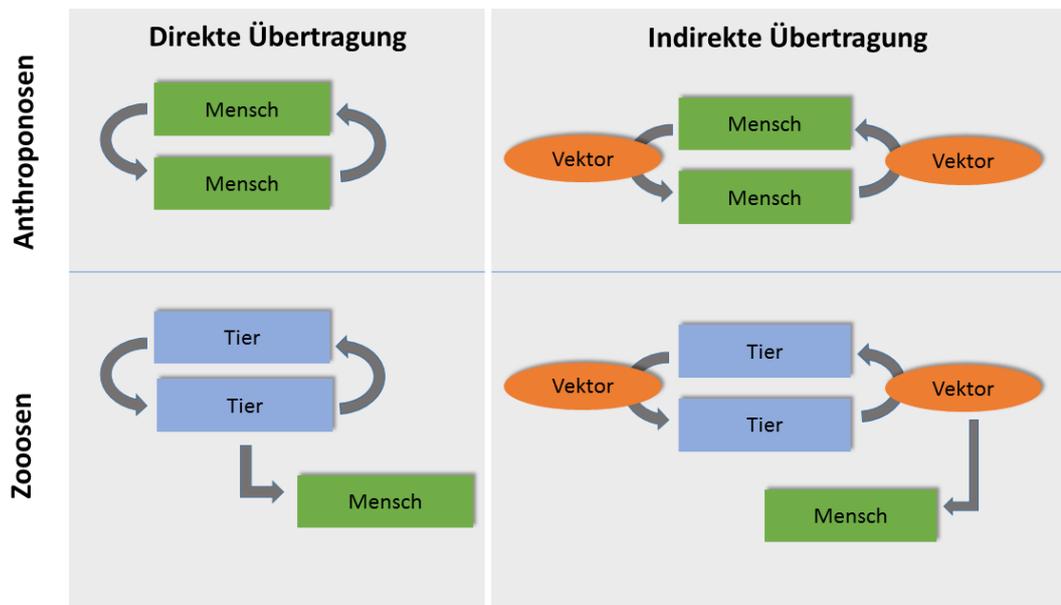


Abb. 2.5 Direkte und Indirekte Übertragungswege von Infektionskrankheiten am Beispiel von Vektor-assoziierten Übertragungen (adaptiert nach Patz et al. 2003). Auch Anthropozoonosen sind möglich, bei denen der Erreger vom Menschen aufs Tier übertragen wird.

Vektoren humanpathogener Infektionserreger sind vor allem Arthropoden (Glieder-tiere), darunter Zweiflügler (Diptera), also Mücken und Fliegen, Flöhe (Siphonaptera), Läuse (Anoplura), Wanzen und bei den Spinnentieren die Zecken. Auch einige Nagetiere gelten als Vektoren, z. B. die Rötelmaus für Hantaviren. Viele Vektoren können mehrere potentielle Infektionserreger gleichzeitig in sich tragen und über-tragen. Die Übertragung der Erreger auf den Empfänger kann unterschiedlich erfolgen (Garms 2014):

- a) Erreger können nach Vermehrung im Darm des Vektors mit dem Kot abgesetzt werden, z. B. *Rickettsia prowazekii*, der Erreger des Fleckfiebers, durch die Klei-derlaus.
- b) Erreger können nach Vermehrung im Darm des Vektors während der Blut-aufnahme durch Auswürgen übertragen werden (z. B. *Yersinia pestis* der Erreger der Pest durch Flöhe).
- c) Erreger können vom Darm des Vektors ausgehend Organe des Vektors besiedeln und aus den Stechorganen beim Blutsaugen übertragen werden (z. B. *Plasmodium falciparum* der Erreger der Malaria durch Mücken).
- d) Erreger können zufällig an den Vektor gelangen und durch Kontakt auf den Empfänger übertragen werden.

Vom Mensch als Wirt vektorübertragener Infektionserreger kann es erregerspezifisch zur weiteren Verbreitung der Krankheit kommen (Gelbfieber, Pest); dies ist jedoch nicht bei allen Erregern der Fall (Medlock and Leach 2015). Vektorübertragene Infektionen werden nach Art der Vektoren eingeteilt und entsprechend ihres über-tragenen Organismus in zeckenübertragene (*Tick-borne*), sandmückenübertragene (*Sand-fly-borne*), mückenübertragene (*Mosquito-borne*), aber auch nagetierübertra-gene (*Rodent-borne*) Infektionen unterschieden. Beispiele einheimischer vektorüber-tragener Infektionen sind in Tabelle 2.4 zusammengefasst.

Tab. 2.4 Einheimische vektorübertragene Infektionen.

Erreger	Vektor	Krankheit
<i>Borrelia burgdorferi</i>	Zecken (<i>Ixodes ricinus</i>)	Lyme-Borreliose
FSME-Viren	Zecken (<i>Ixodes ricinus</i>)	Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)
Hantaviren	Rötelmaus, Brandmaus	Hämorrhagische Fieber mit renalem Syndron (HFRS)
Leptospiren	Befallene Tiere, Urin-Kontakt	Leptospirose (Feldfieber, Bataviafieber, Erbesenpflückerkrankheit, Reisfeldfieber)
<i>Fransiiella tulariensis</i>	Wildtiere; insbesondere Hasen und Nagetier	Tularämie (Hasenpest)

Die saisonalen Muster und klimatischen Empfindlichkeiten vieler Infektionskrankheiten sind bekannt. Bedeutend ist mit Blick auf den Klimawandel, inwieweit sich Krankheitsmuster unter zu erwartenden Bedingungen verändern werden. In den letzten zehn Jahren hat diese Frage die Forschung auf drei Bereiche konzentriert. Erstens: Kann die jüngste Vergangenheit mehr darüber aussagen, wie klimatische Schwankungen

oder Trends das Auftreten von Infektionskrankheiten beeinflussen? Zweitens: Gibt es Hinweise darauf, dass sich die Prävalenz von Infektionskrankheiten in einer Weise verändert hat, die vernünftigerweise auf den Klimawandel zurückzuführen sind? Drittens: Können vorhandene Kenntnisse und Theorien genutzt werden, um Vorhersagemodelle zu konstruieren, die abschätzen können, wie sich zukünftige Szenarien mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen auf die Übertragbarkeit bestimmter Infektionskrankheiten auswirken (Patz, Githeko, McCarty, Hussein, Confalonieri and De Wet 2003)? Weiterhin stellt sich die Frage, wenn es klimabedingte Veränderungen beim Infektionsgeschehen geben wird, welche Auswirkungen es auf den Arbeitsschutz haben wird?

2.4 Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine

Durch den Klimawandel verändern sich die Lebensräume von Flora und Fauna. Aufgrund steigender Temperaturen können sich die Grenzen der bisherigen Habitate weiter nach Norden verschieben. Begleitende Änderungen in Landnutzung und Bewässerung sowie eine zunehmende Urbanisierung schränken zwar einerseits viele Lebensräume ein, bieten gleichzeitig für andere aber auch eine Erweiterung. Da von Flora und Fauna eine Gefährdung der Gesundheit durch Allergene und Toxine ausgehen kann, verändert sich mit den Habitaten auch das jeweilige Gefährdungsgebiet. Jedoch ist nicht allein der globale Klimawandel für die Verbreitung von Wirten, Vektoren und Krankheitserregern verantwortlich, sondern ebenso der globale Austausch an sich. Durch Handel und Reisen werden natürliche Habitate und Grenzen, wie z. B. die Alpen, das Mittelmeer oder die Sahara, problemlos überwunden. Dadurch können sich in Deutschland bisher teilweise unbekannte Tiere und Pflanzen zunehmend verbreiten.

2.5 Extremwetterereignisse

Extremwetterereignisse wie Starkregen mit Sturzfluten und Überschwemmungen oder Stürme mit Tornados können zu einer unmittelbaren Gefährdung von Beschäftigten durch deren mechanische Wirkungen, Ertrinken oder Blitzschlag führen. Weiterhin ergibt sich eine mittelbare Gefährdung von Beschäftigten bei der Durchführung von Tätigkeiten im Rahmen der Instandsetzungsarbeiten in der betroffenen Region im darauffolgenden Zeitraum.

Im Rahmen der Arbeiten zu einer Überprüfung einer möglichen Aktualisierung der Technischen Regeln für Anlagensicherheit TRAS 310 und TRAS 320 wurden in einer Studie des Umweltbundesamts (Köppke, K.-E. (2021)⁵) voraussichtliche Wirkungen des Klimawandels auf Naturgefahren bei Extremwetterereignisse betrachtet. Im Falle der TRAS 310 handelt es sich dabei um Überflutungen durch Gewässer (Hochwasser oder Sturmfluten), einschließlich dem Versagen von Hochwasserschutzanlagen, sonstigen Überflutungen, zum Beispiel durch starke Niederschläge oder Rückstau aus

⁵ Köppke, K.-E. 2021: Berücksichtigung des Klimawandels in technischen Regeln für Anlagensicherheit. Forschungskennzahl 3718 48 3250. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. www.kas-bmu.de/files/publikationen/TRAS/TRAS%20%28entwuerfe%29/4.Zwischenbericht_2_FG_202110.pdf

der Kanalisation sowie aufsteigendem Grundwasser. Die entsprechenden Projektionen des DWD (zitiert von der LAWA⁶) zeigen eine sinkende Niederschlagsmenge im Sommer und steigende Mengen im Winter. Die Gefahr von Starkniederschlägen, bei denen es sich oftmals um kleinräumige Ereignisse handelt, nimmt ebenfalls zu. Jedoch ist eine Trendanalyse schwierig und es ergibt sich für Deutschland ein heterogenes Bild. Überregional kann jedoch von einer Tendenz zu Extremniederschlägen, vor allem im Winterhalbjahr, ausgegangen werden. Eng damit verbunden ist das Auftreten von Sturzfluten. In der TRAS 320 werden die umgebungsbedingten Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten betrachtet. Auch hier liegt ein heterogenes Bild vor, so dass die Häufigkeit von Sturmböen keineswegs einheitlich zunimmt, sondern vermutlich mit einer veränderten Klimavariabilität zu erklären ist.

An den Arbeitsschutz ergeben sich hieraus besondere Anforderungen, unmittelbar beim Auftreten eines Extremwetterereignisses, als auch mittelbar bei der folgenden Instandsetzung der Schäden. Diese wurden bislang primär im Katastrophenschutz adressiert, allerdings haben die jüngsten Ereignisse bei Extremwettern gezeigt, dass auch der Arbeitsschutz aktiv gefordert ist. Handlungsbedarf ergibt sich unter anderem bei Fragen des Infektionsschutzes bei Tätigkeiten in kontaminierter Umgebung (aufgrund freigesetzter Gefahrstoffe oder biologischer Stoffe aus beschädigten Industrieanlagen, Kläranlagen etc.), bei Tätigkeiten an Arbeitsplätzen im Freien mit stark geschädigter Infrastruktur und auch bei Fragen einer erhöhten psychischen Belastung von Beschäftigten bei Tätigkeiten in einem Katastrophengebiet.

Der Risikofaktor „Extremwetterereignisse“ ist auch Gegenstand der sich in der Erstellung befindenden neuen Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A5.1. Hier sollen Maßstäbe für die Beurteilung von Gefährdungen und Maßnahmen des Arbeitsschutzes gegen die Einwirkungen u. a. von Niederschlägen (Überflutungen, Sturzfluten), mechanisch wirkende Winde (Zyklone, Fallwinde) und Gewitter (Blitzschlag) ermittelt werden, siehe Abschnitt 3.1.2.

⁶ LAWA (2017) Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft – Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder, LAWA Klimawandel-Bericht 2017 www.lawa.de/documents/lawa-klimawandel-bericht_2020_1618816705.pdf

3 BAuA-Aktivitäten

3.1 Staatliche Regelungsetzung

3.1.1 Gesetze und Verordnungen

In staatlichen Arbeitsschutzvorschriften werden für verschiedene Risikofaktoren Regelungen getroffen, die in Bezug auf den Klimawandel relevant sind. Schutzziele bezüglich klimatischer Belastungen werden auf der Grundlage des **Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG)** insbesondere in der **Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)** im Anhang 3.5 formuliert, wo „gesundheitlich zuträgliche Raumtemperaturen für Arbeitsräume und weitere Räume (z. B. Sanitär-, Pausen- und Bereitschaftsräume)“ unter Berücksichtigung der betriebstechnischen Anforderungen und des spezifischen Nutzungszwecks gefordert werden. Nach Anhang 3.6 muss für diese Bereiche ausreichend „gesundheitlich zuträgliche Atemluft“ vorhanden sein. Nach Anhang 5.1 sind Arbeitsplätze in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und Arbeitsplätze im Freien so einzurichten und zu betreiben, dass sie von den Beschäftigten bei jeder Witterung sicher und ohne Gesundheitsgefährdung genutzt werden können. Diese Arbeitsplätze sind gegen Witterungseinflüsse zu schützen oder den Beschäftigten sind geeignete persönliche Schutzausrüstungen zur Verfügung zu stellen. Arbeitsplätze im Freien sind nach Möglichkeit so einzurichten, dass die Beschäftigten keinen gesundheitsgefährdenden äußeren Einwirkungen ausgesetzt sind.

Mit Maßnahmen der **Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)** sollen arbeitsbedingte Erkrankungen einschließlich Berufskrankheiten frühzeitig erkannt und verhüten werden. Arbeitsmedizinische Vorsorge soll zugleich einen Beitrag zum Erhalt der Beschäftigungsfähigkeit und zur Fortentwicklung des betrieblichen Gesundheitsschutzes leisten. Nach Anhang Teil 3 Absatz 1 Ziffer 1 hat der Arbeitgeber bei Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung eine Pflichtvorsorge zu veranlassen. Gemäß Absatz 2 Ziffer 5 hat der Arbeitgeber für Tätigkeiten im Freien mit intensiver Belastung durch natürliche UV-Strahlung von regelmäßig einer Stunde oder mehr je Tag eine Angebotsvorsorge anzubieten. Details hierzu finden sich im nächsten Abschnitt 3.1.2

Gesetzliche Hintergründe und Maßnahmen zum Schutz Beschäftigter vor Gefährdungen durch Biostoffe sind durch die **Biostoffverordnung (BioStoffV)**, die Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) und spezifische arbeitsmedizinische Regeln dargestellt und geregelt, siehe Abschnitt 3.1.3. Hierzu zählen auch berufliche Gefährdungen durch Biostoffe, die potentiell vom Klimawandel beeinflusst sind.

Im Informationsangebot der BAuA werden unterschiedliche **Handlungshilfen** und Forschungsergebnisse zur Verfügung gestellt, siehe Abschnitt 3.2. Zur aktuellen Rechtslage des Arbeitsschutzes mit Bezug zum Klimawandel bzgl. Hitzebelastung und UV-Strahlung gibt (Bux 2021) einen Überblick. Darin wird festgestellt, dass es für bestimmte Bereiche bereits Regelungen gibt, diese z. T. auch schon an die durch den Klimawandel geänderten Arbeitsumgebungsbedingungen angepasst wurden und neue Regelungen in Arbeit sind.

3.1.2 Technische und Arbeitsmedizinische Regeln für Klima und UV-Strahlung

Arbeitsstättenregel ASR A3.5

Die ASR A3.5 „Raumtemperatur“ enthält in Abschnitt 4.4 Anforderungen an Arbeitsräume bei einer Außenlufttemperatur von über +26 °C. Hier wurde ein Stufenmodell für den „Sommerfall“ eingeführt, mit dem die Beanspruchung der Beschäftigten wirkungsvoll reduziert werden kann. Das Modell zeigt, bei welchen Rahmenbedingungen und Schutzmaßnahmen Beschäftigte in Arbeitsräumen bei Lufttemperaturen in den Stufen bis +30 °C, bis +35 °C und über +35 °C weiter tätig sein können. Die ASR A3.5 zeigt in Tabelle 4 beispielhaft Maßnahmen, die dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten dienen und damit auch dem Erhalt bzw. der Förderung ihrer Leistungsfähigkeit bei Hitzebelastung. Der Arbeitgeber kann daraus die unter seine betrieblichen Bedingungen geeigneten Maßnahmen auswählen.

Im März 2021 wurde – aufgrund der durch den Klimawandel zu erwartenden häufigeren Hitzeperioden – die ASR A3.5 „Raumtemperatur“ auf Anregung des BMAS bzgl. weiterer Maßnahmen bei Sommerhitze in Arbeitsräumen ergänzt. Demnach müssen generell Getränke bereitgestellt werden, zudem werden Entwärmungsphasen empfohlen. Im März 2022 wurde eine weitere Ergänzung bezüglich Bereitstellung von Ventilatoren (Tisch-, Stand-, Turm- oder Deckenventilatoren) und Nutzung der adiabaten Kühlung (Wasserverdunstung) vorgenommen, wobei eine maximale absolute Luftfeuchte von 11,5 gw/kg_{tr.L} (g Wasser pro kg trockener Luft) nicht überschritten werden darf. Dieser Wert wird auch als „Schwülegrenze“ bezeichnet. Wird diese überschritten, kann es zu einer physischen Belastung der Beschäftigten kommen. Diese Maßnahmen sollen mit geringem Aufwand (z. B. Geräte, Installation) und ohne wesentlichen Energieverbrauch die Belastung der Beschäftigten in durch Hitzeperioden überwärmten Arbeitsräumen wirkungsvoll reduzieren.

Arbeitsstättenregel ASR A3.6 Lüftung

Die ASR A3.6 „Lüftung“ enthält in Abschnitt 4.4 Anforderungen an die Luftfeuchte. Gemäß Absatz 4 bleiben witterungsbedingte Feuchteschwankungen unberücksichtigt. In Bezug auf den Klimawandel gibt es somit für extreme Situationen mit sehr hoher Luftfeuchte keine Begrenzungen, was sich z. B. im Sommer in Phasen mit viel Niederschlägen (Starkregen, Gewitter) einstellen kann. Bei zudem hohen Lufttemperaturen und Überschreitung der „Schwülegrenze“ ist die Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung erschwert. Dies kann bei längerer Exposition zu einem Wärmestau führen. Die in Absatz 3 dieser ASR genannten maximalen relativen Luftfeuchten beziehen sich nur auf betriebstechnische oder arbeitsbedingte Feuchtelasten. Die in der ASR A3.5 genannte „Schwülegrenze“ darf nur bei Anwendung einer Wasserverdunstung nicht überschritten werden.

Arbeitsstättenregel ASR A5.1

Mit Erstellung der Arbeitsstättenregel ASR A5.1 „Arbeitsplätze in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und Arbeitsplätze im Freien“ konkretisiert aktuell eine Projektgruppe des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) den Anhang 5.1 der ArbStättV. Fokus der Arbeiten liegt auf der Beurteilung von Gefährdungen durch Ableitung von Schutzmaßnahmen gegen gesundheitsgefährdende äußere Einwirkungen infolge natürlicher UV-Strahlung, thermischer Belastungen (Hitze und Kälte), Niederschläge (Überflutungen, Sturzfluten), mechanisch wirkenden Wind (Zyklone,

Fallwinde) sowie Gewitter (Blitzschlag). Entscheidende, in Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels stehende Risikofaktoren werden demnach berücksichtigt. Damit wird eine in den interessierten Kreisen des Arbeitsschutzes abgestimmte bundeseinheitliche Technische Regel zur Beurteilung wesentlicher Gefährdungen und Ableitung von geeigneten Schutzmaßnahmen für Arbeitsplätze im Freien vorliegen.

Arbeitsmedizinische Regel 13.1

Die AMR 13.1 „Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können“ schließt jahreszeitlich bedingte hohe Außenlufttemperaturen und damit verursachter hoher Hitzebelastung am Arbeitsplatz aus ihrem Regelungsbereich aus (z. B. an Büroarbeitsplätzen). Hier sind Maßnahmen entsprechend der Maßnahmenhierarchie, die nach Arbeitsschutzgesetz getroffen werden, erforderlich. Insofern lösen jahreszeitlich bedingte hohe Außenlufttemperaturen grundsätzlich nicht das Erfordernis einer Pflichtvorsorge aus. Demnach kann formal diese AMR nicht direkt zur Bewertung und Ableitung von Maßnahmen von durch den Klimawandel verursachten Hitzebelastung bei der Arbeit werden.

Arbeitsmedizinische Regel AMR 13.3

Die Arbeitsmedizinische Regel AMR 13.3 „Tätigkeiten im Freien mit intensiver Belastung durch natürliche UV-Strahlung von regelmäßig einer Stunde oder mehr je Tag“ wurde vom AfAMed erarbeitet und 2019 vom BMAS bekannt gegeben. Gemäß § 5 Absatz 1 in Verbindung mit Anhang Teil 3 Absatz 2 Nummer 5 der Verordnung zur Arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) sind Arbeitgeber verpflichtet, ihren Beschäftigten vor Aufnahme der Tätigkeiten und anschließend in regelmäßigen Abständen arbeitsmedizinische Vorsorge anzubieten, sofern eine intensive Belastung durch natürliche UV-Strahlung vorliegt. Diese ist gegeben, wenn bei Tätigkeiten im Freien – gemeint sind alle Arbeiten außerhalb geschlossener Räume – Beschäftigte von April bis September zwischen 10 – 15 Uhr MEZ bzw. 11 – 16 Uhr MESZ an mindestens 50 Arbeitstagen im Jahr ab einer Dauer von insgesamt einer Stunde pro Tag im Freien arbeiten. Vergleichbare Voraussetzungen für Tätigkeiten im Schatten, auf verschneiten Oberflächen oder außerhalb Deutschlands werden ebenfalls spezifiziert. Nach aktuellem wissenschaftlichem Stand behält die AMR 13.3 auch im Hinblick auf durch den Klimawandel geänderte UV-Expositionen ihre Gültigkeit. Würden jedoch Tage mit extremen UV-Belastungen zunehmen oder sich auch außerhalb der Mittagszeiten vermehrt intensivere UV-Expositionen ergeben, müsste die AMR 13.3 angepasst werden.

3.1.3 Technische und Arbeitsmedizinische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe

Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe

Biostoffe am Arbeitsplatz können die Gesundheit Beschäftigter gefährden und müssen im Arbeitsschutz berücksichtigt werden. Gesetzliche Grundlage hierfür ist in Deutschland das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) bzw. dessen Spezifizierung in der Biostoffverordnung (BioStoffV). Die Biostoffverordnung setzt zudem die Richtlinie 2000/54/EG zum Schutz der Beschäftigten bei Gefährdung durch Biostoffe bei der Arbeit in nationales Recht um. Der Arbeitgeber ist bei Feststellung von tätigkeitsbedingten Expositionen gegenüber Biostoffen in der Pflicht, Informationen über potentielle

Risiken, die mit der Exposition im Zusammenhang stehen können, einzuholen bzw. zu ermitteln, die Gefährdungen abzuschätzen und diese durch Schutzmaßnahmen abzuwenden. Die Gefährdungsbeurteilung ist immer aktuell zu halten und ggf. auf neue Situationen abzustimmen. Außerdem ist die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen regelmäßig zu überprüfen. Insbesondere das hier verankerte wiederholte Überprüfen der Gefährdungen im Rahmen der aktuell gehaltenen Gefährdungsbeurteilung ist für den Schutz vor geänderten Gefährdungen bedeutend, z. B. im Zuge des Klimawandels.

Für gezielte Tätigkeiten mit Biostoffen z. B. im Labor, der Versuchstierhaltung und der Biotechnologie werden die notwendigen Schutzmaßnahmen in Abhängigkeit von der Risikogruppe des Biostoffes durch entsprechende Schutzstufen vorgegeben. Im Gesundheitswesen werden solche Schutzstufen in Abhängigkeit vom tätigkeitsbezogenen Infektionsrisiko zugeordnet. Schutzmaßnahmen dieser Arbeitsbereiche mit Schutzstufenzuordnung werden in Deutschland durch die Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) 100, 110, 120, 250, 255 auf Basis des Standes der Wissenschaft und Technik konkretisiert und regelmäßig aktualisiert (Tabelle 3.1). Derzeit gelten 23 TRBA⁷.

Tab. 3.1 Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe mit Schutzstufenzuordnung.

TRBA-Nr.	Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen
100	Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in Laboratorien (Stand Mai 2018)
110	Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Biostoffen in der Biotechnologie (in Bearbeitung)
120	Versuchstierhaltung (Stand März 2017)
250	Biologische Arbeitsstoffe im Gesundheitswesen und in der Wohlfahrtspflege (Stand Mai 2018)
255	Arbeitsschutz beim Auftreten von nicht ausreichend impfpräventablen respiratorischen Viren und bei vergleichbaren Tätigkeiten (Stand Februar 2021)

Durch die Risikogruppenzuordnung der Biostoffe sind Beschäftigte in Schutzstufenbereichen auch im Falle neu auftretender Erreger, z. B. im Zusammenhang mit dem Klimawandel nach geltendem Regelwerk geschützt. Dies wird insbesondere dadurch sichergestellt, dass neu auftretende Biostoffe einschließlich solcher, die bislang nur aus anderen Regionen bekannt waren, in Risikogruppen eingestuft werden und neue Erkenntnisse bei der Überarbeitung berücksichtigt werden. Alle nach BioStoffV eingestuften Biostoffe werden in den Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe zur Einstufung von Viren, Parasiten, Pilze und Bakterien (TRBA 450, 460, 462, 464, 466; Tabelle 3.2) über das Gemeinsame Ministerialblatt (GMBI) bekannt gegeben und die gelisteten Biostoffe kontinuierlich auf Aktualität der Einstufung geprüft.

⁷ www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA.html

Tab. 3.2 Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe zur Einstufung in Risikogruppen.

TRBA-Nr.	Einstufung Biologischer Arbeitsstoffe
450	Einstufungskriterien für Biologische Arbeitsstoffe (Stand Juni 2000)
460	Einstufung von Pilzen in Risikogruppen (Stand Juni 2016)
462	Einstufung von Viren in Risikogruppen (Stand April 2012)
464	Einstufung von Parasiten in Risikogruppen (Stand Juli 2013)
466	Einstufung von Prokaryonten (Bacteria und Archaea) in Risikogruppen (Stand August 2015)

Die Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe/Technische Regel für Gefahrstoffe TRBA/TRGS 406 berücksichtigt zudem beruflich bedingte Gefährdungen der Atemwege durch Sensibilisierung. Sensibilisierende Substanzen können biologisch von Biostoffen und anderen Organismen wie Pflanzen (*Ambrosia*) und Tieren (*Eichenprozessionsspinner*) erzeugt werden oder anderen Ursprungs sein. Die Gefährdungsbeurteilung schließt berufliche Tätigkeiten mit erregerkompetenten Vektoren ein.

Über Labore und das Gesundheitswesen hinaus sind berufliche Tätigkeiten mit Biostoffen keiner Schutzstufe zugeordnet und werden in der Regel als nicht gezielt bezeichnet. In der Regel sind Biostoffe außerhalb von Schutzstufenbereichen in der unmittelbaren Arbeitsumgebung häufig oder regelmäßig vorhanden, ohne dass die berufliche Tätigkeit darauf ausgerichtet ist und ohne dass die Biostoffe am Arbeitsplatz vergleichbar gut mit denen in Laboren und Gesundheitswesen charakterisiert wären. Die Abfall- und Kreislaufwirtschaft, die Land- und Forstwirtschaft, die Tierzucht und die Veterinärmedizin sind dabei bedeutende Branchen. In diesen Branchen ist klimawandelbedingt eine geänderte Exposition gegenüber Biostoffen denkbar, besonders hinsichtlich zoonotischer und vektorübertragener Infektionserreger. Für diese Branchen werden Gefährdungen durch Biostoffe ebenfalls in TRBA als Empfehlungen mit Vermutungswirkung berücksichtigt (Tabelle 3.3). Darin werden alle zum Zeitpunkt der Veröffentlichung relevanten Erreger und mögliche Vektoren beschrieben, die bei Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden müssen. Nicht gezielte Tätigkeiten können unabhängig von gezielten Tätigkeiten auch in Laboren und im Gesundheitswesen auftreten.

Tab. 3.3 Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe ohne Schutzstufenzuordnung.

TRBA-Nr.	Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen
130	Arbeitsschutzmaßnahmen in akuten biologischen Gefahrenlagen (Stand März 2013)
213	Abfallsammlung: Schutzmaßnahmen (Stand Juli 2021)
214	Anlagen zur Behandlung und Verwertung von Abfällen (Stand Juli 2021)
220	Sicherheit und Gesundheit bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in abwassertechnischen Anlagen (Stand Dezember 2010)
230	Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in der Land- und Forstwirtschaft und bei vergleichbaren Tätigkeiten (Stand Juni 2020)
240	Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit mikrobiell kontaminiertem Archivgut (Stand Dezember 2010)
260	Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in der Veterinärmedizin und bei vergleichbaren Tätigkeiten (Stand Dezember 2018)

Arbeitsmedizinische Regeln AMR 6.5 und AMR 6.6

Arbeitsmedizinische Vorsorge bei Tätigkeiten mit Biostoffen und bei sonstigen Tätigkeiten mit Infektionsgefährdung basiert auf den Regelungen der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV). Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist festzustellen, ob für eine konkrete Tätigkeit arbeitsmedizinische Vorsorge zu veranlassen, anzubieten oder auf Wunsch zu ermöglichen ist. Die ArbMedVV benennt Tätigkeiten, die arbeitsmedizinische Pflicht- oder Angebotsvorsorge auslösen. Als vektorübertragene Infektionserreger sind *Borrelia burgdorferi* und FSME-Virus genannt. Berufliche Tätigkeit auf Freiflächen, in Wäldern, Parks, Gartenanlagen, Tiergärten und Zoos, mit regelmäßigem Aufenthalt in niederer Vegetation oder direktem Kontakt zu freilebenden Tieren lösen Pflichtvorsorge in Hinblick auf diese Erreger aus. Bei anderen vektorübertragenen Erregern ist Pflichtvorsorge lediglich bei gezielten Tätigkeiten oder nicht gezielten Tätigkeiten in Forschungseinrichtungen und Laboratorien erforderlich. Für andere Tätigkeiten, die Risiken durch vektorübertragene Infektionen bergen, muss Vorsorge angeboten werden, soweit es sich um Tätigkeiten nach Biostoffverordnung handelt und wenn die Gefährdung vergleichbar ist mit Tätigkeiten der Schutzstufe 2 und 3 gemäß Biostoffverordnung. Für sonstige Tätigkeiten mit Infektionsgefährdung durch vektorübertragene Erreger ist Wunschvorsorge vorgesehen.

Für Beschäftigte, die berufsbedingt Länder bereisen, in denen durch den Aufenthalt eine Infektionsgefährdung besteht (bisher vor allem tropische und subtropische Länder) ist arbeitsmedizinische Vorsorge verpflichtend zu veranlassen. Durch die invasive Ausbreitung von Vektoren in gemäßigte Zonen, begünstigt durch den Klimawandel, kann sich der Personenkreis, der von dieser Vorsorge bei Auslandsaufenthalt betroffen ist, in Zukunft vergrößern.

Wesentlich in der arbeitsmedizinischen Vorsorge gegen Infektionen ist die Impfung. Impfangebote sind vorgesehen, wenn das Risiko einer Infektion tätigkeitsbedingt und im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung erhöht ist. Hinweise zur Einschätzung dieses Risikos sind in den arbeitsmedizinischen Regeln (AMR 6.5 und AMR 6.6) niedergelegt.

3.2 Informationsangebot

3.2.1 Praktische Hilfen

Hitzebelastung

Auf ihrer Homepage gibt die BAuA „Empfehlungen für heiße Sommertage in Arbeitsstätten“⁸, wobei sowohl Arbeitsstätten in Gebäuden als auch Arbeitsplätze im Freien, einschließlich dem „Schutz vor der UV-Strahlung der Sonne“, behandelt werden.

Das Faltblatt „Sommerhitze im Büro – Tipps für Arbeit und Wohlbefinden“⁹ gibt dem betrieblichen Anwender in kompakter Form (Druckversion und online) Hinweise was an heißen Sommertagen zu tun ist, um gesund und leistungsfähig zu bleiben.

Solare UV-Strahlung

Informationen zum Schutz vor solarer UV-Strahlung werden im Informationsangebot der BAuA auf einer eigenen Webseite¹⁰ zusammengefasst.

Die im Scheckkartenformat entworfene Memocard „UV-Index und anzuwendende Schutzmaßnahmen“ listet für niedrige, mittlere, hohe und sehr hohe UV-Belastungen orientierende Schutzmaßnahmen für Beschäftigte im Freien auf. Sie steht kostenfrei zum Download zur Verfügung bzw. kann über den Bestellservice der BAuA¹¹ bezogen werden.

Die Handlungshilfe „Sonnenbrillen – Sicherer Schutz für die Augen“ (Janßen 2018) unterstützt bei der Auswahl der richtigen Sonnenbrille zum Schutz vor schädlicher UV-Strahlung in Form einer Checkliste. Aber auch Hinweise etwa zur Kennzeichnung oder zu den Merkmalen einer guten Sonnenbrille werden aufgeführt.

Infektionskrankheiten

Berufliche Gefährdungen durch Biostoffe werden durch die BAuA fortlaufend beobachtet. In Zusammenarbeit mit dem BMAS und dem ABAS werden Änderungen, z. B. durch das Auftreten neuer Gefährdungen und Informationen hinsichtlich des Arbeitsschutzes zur Verfügung gestellt.

So wurde z. B. im Rahmen des betrieblichen Infektionsschutzes während der SARS-CoV-2 Pandemie die SARS-CoV-2-Arbeitsschutzregel und die „BAuA Handlungsempfehlung SARS-CoV-2“¹² unter Koordination der BAuA gemeinsam von den Arbeitsschutzausschüssen beim BMAS erstellt, veröffentlicht und fortwährend aktualisiert. Die SARS-CoV-2-Arbeitsschutzregel konkretisiert auf der Grundlage des ArbSchG und der Verordnungen zum ArbSchG (Arbeitsschutzverordnungen) sowie unter Berücksichtigung des SARS-CoV-2-Arbeitsschutzstandards des BMAS die Anforderungen an den Arbeitsschutz in Hinblick auf SARS-CoV-2. Ziel dieser Regel ist

⁸ www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physikalische-Faktoren-und-Arbeitsumgebung/Klima-am-Arbeitsplatz/Sommertipps.html

⁹ www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis-kompakt/F14.html

¹⁰ www.baua.de/solarUV

¹¹ shop.baua.de

¹² www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/Handlungsempfehlungen-SARS-CoV2.html

es, die Gesundheit der Beschäftigten in der Zeit der SARS-CoV-2-Epidemie durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes wirkungsvoll zu schützen.

Im Rahmen des Forschungsberichtes „Epidemiologie Arbeitsplatzbedingter Infektionskrankungen“ wurde eine umfangreiche systematische Literaturrecherche zu allen Erregern mit Fokus auf den Bereich der nicht gezielten Tätigkeiten mit Infektionsgefährdung, die im Anhang III der Richtlinie 2000/54/EG aufgeführt sind, durchgeführt (Fischer et al. 2013). Hieraus konnten neue Erkenntnisse generiert werden, die zeigen, dass in einigen Fällen (17 Erreger) Handlungsbedarf für zukünftige wissenschaftliche Fragestellungen besteht.

3.2.2 Ausgewählte Forschungsergebnisse

Hitzebelastung

Im BAuA-Projekt F 2039 „Bewertung der Hitzebeanspruchung bei erhöhten Außentemperaturen in Arbeitsräumen – HESO“¹³ (Hellwig et al. 2012) wurde am Beispiel eines realitätsnahen Büroarbeitsplatzes bei sommerlichen Außentemperaturen der Einfluss hoher Raumtemperaturen auf die Leistungsfähigkeit von 20 Personen, die über 4 ¼ Stunden Büroarbeit verrichteten, untersucht. Die Raumlufttemperatur wurde in drei Bereiche (ca. 24 °C, 30 °C und 35 °C, vergleichbar dem Stufenmodell der Arbeitsstättenregel ASR A3.5) eingestellt. Dabei werden physiologische Parameter und das subjektive Empfinden der Probanden erfasst sowie mit verschiedenen Tests die momentane Leistungsfähigkeit der Probanden ermittelt. Demnach ist die Leistungsfähigkeit bei höheren Lufttemperaturen auch nach vier Stunden noch gegeben, aber man fühlt sich weniger frisch und die Leistungsbereitschaft nimmt ab. Die Trinkmenge steigt ebenfalls mit der Raumtemperatur, um ca. 1 l in 8 Stunden Arbeitszeit.

Solare UV-Belastung

Seit langem gibt es Bestrebungen, die unterschiedlichen Expositionssituationen von Beschäftigten im Freien zu erfassen, zu bewerten und durch geeignete Schutzmaßnahmen deren Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit zu verbessern. Bereits im Jahr 2000 veröffentlichte die BAuA die Ergebnisse des Forschungsprojektes F 1562 „Untersuchung der Außentätigkeiten unter unmittelbarer Einwirkung von Sonnenstrahlen“ (Treier et al. 2000). Da hier in Form einer Momentaufnahme zentrale Berufe und Tätigkeitsfelder im Freien beschrieben und analysiert, jedoch auf experimentelle Messungen zur Bewertung der solaren UV-Belastung verzichtet wurde, folgte 2007 das Projekt F 1777 „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ (Knuschke et al. 2007), in dem u. a. die jährlichen UV-Dosen von Beschäftigungsfeldern wie Hochbau, Landwirtschaft/Feldwirtschaft oder Müllabfuhr aber auch von Beschäftigten mit intermittierenden Außentätigkeiten und einer Kontrollgruppe mit ausschließlicher Innenbeschäftigung bestimmt wurden. Die „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“ (Knuschke et al. 2010) wurde 2010 im Forschungsprojekt F 1986 durchgeführt (Schutzfaktor ~ 2) und seit 2015 liegen umfassende Erkenntnisse zu „Schutzkomponenten bei solarer UV-Exposition“ (Knuschke et al. 2015) aus dem Forschungsprojekt F 2036 vor. **Abb. 3.1** fasst die genannten Forschungsaktivitäten graphisch zusammen.

¹³ www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2039.html

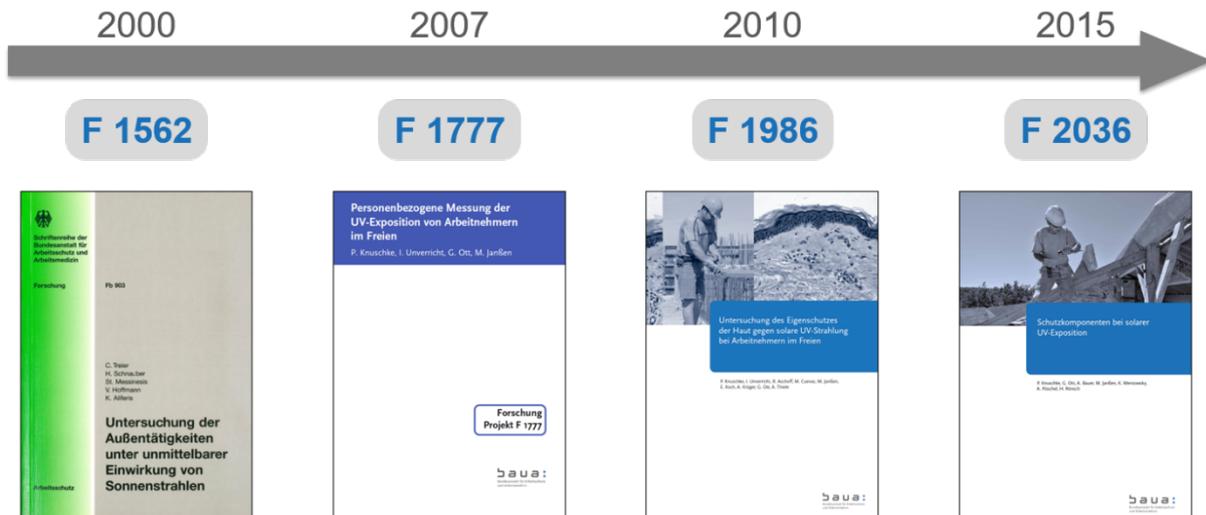


Abb. 3.1 Zurückliegende ausgewählte Forschungsergebnisse der BAuA zum Thema „Schutz vor solarer UV-Strahlung“.

Eine Auswertung der 2018 durchgeführten BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung hinsichtlich der UV-Belastung von im Freien beschäftigten Personen- und Berufsgruppen sowie zur Durchführung regelmäßiger Unterweisungen für Beschäftigte zu den Gefährdungen durch solare UV-Strahlung enthält das BAuA-Faktenblatt „Arbeiten im Freien – Beschäftigte vor UV-Strahlung schützen“ (Hünefeld and Hünefeld 2019). Von den überwiegend im Freien Beschäftigten wird lediglich etwa ein Drittel (39 %) regelmäßig über Gefährdungen durch Sonnenstrahlung unterwiesen.

Belastung durch Biostoffe

Infektionskrankheiten werden durch Bakterien, Viren, Parasiten und Pilze ausgelöst, die im Zusammenhang mit Gefährdungen am Arbeitsplatz als Biologische Arbeitsstoffe oder Biostoffe bezeichnet werden. Mit Hilfe von *omics*- und *in-vitro*-Methoden werden Biostoffe an der BAuA in verschiedenen Projekten charakterisiert, deren Forschungsergebnisse für die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Biostoffen genutzt werden. In verschiedenen Projekten widmet sich die BAuA der Entwicklung und Anwendung neuer Methoden für die Messung luftgetragener Bakterien am Arbeitsplatz. Hierbei werden z. B. Arbeitsplätze in der Land- und Forstwirtschaft (Intensivtierhaltung untersucht und Analysen zur Zusammensetzung der Expositionen der Beschäftigten gegenüber Bioaerosolen am Arbeitsplatz gemacht. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass „Omics basierte“ molekularbiologische, und biochemische und *in-vitro* Methoden in der Bioaerosolanalytik geeignet sind die Expositionen sowohl qualitativ als auch quantitativ zu erfassen. Abgeleitet aus den Ergebnissen und in Verbindung mit den Risikogruppen der erfassten Mikroorganismen lassen sich erste Schritte zur besseren Abschätzungen des Gefährdungspotentials für Beschäftigte aber auch der Umwelt machen bzw. erforderliche Schutzmaßnahmen erstellen. *In-vitro*-Methoden bieten durch die Bestimmung von Zytotoxizitäten, Entzündungsparametern, der Genotoxizität eine Unterstützung der abgeleiteten Gefährdungspotentiale z. B. luftgetragener Bakterien am Arbeitsplatz. Die angewendeten Methoden sind geeignet, um Untersuchungen sowohl auf veränderte Infektionsgefährdungen als auch im Zusammenhang mit toxischen und sensibilisierenden Expositionen im beruflichen Kontext durchzuführen, einschließlich klimawandelbedingten Änderungen.

3.3 Expertinnen- und Expertengesprächsreihe

Zur Erfassung des aktuellen Sachstandes sowie von Forschungs- und Regelungsbedarfen im Themengebiet „Arbeitsschutz und Klimawandel“ initiierte die BAuA eine Expertinnen- und Expertengesprächsreihe. Dafür wurden drei Themen ausgewählt:

- 14.12.2022 Hitzebelastung durch überwärmte Gebäude in der warmen Jahreszeit
- 02.02.2022 Solare UV-Belastung bei Arbeit im Freien
- 24.02.2022 Gefahren sich ausbreitender Krankheitserreger (Vektorgrößen)

Diese Online-Veranstaltungen waren jeweils mit drei Leitfragen und dazu einführenden Impulsvorträgen strukturiert. Nach einer Begrüßung gab jeweils ein Vertreter der BAuA eine kurze allgemeine Einführung in das jeweilige Thema. Nach den fachlich einführenden Impulsvorträgen folgten die Diskussionen zu den drei Leitfragen. Abschließend wurden eine kurze Zusammenfassung und ein Ausblick gegeben. Die Ergebnisse aus den Expertinnen- und Expertengesprächen wurden zur Erstellung dieses Berichts verwendet.

Leitfragen

1. Forschungsbedarf – Fehlen evidente Erkenntnisse zu den Wirkungen auf den Menschen und geeignete Bewertungsmaßstäbe?
2. Wirksamkeit von Maßnahmen – Wie müssen die Maßnahmen des Arbeitsschutzes weiterentwickelt werden oder reichen die etablierten Maßnahmen auch perspektivisch aus?
3. Regelsetzung des Arbeitsschutzes – Inwiefern besteht ein Bedarf für Anpassungen und/oder Ergänzungen?

3.3.1 Hitzebelastung durch überwärmte Gebäude

Der Fokus des ersten Expertinnen- und Expertengesprächs lag auf der jahreszeitlich bedingten Hitzebelastung in Räumen von Arbeitsstätten und fand per Online-Konferenz am 14.12.2021 von 10:00 – 13:00 Uhr statt. Es waren insgesamt 27 Vertreter/innen von Forschungseinrichtungen, Universitäten, Unfallversicherungsträgern, Länderbehörden und Bundesressorts anwesend. Zudem waren 10 BAuA-Mitarbeiter/innen beteiligt. Die Diskussion zu den drei Leitfragen erfolgte jeweils auf Basis der folgenden Impulsvorträge:

1. Wirkung der Hitzebelastung auf Menschen – physiologische Wirkungen und Gefährdungen, Herr Prof. Kampmann (Bergische Universität Wuppertal)
2. Maßnahmen des Arbeitsschutzes für jahreszeitlich überhitzte Arbeitsstätten, Frau Dr. Peters (DGUV IFA St. Augustin)
3. Rechtliche Regelungen des Arbeitsschutzes bei sommerlicher Hitzebelastung von Arbeitsstätten, Herr Dr. Bux (BAuA, FG2.4)

Der Verlauf der intensiven Diskussionen und des Austauschs im Chat sowie die zusammenfassenden Thesen wurden in einem Protokoll dargestellt, das zusammen mit den gezeigten Präsentationen allen Teilnehmenden im Nachgang zur Verfügung gestellt wurde. Die Zusammenfassung der Diskussionen zu den drei Leitfragen bzgl. Forschungsbedarf, Wirksamkeit von Maßnahmen und Regelsetzung brachte wesentliche

Erkenntnisse und Impulse im Themenbereich Arbeitsschutz und Klimawandel hinsichtlich von Aspekten der Hitze- und Solarstrahlungsbelastung für Gebäude unter sommerlichen Bedingungen, insbesondere im Bereich innerstädtischer Hitzeinseln. Daraus sollen konkrete Ansätze zur Vermeidung bzw. Kompensation negativer Auswirkungen auf die Arbeitsumgebungsbedingungen abgeleitet werden, insbesondere durch:

1. Fokussierung der Forschung auf unterschiedliche Gruppen von Beschäftigten der heutigen Arbeitswelt, geistige und kognitive Leistungsfähigkeit sowie instationäre klimatische Bedingungen, Möglichkeiten der Akklimatisation und Langzeitwirkungen bei der Überhitzung von Innenräumen
2. Primäre Anwendung baulicher Maßnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes (inkl. äußerer Verschattung/Blendschutz), energieeffiziente/regenerative Kühltechniken und geeignete städtebauliche Maßnahmen (wie Begrünung von Fassaden und Freiflächen)
3. Weiterentwicklung der Arbeitsstättenverordnung von der Vorgabe „gesundheitlich zuträglicher Raumtemperaturen“ hin zur ganzheitlichen Anforderung an ein „gesundheitlich zuträgliches Raumklima“

3.3.2 Solare UV-Belastung bei der Arbeit im Freien

Am 02. Februar 2022 fand die zweite Online-Veranstaltung im Rahmen der Expertinnen- und Expertengesprächsreihe statt. Thematischer Schwerpunkt war die „Solare UV-Belastung bei Arbeit im Freien“. In Anlehnung an das erste Gespräch wurden nach einer kurzen Begrüßung die in Abschnitt 3.3 aufgeführten Leitfragen durch Impulsvorträge eingeführt und anschließend in jeweils ca. halbstündigen Diskussionen von den 41 Teilnehmenden vertieft. Ein abschließendes Resümee beendete die dreistündige Veranstaltung. Im Folgenden werden wesentliche Ergebnisse zusammengefasst.

Bei der Diskussion der ersten Leitfrage zum Forschungsbedarf wurde u. a. auf eine veränderte UV-Belastung im Frühjahr verwiesen. Durch Auflösung des Polarwirbels treten in der nördlichen Hemisphäre und damit auch in Deutschland sogenannte Niedrigozon-Ereignisse auf, die mit kurzzeitig stark erhöhten UV-Bestrahlungsstärken einhergehen. Klimawandelbedingt nehmen diese umgangssprachlich auch als „Mini-Ozonlöcher“ bezeichneten Ereignisse über Europa zu. Zusätzlich hat sich die Bewölkungssituation in Deutschland in Richtung zunehmender Sonnenscheindauer geändert. Darüber hinaus kann durch die global steigenden mittleren Oberflächentemperaturen auch von einer verhaltensbedingten Zunahme der UV-Exposition ausgegangen werden, da nach einem langen, kalten und dunklen Winter die als angenehm empfundenen Frühjahrstemperaturen zum Aufenthalt im Freien anregen. Der Trend zur mobilen Arbeit, insbesondere zur Heimarbeit auf der Terrasse, dem Balkon, im Park etc., kann die bereits hohe Anzahl von Beschäftigten im Freien und damit die potentiell gefährdeten Berufsgruppen weiter erhöhen. Insgesamt wird zum Thema „Frühjahrsexposition“ von den Teilnehmenden dringender Handlungsbedarf gesehen.

Die besondere Bedeutung der Präventionsarbeit wurde im Anschluss an den zweiten Impulsvortrag zur perspektivischen Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen intensiv besprochen. Alle Diskutierenden sahen die Notwendigkeit einer großangelegten nationalen Präventionskampagne. Hierbei ist rechtzeitig vor dem Frühjahr auf eine mögliche erhöhte Gefährdung durch solare UV-Strahlung hinzuweisen. Insbesondere

Jugendliche z. B. in der Schul- oder Berufsausbildung und Berufsanfänger müssen verstärkt über die Risiken solarer UV-Strahlung aufgeklärt werden, um langfristig die Hautkrebsinzidenz zu senken. In diesem Zusammenhang wurde auch die Einführung einer Pflichtvorsorge, die es für künstliche UV-Strahlung bereits gibt, kontrovers diskutiert.

Die im dritten Impulsvortrag dargestellten Regelungsdefizite und -bedarfe wurden vor allem im Hinblick auf die Erarbeitung eines Expositionsgrenzwertes (EGW) für solare UV-Strahlung an Außenarbeitsplätzen diskutiert. Ein EGW wie z. B. die von der *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) vorgeschlagene Obergrenze von 1 – 1,3 Standarderythemdosen (SED) erscheint wenig praktikabel, da dieser Wert in den Wintermonaten immer eingehalten, in den Sommermonaten hingegen im Minutenbereich überschritten werden kann. Eine Lösung hierfür könnten saisonale (zenitwinkelabhängige) EGW sein. Weiterhin wird diskutiert, ob die Orientierung unterschiedlicher exponierter Hautareale zur Sonne berücksichtigt werden muss, was die Komplexität eines EGW deutlich erhöhen würde. Es wird darauf hingewiesen, dass der EGW für künstliche UV-Strahlung auch richtungsunabhängig ist. Abschließend erfolgte das Angebot, die EGW-Diskussion im Rahmen einer Gesprächsrunde, organisiert von der *International Commission on Occupational Health* (ICOH), fortzuführen.

3.3.3 Gefahren sich ausbreitender Infektionskrankheiten

Der Fokus des dritten Expertinnen- und Expertengesprächs lag auf den Infektionsgefahren für Beschäftigte unter besonderer Berücksichtigung Vektor-übertragbarer Krankheiten, welches am 24.02.2022 als Online-Konferenz stattfand. An dem Gespräch nahmen 27 Vertreter/innen von Forschungseinrichtungen, Universitäten, Unfallversicherungsträgern, Landesbehörden und Bundesressorts und 6 BAuA-Mitarbeiter/innen teil. In Anlehnung an die beiden anderen Expertengespräche wurden nach einer Begrüßung und einem Impulsvortrag zum Thema die Leitfragen eingeführt und mit den teilnehmenden Expertinnen und Experten ausführlich diskutiert. Der Diskussionsverlauf und Ergebnisse wurden in einem Protokoll zusammengefasst, das zusammen mit der Einleitung und Präsentation zum Thema allen Teilnehmern im Nachgang zur Verfügung gestellt wurde.

Aus dem Gespräch wurde deutlich, dass die Ausbreitung von Infektionskrankheiten in Deutschland von vielen Faktoren abhängig ist und nicht nur im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu sehen ist. Fakt ist aber, dass die Qualität des Infektionsgeschehens sich in den nächsten Jahren verändern wird, jedoch dessen Ausmaß derzeit nicht abschätzbar ist. Insbesondere wurde in diesem Zusammenhang auf das Fehlen von Experten im Bereich „Epidemiologie Arbeitsplatzbedingter Infektionserkrankungen“ hingewiesen. Genauso wurde festgestellt, dass es an einer mangelnden Ausbildung des Medizinischen Personals im Bereich der Erkennung und des Umgangs mit Infektionserkrankungen gibt. Weiterhin wurde diskutiert, dass der Erfassung von meldepflichtigen Infektionskrankheiten bisher keine Berufsanamnesen zu entnehmen sind. Eine Verankerung der Berufsanamnese bei der Erfassung von meldepflichtigen Infektionskrankheiten im Infektionsschutzgesetz ist daher sinnvoll und anzustreben. Zu den Schutzmaßnahmen wurde abgeleitet, dass die bestehenden Arbeitsschutzmaßnahmen im Technischen Regelwerk weiterhin konsequent anzuwenden, zu beobachten und durch neu auftretende Vektoren/Infektionserkrankungen zu ergänzen sind. Weiterhin wurden Vorschläge zum Forschungsbedarf wie z. B. das

Monitoring von Arbeitsplatzbedingenden Infektionsgeschehen durch Sachverständige im Bereich der Epidemiologie arbeitsplatzbedingter Infektionskrankheiten ohne Einschränkungen durch den Datenschutz, die Weiterentwicklung von Impfstoffen, der Einsatz und die Entwicklung von Repellentien und Bioziden sowie von bemusterter Schutzkleidung erarbeitet.

4 Aktivitäten der Unfallversicherungsträger

4.1 Informationen und Handlungshilfen

Die Unfallversicherungsträger (UVT) verfügen, insbesondere für Arbeiten im Freien, z. B. auf Baustellen oder in der Garten-, Land- und Forstwirtschaft, über relevante Regelungen, branchebezogene Handlungshilfen und zusätzliche Informationen. Die **Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)** hat in ihrem online Journal „DGUV-Forum“ das Thema Klimawandel in der Ausgabe 07/2020¹⁴ als Schwerpunkt aufgegriffen. Beiträge erfolgten u. a. zu „Vegetationsbrandbekämpfung – Herausforderungen und Lösungen“, „Stürme und Extremniederschläge – Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit“ und zu „Arbeitssicherheit in klimabedingten Schadholzbeständen“. Zwei Artikel mit den Titeln „Hitze- und UV-Schutz bei der Arbeit im Freien“ und „Welchen Einfluss hat der Klimawandel auf die Beratung der SVLFG?“ verweisen deutlich auf die zunehmenden klimawandelbedingten Belastungen durch Hitze und solare UV-Strahlung.

Insbesondere Beschäftigte in der Bauwirtschaft sowie in Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau arbeiten viel im Freien und sind den sommerlich hohen Temperaturen sowie solarer UV-Strahlung direkt ausgesetzt. Die **Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU)** vermittelt daher unter der Rubrik „Sonne und Hitze: Mit diesen Maßnahmen verhindern Sie hitzebedingte Erkrankungen am Arbeitsplatz“¹⁵ zahlreiche praxisbezogene Informationen in Bezug auf die Auswirkung von Hitze. In der Rubrik „Die sonnige Jahreszeit ist da: Jetzt vor UV-Strahlung schützen!“¹⁶ wird auf den Schutz vor solarer UV-Strahlung eingegangen. Hier wird festgestellt, dass schon mit einfachen Maßnahmen ein wirksamer Schutz möglich ist.

Die **Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG)** bietet eine Info-Box zum Hitze- und Sonnenschutz am Arbeitsplatz mit umfangreichen Informations- und Unterweisungsmaterialien an: „Lass Dich nicht verbrennen – Ihre Info-Box zum Hitze- und Sonnenschutz“¹⁷. Die SVLFG stellt klar, dass eine hohe Belastung durch Hitze und solare UV-Strahlung zu einem ernstzunehmenden Gesundheitsrisiko werden kann, was vor allem für Berufsgruppen der „grünen Branche“ zutrifft, die täglich draußen arbeiten müssen. Die SVLFG stellt darüber hinaus die DGUV Information 203-085 „Arbeiten unter der Sonne – Handlungshilfe für Unternehmerinnen und Unternehmer“ zur Verfügung.

Die **Berufsgenossenschaft Energie, Textil, Elektro, Medienerzeugnisse (BG ETEM)** bietet auf ihrer Homepage das „Fachkompetenzcenter Strahlenschutz“¹⁸ an, welches sich u. a. mit den Gefahren optischer Strahlung, darunter auch denen von Sonnenstrahlung beschäftigt, und ihre Mitgliedsbetriebe beratend unterstützt. Das Sachgebiet „Nichtionisierende Strahlung“ ist mit verschiedenen Themenfeldern

¹⁴ forum.dguv.de/ausgabe/7-2020

¹⁵ www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/sonne-und-hitze/sonne-und-hitze-mit-diesen-massnahmen-verhindern-sie-hitzebedingte-erkrankungen-am-arbeitsplatz/

¹⁶ www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/uv-schutz/

¹⁷ www.svlfg.de/infobox-hitze-sonnenschutz

¹⁸ www.bgetem.de/arbeitssicherheit-gesundheitsschutz/fachgebiete-ansprechpersonen/fg-strahlenschutz/fachgebiet-strahlenschutz-aufgaben

einschließlich solarer UV-Strahlung beauftragt¹⁹. Spezifische Informationen mit Bezug zum Klimawandel wurden nicht gefunden.

Die **Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation (BG Verkehr)** gibt Informationen zum Umgang mit Hitze für Zusteller, Vertriebsmitarbeiter, mobile Servicekräfte sowie speziell zum Klima in Fahrzeugen²⁰. Der Klimawandel wird dabei nicht direkt thematisiert.

Die **GESTIS-Biostoffdatenbank**²¹ ist eine internetbasierte Datenbank der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung zu Biostoffen. Die GESTIS-Biostoffdatenbank liefert frei zugängliche, kostenlose Informationen zum sicheren Umgang mit Biostoffen am Arbeitsplatz, zu den erforderlichen Schutzmaßnahmen und zu Maßnahmen im Gefahrenfall. Dort hinterlegt sind Biostoffdatenblätter mit Grundinformationen, Biostoffdatenblätter mit erweiterten Informationen und Tätigkeitsdatenblätter. Die Biostoffdatenblätter enthalten Informationen zu den Risikogruppenzuordnungen, Schutzmaßnahmen und auch erweiterte Informationen zu den Biostoffen wie Vorkommen, Übertragungswege, Krankheiten usw. Die Tätigkeitsdatenblätter enthalten Informationen zu bei diesen Tätigkeiten möglicherweise auftretenden Biostoffen, ihre Übertragungswege und die möglichen Gefährdungen, Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie Vorschriften und weiterführende Links.

Die **SVLFG und DGUV** bieten Informationen zum Zeckenschutz am Arbeitsplatz mit umfangreichen Informations- und Unterweisungsmaterialien an²². Hier finden sich Informationen über die beiden Krankheiten Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) und Borreliose, deren Erreger durch Zecken übertragen werden können. Außerdem enthalten sind empfohlene Schutzmaßnahmen, Musterbetriebsanweisungen zur FSME und Borrelien, sowie Fachartikel und ein Link zum Infoportal „Zecken“.

4.2 Berufskrankheiten

4.2.1 Solare UV-Strahlung – Plattenepithelkarzinome (SCC) und aktinische Keratosen der Haut

In seiner wissenschaftlichen Begründung erkennt der Ärztliche Sachverständigenbeirat „Berufskrankheiten“ des BMAS die Karzinogenität solarer UV-Strahlung im Hinblick auf die SCC-Entstehung als „zweifelsfrei“ an (Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) 2013). In Folge dessen werden seit 01.01.2015 „Plattenepithelkarzinome und multiple aktinische Keratosen der Haut durch natürliche UV-Strahlung“ als BK 5103 in Anlage 1 der BKV aufgeführt. Statistiken der DGUV belegen, dass seitdem, mit Ausnahme von 2015 (ca. 1500 Fälle), jährlich um die 4000 neue Fälle anerkannt werden (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) 2020). Damit ist die BK 5103 nach der BK 2301 „Lärmschwerhörigkeit“ die am zweithäufigsten anerkannte Berufskrankheit.

¹⁹ www.dguv.de/fb-etem/sachgebiete/nichtionisierend/index.jsp

²⁰ www.bg-verkehr.de/medien/medienkatalog/infoblaetter/faktenblatt-aussendienst-unterwegs-bei-hitze und www.bg-verkehr.de/arbeitsicherheit-gesundheit/branchen/gueterkraftverkehr/gesundheits/klima-im-fahrzeug

²¹ publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/2894
biostoffe.dguv.de/

²² www.svlfg.de/zeckenschutz und www.zecken.de/de, publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/2908

Für das SCC liegt im Bereich typischer beruflicher UV-Exposition eine exponentielle Dosis-Risiko-Beziehung vor, d. h. eine Verdopplung der kumulativen (Lebenszeit-) Dosis führt zu einem mehr als zweifachen Erkrankungsrisiko (Schmitt et al. 2018). In Anbetracht klimawandelbedingter Veränderungen der beruflichen solaren UV-Exposition – Niedrigozon-Ereignisse, erhöhte Sonnenscheindauer, verhaltensbedingte Expositionszunahme – kann die kumulative UV-Dosis und damit das berufliche SCC-Risiko steigen.

4.2.2 Infektionskrankheiten

Fakt ist, dass der Klimawandel die Verbreitung eingeschleppter Vektoren und Etablierung von tropischen Vektoren und die Vergrößerung der Risikogebiete bei bereits etablierten Krankheiten begünstigen wird. Bei regional autochthon übertragenen tropischen Krankheiten ist mit einer Zunahme zu rechnen. Unter BK-Nr. 3101 und 3102 werden Berufskrankheiten zusammengefasst, die von Menschen auf Menschen (Gesundheitsdienst/Wohlfahrtspflege/Laboratorien) und von Tieren auf Menschen übertragen werden. Zur BK-Nr. 3102 zählen auch Borreliose und FSME, die von Zecken übertragen werden und Hantavirus-Erkrankungen, die von Rötelmäusen ausgehen. Unter der BK-Nr. 3104 werden tropenassoziierte Berufskrankheiten zusammengefasst, die durch den Klimawandel immer mehr Bedeutung für expositionsgefährdete Berufe in Deutschland erlangen könnten. Die Krankheiten sind in den Merkblättern nach Erregergruppen geordnet und tabellarisch kurz charakterisiert (Erreger, Vorkommen, Inkubationszeit, Reservoir, Übertragungsweg, Krankheitsbild). Sowohl die Merkblätter als auch die wissenschaftlichen Begründungen werden im Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI) veröffentlicht (Tabelle 4.1).

Tab. 4.1 Berufskrankheiten in Verbindung mit Infektionskrankheiten und Tropenkrankheiten.

Nr.	Krankheit	Merkblatt/ wiss. Begründung	Bekannt- machung*)
3101	Infektionskrankheiten, wenn der Versicherte im Gesundheitsdienst, in der Wohlfahrtspflege oder in einem Laboratorium tätig oder durch eine andere Tätigkeit der Infektionsgefahr in ähnlichem Maße besonders ausgesetzt war	Merkblatt-3101 ²³	12/2000
3102	von Tieren auf Menschen übertragbare Krankheiten	Merkblatt-102 ²⁴	9/2003
3104	Tropenkrankheiten, Fleckfieber	Merkblatt-104 ²⁵	5/2005

*) Datum der Bekanntmachung durch das zuständige Bundesministerium

²³ www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Berufskrankheiten/pdf/Merkblatt-3101.pdf?__blob=publicationFile&v=3

²⁴ www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Berufskrankheiten/pdf/Merkblatt-3102.pdf?__blob=publicationFile&v=3

²⁵ www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Berufskrankheiten/pdf/Merkblatt-3104.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Tab. 4.2 Anerkannte Fälle zu den durch Infektionserreger oder Parasiten verursachte Krankheiten sowie Tropenkrankheiten von 2017 bis 2020²⁶

BK-Nr.	Krankheiten	Anerkannte Berufskrankheiten			
		2020	2019	2018	2017
3101	Infektionskrankheiten, wenn der Versicherte im Gesundheitsdienst, in der Wohlfahrtspflege oder in einem Laboratorium tätig oder durch eine andere Tätigkeit der Infektionsgefahr in ähnlichem Maß ebenso ausgesetzt war	18.959	782	1093	983
3102	von Tieren auf Menschen übertragbare Krankheiten	364	371	464	423
3104	Tropenkrankheiten, Fleckfieber	159	222	163	128
	Gesamt	19.482	1.375	1.720	1.534

Anmerkung: Das Berufskrankheitsgeschehen ist im Berichtsjahr 2020 durch die COVID-19-Pandemie beeinflusst.

²⁶ Quelle: Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit- Berichtsjahre 2017–2020, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

5 Nationale Akteure

Bereits seit längerer Zeit erfolgen auf nationaler Ebene verschiedene Aktivitäten im Kontext des Klimawandels mit dem Ziel, die unterschiedlichen betroffenen Bereiche und die relevanten Klimawirkungen zu erfassen. Arbeitsschutzaspekte sind dort z. T. mit einbezogen. Nachfolgend werden Akteure auf Bundesebene benannt, bei deren Aktivitäten die BAuA bereits mitwirkt oder auf sie bzw. auf die Regelsetzung des Arbeitsschutzes verwiesen wird.

5.1 Umweltbundesamt

Auf der Webseite „Klimawandel und Gesundheit“²⁷ werden vom UBA Kernfragen zum Klimawandel aufgegriffen:

- Welche direkten und indirekten Auswirkungen kann der Wandel des Klimas auf die menschliche Gesundheit haben?
- Wer kann besonders betroffen sein?
- Welche Maßnahmen sollten bei Extremwetterereignissen wie Hitzeperioden getroffen werden?

Dort werden die verschiedenen Klimawirkungen dargestellt, einschließlich der in Tabelle 2.1 genannten. Zentral wird klargestellt, dass der Klimawandel sich deutlich auf die menschliche Gesundheit auswirken wird und neben den körperlichen Folgen, z. B. durch Extremwetterereignisse, auch die psychische Gesundheit direkt oder indirekt betroffen sein kann.

5.1.1 Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel

Im „**Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)**“²⁸ der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung (IMA-A) werden die Öffentlichkeit sowie Entscheidungsträgerinnen und -träger in allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens über die beobachteten Folgen des Klimawandels informiert. Inhalte zum Schutz vor solarer UV-Strahlung werden nicht explizit aufgeführt. Im Cluster „Industrie und Gewerbe“ wird im Abschnitt „Geringere Leistungsfähigkeit bei Sommerhitze“ auf die Belange des Arbeitsschutzes eingegangen. Neben den in Arbeitsstättenregeln formulierten verschiedenen Vorgaben, um die Gesundheit und damit auch die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten in Gebäuden zu erhalten, wird auch auf notwendige Maßnahmen bei Arbeiten im Freien eingegangen. Dort wird der „Monitoringbericht 2015 zur DAS“ fortgeschrieben. Bei der Erstellung dieses Abschnitts war auch die BAuA beteiligt.

²⁷ www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/klimawandel-gesundheit#direkte-und-indirekte-auswirkungen-des-klimawandels-auf-die-gesundheit
www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel

²⁸ www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht_2015_zur_deutschen_anpassungsstrategie_an_den_klimawandel.pdf

5.1.2 Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland

Unter Federführung des UBA wurde die „**Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – KWRA 2021**“²⁹ (Kahlenborn, Porst, Voß, Fritsch, Renner and Zebisch 2021) unter Einbindung von Expertinnen und Experten eines Netzwerkes aus allen Bundesressorts und von 28 Bundesoberbehörden und -institutionen, die im Behördennetzwerk „Klimawandel und Anpassung“ zusammenarbeiten, auf Grundlage einer Delphi Studie erstellt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse³⁰ zeigt die wesentlichen Risiken des Klimawandels mit den größten Gefahren und mögliche Handlungsoptionen. Eine Broschüre³¹ enthält die wichtigsten Ergebnisse der KWRA 2021, welche um die Schlussfolgerungen der IMA-A ergänzt wurden.

Es wurden über 100 Wirkungen des Klimawandels und deren Wechselwirkungen untersucht. Leitfragen waren, wie sich der Klimawandel künftig auf Natur, Lebensgrundlagen, Gesundheit und Wirtschaft auswirkt sowie wo und wie durch Anpassung die Klimarisiken verringert werden können. Die BAuA war in Bezug auf die Faktoren „Hitze“ und „solare UV-Strahlung“ einbezogen. Im Teilbericht 5³² wurden Risiken und Anpassungen in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit betrachtet, speziell das Handlungsfeld Industrie und Gewerbe. Aufgrund der hohen Heterogenität der Industrie und des Gewerbes und der verschiedenen untersuchten Klimawirkungen ergibt sich ein sehr breites Feld möglicher Anpassungsmöglichkeiten. Insbesondere Anpassungen durch den Bund im Rahmen staatlichen Handelns sollen betrachtet werden. Speziell wird festgestellt, dass eine Anpassung an die zunehmende Belastung durch Hitze und solare UV-Strahlung durch Ergänzungen der Regelungen zum Arbeitsschutz und durch die Bereitstellung zielgruppenspezifischer Informationsmaterialien zum Teil vollzogen werden kann.

5.1.3 Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung

Im Auftrag der Bundesregierung zum Fortschrittsbericht der DAS wird gemeinsam mit dem „**Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass)**“³³ eine aktualisierte, handlungsfeldübergreifende **Vulnerabilitätsanalyse** durchgeführt. Ziel ist es, ein Gesamtbild der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel basierend auf dem aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstand und einer weiterentwickelten Methode zu erarbeiten.

²⁹ www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_26-2021_kwra2021_kurzfassung.pdf

³⁰ www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/risiken-anpassungspotential#das-wichtigste-in-kurze-was-zeigen-die-ergebnisse-der-klimawirkungs-und-risikoanalyse-2021

³¹ www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-risiken-des-klimawandels-fuer-deutschland

³² www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-6-Integrierte-Auswertung
www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimarisiken-wirkungsanalyse-1928396
www.adelphi.de/de/publikation/klimawirkungs-und-risikoanalyse-2021-f%C3%BCr-deutschland

³³ www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/kompetenzzentrum-kompass-0 und www.umweltbundesamt.de/vulnerabilitaetsanalyse-2021

5.2 Klimavorsorgedienst der Bundesregierung

Der Klimavorsorgedienst der Bundesregierung hat eine Webseite „Deutsches Klimavorsorgeportal – KLiVO-Portal“³⁴ eingerichtet. Hier werden Daten und Informationen zum Klimawandel gebündelt sowie Dienste zur zielgerichteten Anpassung an die Klimafolgen aufgeführt sowie zielgruppengenau und kostenlos zur Verfügung gestellt, z. B. Leitfäden, Webtools, Karten oder Qualifizierungsangebote. Damit werden Bund, Länder, Landkreise, Kommunen, Wirtschaft, Verbände sowie Bürgerinnen und Bürger bei der Anpassung an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels unterstützt. Hier wird bereits auf die Webseite der BAuA verwiesen (ASR A3.5, Empfehlungen für Sommertage).³⁵

5.3 Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit

Die „Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit (KLUG)“³⁶ wurde im Oktober 2017 als Netzwerk von Einzelpersonen, Organisationen und Verbänden aus dem gesamten Gesundheitsbereich gegründet. Ziel ist es, deutlich zu machen, welche weitreichenden Folgen der Klimawandel auf die Gesundheit des Menschen hat. Dabei wird differenziert auf Hitze und ihre Folgen, Zunahme von Infektionskrankheiten, Wasser- und Nahrungsmittelunsicherheit, häufigere Atemwegserkrankungen, psychische Gesundheit und Kindergesundheit eingegangen.

Die Gesundheitsberufe im gesamten Gesundheitssystem sollen dabei Akteure für die notwendige gesamtgesellschaftliche Transformation sein. Koordiniert von KLUG wurde z. B. eine Pressemitteilung herausgegeben zum „Lancet Countdown Policy Brief für Deutschland Oktober 2021“³⁷. Demnach ist Deutschland nur unzureichend für die gesundheitlichen Herausforderungen des Klimawandels gerüstet. Trotz eines wachsenden Bewusstseins der politisch Verantwortlichen für den Ernst der Lage stehen konkrete Maßnahmen zur Vermeidung klimawandelbedingter Gesundheitsrisiken und zur Bekämpfung des Klimawandels aus. Der Brief umfasst alle gesellschaftlichen Bereiche und zielt insbesondere auf die Belange vulnerabler Gruppen (z. B. Ältere, Pflegebedürftige, Menschen mit Vorerkrankungen etc.). Speziell wird zudem empfohlen, den gesundheitsbezogenen Hitzeschutz in Bau- sowie in Arbeitsschutzgesetzen entsprechend zu berücksichtigen. Im Rahmen eines Online-Treffens am 13.07.2021 „Hitze in der Arbeitswelt und arbeitsbezogene Forschung“ war die BAuA durch Vermittlung über die „Hans-Böckler-Stiftung Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliches Institut“ hierbei involviert.

³⁴ www.klivoportal.de/DE/Home/home_node.html

³⁵ www.klivoportal.de/SharedDocs/Steckbriefe/DE/ASRA35/ASRA35_steckbrief.html
www.klivoportal.de/SharedDocs/Steckbriefe/DE/Empfehlung_Sommertage/Empfehlung_Sommertage_steckbrief.html

³⁶ www.klimawandel-gesundheit.de/ueber-uns/

³⁷ www.klimawandel-gesundheit.de/lancet-countdown-policy-brief-fuer-deutschland-2021/

5.4 Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)³⁸ im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Referat WB 7 – Energieoptimiertes Bauen, wurde die BAuA angefragt, im Rahmen des Forschungsprojekts „Sommerlicher thermischer Komfort“ zur Überarbeitung der „Richtlinie zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer“ (Klimarichtlinie)³⁹ in einer Expertengruppe „Vorschläge für die Neuformulierung der Klimarichtlinie“ mitzuwirken. Von der BAuA werden Aussagen zu zulässigen Temperaturen und zulässigen Technischen Maßnahmen erwartet. Ein Workshop mit allen Experten und Expertinnen findet dazu am 17. Mai 2022 am BBR in Berlin statt. Im Oktober 2022 soll der Endbericht vorliegen.

5.5 Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung

Die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA)⁴⁰ befasst sich auch mit den Folgen des Klimawandels. Unter der Überschrift „Das Klima ändert sich – so schützen Sie Ihre Gesundheit“ werden praxisbezogene Informationen insbesondere für die Allgemeinbevölkerung gegeben, wobei spezielle Rubriken für vulnerable Gruppen (Ältere und Kinder) eingerichtet sind. Bisher fehlen noch Hinweise für die Arbeitswelt. Mit der Anfrage an die Präsidentin der BAuA soll eine Verlinkung auf die BAuA-Webseite eingerichtet werden. Zudem werden derzeit Empfehlungen zu Hitze und Hitzeschutz für die Zielgruppe Beschäftigte sowie für die Lebenswelt Betrieb erstellt. Die BAuA ist dabei einbezogen, insbesondere bzgl. Rechtsgrundlagen sowie Risiken durch Hitze und solare UV-Strahlung.

5.6 Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin

Die Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM) hat federführend die „**AWMF-S2k-Leitlinie Arbeiten unter klimatischen Belastungen**“ aktualisiert (Veröffentlichung soll im 1. Quartal 2022 erfolgen). An der Leitlinie sind zudem die Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA), die Deutsche Physiologische Gesellschaft (DPG) und der Verband für Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz bei der Arbeit (VDSI) beteiligt, die BAuA (FG 2.4, Bux) ist Mitautorin. In Bezug auf den Klimawandel wurde festgestellt, dass dieser nicht nur mit langfristig höheren Wärmebelastungen verbunden ist, sondern schnell wechselnde Wetterlagen auch zu kurzfristigen Hitzewellen führen. Diese stellen eine besondere Herausforderung an die physiologische Kompensationsfähigkeit des Organismus dar, da für eine ausreichende Akklimatisation mindestens 7 Tage nötig sind. Davon sind alle Beschäftigten mit ihren unterschiedlichen individuellen Faktoren (insbesondere Trainingszustand, chronische und akute Erkrankungen, Medikationen, Alter, Geschlecht) betroffen. Die S2k-Leitlinie leitet hierfür einen Forschungsbedarf ab.

³⁸ www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/startseite/_node.html

³⁹ www.alware.de/component/rsfiles/preview?path=Veroeffentlichungen%252F081217_Klimaerlass_BMVBS.pdf

⁴⁰ www.klima-mensch-gesundheit.de

5.7 Deutsches Institut für Normung

Bisher ist der Klimawandel noch nicht umfassend in Normen verankert. In der **DIN-Koordinierungsstelle Umweltschutz**⁴¹ wurde aber das Thema bereits aufgegriffen, wobei zum Arbeitsschutz mit Bezug zum Klimawandel noch keine direkten Aktivitäten bestehen. Bzgl. Hitzebelastung in Gebäuden wird bereits an einer DIN SPEC 35220 Beiblatt 1:2018-08 „Anpassung an den Klimawandel, Beiblatt 1: Sommerlicher Wärmeschutz von Gebäuden“ gearbeitet. Anfang 2022 fand zu diesem Thema eine virtuelle CEN-CENELEC-Konferenz statt – „Embedding Adaptation to Climate Change in Standards – Approaches, Challenges and Enablers“⁴². Die Konferenz richtete sich an interessierte Kreise, insbesondere aus dem Infrastruktorsektor (Bau, Energie, Verkehr, IKT), sowie an Expertinnen und Experten für Klimaanpassung und Klimawissenschaft. Auf der Konferenz wurden praktische Erkenntnisse und Erfahrungen darüber ausgetauscht, wie die Technischen Komitees die Herausforderungen der Anpassung an den Klimawandel in ihren Normen angegangen haben und wie Erfahrungen im Hinblick auf die erforderlichen Maßnahmen in der nationalen Normung sind. Ziel ist es, den Verfassern von Normen Unterstützung anzubieten, um die Anpassung an den Klimawandel zu berücksichtigen und den sektorübergreifenden Erfahrungsaustausch zu fördern, um zu klimaresistenten Normen in ganz Europa beizutragen.

5.7.1 NA 023-00-05 GA Ergonomie der physikalischen Umgebung

Der NA 023-00-05 GA Gemeinschaftsarbeitsausschuss NAErg/NAM – Ergonomie der physikalischen Umgebung (ErgPhysU) befasst sich im Rahmen der Normung u. a. mit dem Umgebungsklima und mit der analytischen Bestimmung der Wärme- bzw. Hitzebelastung. Tabelle 5.1 zeigt eine Übersicht von im Kontext von Klimawandel und Hitzebelastung relevanten Normen. Sie bilden die Grundlage für eine einheitliche und evidente Ermittlung, Beurteilung und Bewertung einer möglichen Hitzebelastung sowie der Ableitung geeigneter Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten. Derzeit ist der Klimawandel noch nicht direkt Gegenstand der Normungsarbeit.

Tab. 5.1 Relevante Normen im Bereich der Wärmebelastung.

Normengegenstand	Normen
Wärmebelasteter Bereich	<ul style="list-style-type: none"> • DIN 33403-2 (2000-08): Einfluß des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen • DIN 33403-3 (2011-07): Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße • DIN EN ISO 7243 (2017-12): Ergonomie der thermischen Umgebung – Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (ISO 7243:2017) • DIN EN ISO 7933 (2021-12): Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung

⁴¹ www.din.de/de/din-und-seine-partner/din-e-v/organisation/koordinierungsstellen/koordinierungsstelle-umweltschutz/ku-fachbeirat-1/anpassung-an-den-klimawandel-334384

⁴² embedding-adaptation-to-climate-change.nen-evenementen.nl/

Normengegenstand	Normen
Behaglichkeitsbereich	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN ISO 7730 (2006-05): Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit
Ermittlung von Belastungsfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN ISO 7726 (2021-03): Instrumente zur Messung physikalischer Größen • DIN EN ISO 8996 (2020-11): Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes
Ermittlung von Beanspruchungsfaktoren	<ul style="list-style-type: none"> • DIN EN ISO 9886 (2004-05): Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen

5.7.2 Normung im Bereich solarer UV-Strahlung

Im Fachbereich „Optik“ des DIN-Normenausschusses „Feinmechanik und Optik“ (NAFuO) werden die Arbeiten des CEN/TC 85 „Augenschutzgeräte“ und des ISO-Komitees ISO/TC 94/SC 6 „Eye and Face Protection“ im Arbeitsausschuss NA 027-01-01 AA „Augenschutz“ gespiegelt. Aktivitäten des Arbeitsausschusses beziehen sich hauptsächlich auf Normen im Zusammenhang mit der EU-Richtlinie über persönliche Schutzausrüstungen. Hierzu gehören u. a. Sonnenbrillen.

Die beiden Normen zum textilen Schutz vor solarer UV-Strahlung, DIN EN 13758 Teil 1 und 2, werden im Arbeitsausschuss NA 062-05-46 AA „Schutz gegen UV-Strahlung mittels Textilien“ des Fachbereiches „Organische Stoffe II“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) bearbeitet.

Der Arbeitsausschuss NA 058-00-07 AA „Optische Strahlung“ ist Teil des DIN-Normenausschusses „Lichttechnik“ (FNL) und bearbeitet allgemein Normen mit Bezug zu optischer Strahlung. Dies beinhaltet wesentliche Aspekte der Erzeugung, Anwendung, Wirkung, Messung und des Schutzes vor optischer Strahlung. Ausgenommen sind die Wahrnehmung (Sehvorgang) und die melanopische Wirkung von Licht (nicht-visuelle Effekte). Im Hinblick auf solare UV-Strahlung werden z. B. Normen zu Sonnenschutzmitteln oder zur Arbeitsplatzbeurteilung bearbeitet. In **Tab. 5.2** ist ein Überblick relevanter Normen mit Bezug zu solarer UV-Strahlung aufgeführt.

Tab. 5.2 Exemplarische Auswahl nationaler Normen mit Bezug zu solarer UV-Strahlung

Norm	Titel
(E) DIN EN ISO 12311:2021-12	Persönliche Schutzausrüstung – Prüfverfahren für Sonnenbrillen und ähnlichen Augenschutz (ISO/DIS 12311:2021)
(E) DIN EN ISO 12312-1:2021-02	Augen- und Gesichtsschutz – Sonnenbrillen und ähnlicher Augenschutz – Teil 1: Sonnenbrillen für den allgemeinen Gebrauch (ISO/DIS 12312-1:2021)
DIN EN 13758-1:2007-03	Textilien – Schutzeigenschaften gegen ultraviolette Sonnenstrahlung – Teil 1: Prüfverfahren für Bekleidungstextilien (EN 13758-1:2001+A1:2006)
DIN EN 13758-2:2007-03	Textilien – Schutzeigenschaften gegen ultraviolette Sonnenstrahlung – Teil 2: Klassifizierung und Kennzeichnung von Bekleidung (EN 13758-2:2003+A1:2006)
DIN EN 14255-3:2017-02	Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 3: Von der Sonne emittierte UV-Strahlung (EN 14255-3:2008)
(E) DIN EN ISO 24442:2021	Kosmetik – Prüfverfahren für Sonnenschutzmittel – In-vivo-Bestimmung des UVA-Sonnenschutzes (ISO/DIS 24442:2021)
DIN EN ISO 24443:2022-03	Kosmetische Mittel – In-vitro-Bestimmung des UVA-Schutzes von Sonnenschutzmitteln (ISO 24443:2021)
DIN EN ISO 24444:2020	Kosmetische Mittel – Untersuchungsverfahren für Sonnenschutzmittel – In-vivo-Bestimmung des Sonnenschutzfaktors (SSF) (ISO 24444:2019)

5.7.3 Exemplarische Auswahl nationaler Normen mit Bezug zu Mikroorganismen und Vektoren

Der **DIN-Normenausschuss Persönliche Schutzausrüstung (NPS)** befasst sich mit der nationalen, europäischen und internationalen Normung auf dem Gebiet der persönlichen Schutzausrüstung für den Kopfschutz, den Gehörschutz, den Schutz gegen Absturz einschließlich Arbeitsgurte, den Fuß- und Beinschutz, den Bergbau und der Schutzkleidung einschließlich Hand- und Armschutz und Rettungswesten. Hierunter fällt z. B. die DIN EN ISO 374-5 „Schutzhandschuhe gegen gefährliche Chemikalien und Mikroorganismen – Teil 5: Terminologie und Leistungsanforderungen für Risiken durch Mikroorganismen und der Entwurf zur DIN EN 17487:2021-08-

Entwurf „Schutzkleidung – Mit Permethrin behandelte Schutzkleidungsstücke zum Schutz gegen Zeckenbisse“.

Das Arbeitsgebiet der **VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL)** – Normenausschuss umfasst auf dem Gebiet der Luftreinhaltung alle Fragestellungen u. a. zur Entstehung und Verhütung von Emissionen, zur Entsorgungs- und Reststoffproblematik, zur Wärmenutzung, zur Umweltmeteorologie, zur Wirkung von Immissionen, zur messtechnischen Erfassung von Emissionen und Immissionen sowie zur Technologie der Abgasreinigung und zur Staubtechnik, einschließlich Betrieb und Instandhaltung entsprechender Anlagen im Bereich des Umweltschutzes. Dabei werden insbesondere die Erfordernisse des anlagenbezogenen, medienübergreifenden, integrierten und ökologischen Umweltschutzes beachtet. Hierunter fällt z. B. auch die DIN EN ISO 16000-19 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 19: Probenahme-strategie für Schimmelpilze, welche unter anderem vom nationalen Arbeitsausschuss NA 134-03-07-03-01 AK dem Spiegelgremium zu CEN/TC 264/WG 28 Mikroorganismen in der Außenluft bearbeitet wird.

Der **DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)** ist zuständig für die Normung auf dem Gesamtgebiet des Wasserwesens und fördert die Verbreitung und Anwendung der Normen. Die Facharbeit wird in den Fachbereichen Umwelt (Abfall-, Boden-, Wasseruntersuchungen), Wasserbau, Abwassertechnik und im **DIN-DVGW-Gemeinschaftsfachbereich Trinkwasser** durchgeführt. Der NAW nimmt die Mitarbeit in der europäischen und internationalen Normung für diese Gebiete wahr. Hierunter fallen z. B. DIN EN Normen wie DIN 38411 – Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung/Mikrobiologische Verfahren (K); DIN EN 25667 – Wasserbeschaffenheit/Probenahme und die DIN 38402 – Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; ISO 11731 – Wasserbeschaffenheit – Zählung von Legionellen und DIN EN ISO 9308-1 bis 3 – Wasserbeschaffenheit-Nachweis und Zählung von Escherichia coli und coliforme Bakterien.

5.8 Strahlenschutzkommission

Die Strahlenschutzkommission (SSK) berät das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) in Angelegenheiten des Schutzes sowohl vor ionisierender als auch vor nicht-ionisierender Strahlung. Vom BMU berufene Expertinnen und Experten der BAuA arbeiten u. a. in nachfolgenden Ausschüssen der SSK mit.

Ausschuss SSK/A6 „Nichtionisierende Strahlen“

Dauerhafte Beratungsthemen dieses Ausschusses sind u. a. die Bewertung der Exposition, der gesundheitlichen Risiken und der Relevanz nicht-ionisierender Strahlung sowie aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse zu Risiken natürlicher UV-Strahlung einschließlich Fragen der Risikokommunikation.

Arbeitsausschuss SSK/A629 „Dosis-Wirkungsbeziehung für den Zusammenhang von UV-Strahlung und Hautkrebs“

Obwohl die Verknüpfung einer langjährigen intensiven UV-Exposition mit SCC mittlerweile eindeutig nachgewiesen werden konnte, liegen noch keine hinreichenden Erkenntnisse vor, welche UV-Dosis mit welchem Risiko für das Basaliom oder das

Melanom einhergeht. Ziel des Ausschusses SSK/A629 ist es daher, eine Stellungnahme zum Zusammenhang zwischen einer Exposition der Haut durch UV-Strahlung und der Inzidenz von Hautkrebs zu verfassen. Hierbei sind insbesondere der aktuelle Stand der Wissenschaft, Defizite, die sich durch das aktuelle Risikomanagement ergeben können, sowie Maßnahmen insbesondere in der Forschung zur zukünftigen Verbesserung der Kenntnislage zu berücksichtigen. Ein Abschlussbericht wird im Frühjahr 2022 erwartet.

Darüber hinaus gibt es eine 2018 veröffentlichte SSK-Empfehlung zum „Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung und UV-Strahlung in Solarien“ (Breitbart et al. 2018).

5.9 UV-Schutz-Bündnis

Das vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) koordinierte UV-Schutz-Bündnis (Baldermann 2022) ist eine interdisziplinäre Kooperation unterschiedlicher Gesellschaften, Organisationen und Behörden aus Strahlenschutz, Medizin, Wissenschaft und Arbeitsschutz, in der die BAuA die Aspekte der Arbeitswelt bzw. die Interessen des Arbeitsschutzes aktiv vertritt. Ziel des Bündnisses ist eine einheitliche und dadurch verbesserte Risikokommunikation aller beteiligten Akteure zu solarer UV-Exposition (Baldermann and Breitbart 2017). Im gemeinsamen Diskurs wird einschlägige wissenschaftliche Literatur analysiert, um aktualisierte Empfehlungen zur Wirkung von und zum Schutz vor solarer UV-Strahlung ableiten zu können, auch im Hinblick auf klimawandelbedingte Veränderungen. Die Umsetzung entsprechender Schutzmaßnahmen wird von den Bündnispartnern forciert. Langfristig sollen dadurch UV-strahlungsbedingte Erkrankungen vorgebeugt bzw. die steigenden Hautkrebsinzidenzen in Deutschland verlangsamt werden.

5.10 UV-Messnetz

Ein wesentlicher Baustein zur Kommunikation aktueller solarer UV-Belastungen ist der UV-Index (UVI). Dieser wird in kurzen Minutenintervallen aus lokalen Messungen der solaren UV-Bestrahlungsstärke von mittlerweile 32 bundesweiten Messstationen berechnet und durch das BfS koordiniert im Internet veröffentlicht. Die BAuA ist seit 1996 assoziiertes Mitglied dieses UV-Messnetzes und misst seitdem hochpräzise Sonnenspektren. Diese äußerst umfangreichen Messdaten besitzen das Potential für eine Auswertung hinsichtlich einer klimawandelbedingten Veränderung. Die UV-Messstation der BAuA in Dortmund wird im Frühjahr 2022 umfassend auf den aktuellen Stand der Technik gebracht, wodurch zukünftig u. a. auch sog. Niedrigozon-Ereignisse, einhergehend mit extremen UV-Belastungen, erfasst werden können.

5.11 Robert Koch-Institut

Das Robert Koch-Institut (RKI) ist die zentrale Einrichtung des Bundes im Bereich der Krankheitsüberwachung und -prävention und ein Bundesinstitut im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Gesundheit. Es bewertet, analysiert und erforscht humane Krankheiten, insbesondere Infektionskrankheiten. Im Hinblick auf das Erkennen neuer gesundheitlicher Risiken nimmt das RKI eine „Antennenfunktion“ im Sinne eines

Frühwarnsystems wahr. Beim RKI sind mehrere wissenschaftliche Kommissionen angesiedelt, zum Beispiel die Ständige Impfkommission, die Impfempfehlungen erarbeitet. Außerdem ist es verantwortlich für die inhaltliche Bearbeitung und Koordinierung der Gesundheitsberichterstattung des Bundes und für die Genehmigung von Import und Verwendung humaner embryonaler Stammzellen.

Das RKI weist auf Empfehlungen der BAuA zu verschiedenen Arbeitsfeldern hin. Hierunter fallen z. B. zum Schutz vor aviärer Influenza der Beschluss des ABAS (608) „Empfehlung spezieller Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten vor Infektionen durch hochpathogene aviäre Influenzaviren“. Auch auf die TRBA 500 „Grundlegende Maßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen“, die TRBA 250 „Biologische Arbeitsstoffe im Gesundheitswesen und in der Wohlfahrtspflege“, die TRBA 230 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in der Land- und Forstwirtschaft“, die TRBA-Reihe zur Risikogruppen-Einstufungen von Infektionserregern (siehe Tabelle 3.2) und die TRBA 255 „Arbeitsschutz beim Auftreten von nicht ausreichend impfpräventablen respiratorischen Viren mit pandemischen Potential im Gesundheitsdienst“ wird hingewiesen.

Des Weiteren wird bei Fragestellungen, die Infektionskrankheiten und den Arbeitsschutz betreffen, auf die BAuA verwiesen. Hierunter fallen Beispiele wie „Besteht die Gefahr sich über importierte Lebensmittel oder Gegenstände mit Ebola anzustecken?“ oder die Empfehlungen der BAuA und des ad-Hoc AK „Covid-19“ des ABAS zum Einsatz von Schutzmasken im Zusammenhang mit SARS-CoV-2.

5.12 Deutscher Wetterdienst

Vom Deutschen Wetterdienst DWD werden **Hitzewarnungen**⁴³ herausgegeben, wenn eine starke Wärmebelastung für mindestens zwei Tage in Folge vorhergesagt wird und eine ausreichende nächtliche Auskühlung der Wohnräume nicht mehr gewährleistet ist. Zudem werden Verhaltensempfehlungen, Tipps für sommerliche Hitze und Hitzewellen und Hinweise zur Erstellung von Hitzeaktionsplänen gegeben. Aktuelle **Warnungen vor Extremwetterereignissen** mit Starkwinden, Hochwasser und Sturmfluten werden regional auf einer Karte zur Verfügung gestellt⁴⁴. Zudem gibt der DWD **Klimavorhersagen** neben dem Zeitraum von einigen Wochen auch bis zu mehreren Jahren⁴⁵. Das ist der Bereich zwischen den kurzfristigen Wettervorhersagen (bis zu 14 Tagen) und den langfristigen Klimaprojektionen (30 – 100 Jahre). Insofern liefert dies wesentliche Informationen mit welchen klimatischen Bedingungen in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu rechnen ist und worauf die Arbeitswelt sich einstellen muss.

5.13 Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst

Die Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) misst an ca. 40 Orten der Bundesrepublik Deutschland den aktuellen Pollenflug mit Hilfe von sogenannten Pollenfallen, die durch geschultes Personal bedient werden. Die gewonnenen Daten werden

⁴³ www.dwd.de/DE/leistungen/hitzewarnung/hitzewarnung.html

⁴⁴ www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_gemeinden/warnWetter_node.html

⁴⁵ www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimavhs/klimavhs_node.html

dem Deutschen Wetterdienst gemeldet. Das Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung des Deutschen Wetterdienstes kombiniert die **Pollenflugmessungen** des PID mit den phänologischen Daten und mit der Wetterprognose. Die so gewonnenen Daten stehen in den **Pollenflugvorhersagen**⁴⁶ Pollenallergikern über zahlreiche Medien, wie Printmedien und Rundfunk- Fernsehanstalten, zur Verfügung. Zudem wertet die PID Daten für mehrere Jahre zusammengefasst zur Darstellung im **Pollenflugkalender**⁴⁷ aus. Der Vergleich der Daten 2000 – 2007, 2007 – 2011 und 2011 – 2016 zeigt jeweils Verschiebungen im Beginn und Ende der Flugzeiten der einzelnen Pollen und dokumentiert damit den Einfluss bzw. die Auswirkungen des Klimawandels.

⁴⁶ www.dwd.de/DE/leistungen/gefahrendizespollen/gefahrendindexpollen.html

⁴⁷ www.pollenstiftung.de/pollenvorhersage/pollenflugkalender.html

6 Praxisorientierte Informationen, Tools und Handlungshilfen

Im Rahmen der Literaturrecherche (siehe Kapitel 7) wurden neben den wissenschaftlichen Studien auch andere im Zusammenhang mit dem Klimawandel und Bezug zum Arbeitsschutz stehende Aktivitäten erfasst. Das betrifft insbesondere auf internationaler Ebene laufende Projekte, Prozesse und Vorhaben, die die Hitze oder auch die verschiedenen anderen Risikofaktoren einschließen. Das betrifft vor allem Branchen mit Arbeiten im Freien, wie die Bauwirtschaft. Hieraus können wertvolle Informationen zur Entwicklung von komplexen Handlungs- und Gestaltungsmaßnahmen für komplexe Maßnahmenpakete abgeleitet werden.

Die ILO beabsichtigt die Fortschreibung und Aktualisierung des „**Code of practice on safety and health in construction**“. Dieser „Code of practice“ ist rechtlich nicht verbindlich, hat aber eine hohe Bedeutung als branchenbezogene Information und Empfehlung. Vom 21. bis 25.02.2022 fand ein Expertenmeeting mit Vertretern (Experten, Beratern, Beobachtern) der Arbeitgeber, Arbeitnehmer und der Regierung statt. Die BAuA (FG 2.4, Herr Gabriel) hat für Deutschland als Beobachter auf der Regierungsseite teilgenommen. Dazu hatte die ILO einen Entwurf⁴⁸ vorbereitet, der im Expertenmeeting beraten, inhaltlich weiter bearbeitet und dort von allen Bänken angenommen wurde. Der Entwurf wird nun weiter redaktionell aufbereitet und wird in 11 Sprachen bereitgestellt, der Beschluss soll im November 2022 erfolgen. Das Thema Klima und Klimawandel wurde umfassend diskutiert und im Experten-Entwurf insbesondere in folgenden Punkten berücksichtigt:

- UV-Strahlung: 9.6.5., 9.6.6., 9.6.7.
- Hitzebelastung: 9.7., 9.7.1. – 9.7.4.
- Vektoren: 9.9.2., 23.1.
- Extremwetter: 3.6., 10.4., 10.7.7., 11.1.10., 11.1.17., 23.1

Das Kapitel 23 beschäftigt sich insgesamt mit Auswirkungen des Klimawandels und der Nachhaltigkeit auf die Arbeitsbedingungen und besondere Arbeitssituationen (Einsätze bei und nach Unwettern, Überschwemmungen, Feuer) für die Bauwirtschaft.

Das **Heat-Shield Project**⁴⁹ erstellt einen sektorenübergreifenden Rahmen zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit europäischer Arbeitnehmer gegen Hitzebelastung. Gefördert wurde es durch das EU-Forschungs- und Innovationsprogramm „Horizon 2020“ unter der Finanzhilfvereinbarung Nr. 668. Es widmet sich den negativen Auswirkungen von erhöhtem Hitzestress am Arbeitsplatz auf die Gesundheit und die Produktivität von fünf strategischen europäischen Branchen: Produktion, Bauwesen, Transport, Tourismus und Landwirtschaft. Das Konsortium besteht aus einer Gruppe von zwölf Forschungseinrichtungen, zwei politischen Organisationen, vier Industrieunternehmen und zwei Organisationen der Zivilgesellschaft aus der gesamten EU. In kurzen Berichten werden für die Betroffenen praktische Informationen gegeben, z. B.

⁴⁸ www.ilo.org/sector/activities/sectoral-meetings/WCMS_824056/lang--en/index.htm

⁴⁹ www.heat-shield.eu/

„Ein Hitze-Schutzplan für die Sicherheit und Produktivität der Arbeitnehmer in der Hitze – Ein Leitfaden für Arbeitgeber und Unternehmen“ (HEAT-SHIELD 2020).

Eine geeignete Methode zur Bewertung der Hitzebelastung, insbesondere bei Arbeiten im Freien, ist der „**Universal Thermal Climate Index**“ (**UTCI**). Der UTCI wurde mithilfe einer Kommission der „International Society on Biometeorology“ (Internationale Gesellschaft für Biometeorologie, ISB) seit 2002 entwickelt. Ab 2005 war auch der DWD daran beteiligt. Der UTCI steht zur kostenlosen Nutzung zur Verfügung⁵⁰.

Das Staatssekretariat für Wirtschaft der **Schweizerischen Eidgenossenschaft (SECO)** gibt sehr praxisorientierte Informationen bei Arbeit im Freien unter Hitzebelastung heraus. Die Broschüre „Arbeit bei Hitze im Freien – Vorsicht! – Information für Arbeitgeber und Arbeitnehmer“⁵¹ enthält z. B. eine Methode zur raschen und einfachen Bestimmung der Hitzebelastung und Ableitung von geeigneten Schutzmaßnahmen.

CORDIS – Informationsdienst der Gemeinschaft für Forschung und Entwicklung – ist die primäre öffentliche Quelle der Europäischen Kommission für die Ergebnisse der im Zusammenhang mit den Rahmenprogrammen der EU für Forschung und Innovation (1. Forschungsrahmenprogramm bis Horizont 2020) finanzierten Projekte. Der Bericht „Climate impacts in Europe“⁵² (Ciscar et al. 2018) warnt, dass in Europa jetzt gehandelt werden muss, um sich an den Klimawandel anzupassen. Hierbei werden auch die Aspekte des Arbeitsschutzes betrachtet.

Die „Occupational Safety and Health Administration“ (**OSHA**) leitete einen Regelungsprozess zum Schutz von Arbeitnehmern im Innen- und Außenbereich vor gefährlicher Hitze ein und ist daran interessiert, zusätzliche Informationen über das Ausmaß und die Art der gefährlichen Hitze am Arbeitsplatz sowie über die Art und Wirksamkeit von Maßnahmen und Kontrollen zur Verhinderung hitzebedingter Verletzungen und Erkrankungen zu erhalten. Diese „Advance notice of proposed rulemaking“ (Vorabkennzeichnung eines Regelungsvorschlags – ANPRM)⁵³ gibt einen Überblick über das Problem des Hitzestresses am Arbeitsplatz und über Maßnahmen, die zu seiner Vermeidung ergriffen wurden. Es wird um Informationen zu Fragen gebeten, die die OSHA bei der Entwicklung der Norm berücksichtigen kann, einschließlich des Anwendungsbereichs der Norm und der Arten von ggf. erforderliche Kontrollen.

Eine Forschergruppe an der **TU Braunschweig** hat ihren Bericht (Schwerdtner et al. 2022)⁵⁴ zum „KlimaBau“⁵⁵ Projekt vorgelegt, der fachlich auf der Dissertation von (Kynast 2021)⁵⁶ beruht. Hier werden umfangreiche auf die Bauwirtschaft bezogene Informationen zu witterungsbedingten Faktoren wie Hitze, Kälte, UV-Strahlung und

⁵⁰ www.utci.org/index.php oder www.wetterdienst.de/Deutschlandwetter/Thema_des_Tages/878/utci-universal-thermal-climate-index-universeller-thermischer-klimaindex

⁵¹ www.seco.admin.ch/seco/de/home/Arbeit/Arbeitsbedingungen/gesundheitschutz-am-arbeitsplatz/Arbeitsraeume-und-Umgebungsfaktoren/Klima.html

⁵² cordis.europa.eu/article/id/29920-europe-must-act-now-to-adapt-to-climate-change-says-new-report/de

⁵³ www.regulations.gov/document/OSHA-2021-0009-0001

⁵⁴ doi.org/10.24355/dbbs.084-202201141111-0

⁵⁵ www.tu-braunschweig.de/ibb/aktuelles/detailansicht-nachrichten/interview-zum-projekt-klimabau

⁵⁶ doi.org/10.24355/dbbs.084-202201141113-0

Niederschlag gegeben, die auch die Aspekte des Arbeitsschutzes berücksichtigen. Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts „KlimaBau“ wird der Status quo im Umgang mit Witterungseinflüssen erörtert und notwendige Maßnahmen vor dem Hintergrund des Klimawandels skizziert. Dabei nimmt die Betrachtung des „Faktors Mensch“ einen wesentlichen Schwerpunkt ein⁵⁷.

⁵⁷ magazin.tu-braunschweig.de/m-post/wenn-es-auf-der-baustelle-zu-heiss-wird/

7 Systematische Literaturrecherche

Im folgenden Kapitel wird zu vier der in Kapitel 2 genannten Risikofaktoren (Hitze, Solare UV-Strahlung, Infektionskrankheiten sowie Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine) der aktuelle Sachstand anhand separater themenbezogener Literaturanalysen dargestellt. Dabei wird auf die für den Arbeitsschutz relevanten Zusammenhänge zum Klimawandel fokussiert. Die Risikofaktoren korrespondieren mit den in den vorangehenden Kapiteln 3, 4 und 5 genannten Aktivitäten und Akteuren, sowie mit den im nachfolgenden Kapitel 8 zusammengetragenen Forschungs- und Handlungsbedarfen.

7.1 Hitze

Als homoiothermes bzw. gleichwarmes Lebewesen muss der Mensch seine Körperkerntemperatur in einem schmalen thermischen Bereich (35,7 °C bis 37,3 °C) konstant halten. Auf leichte Abweichungen von diesem Bereich kann er unbewusst durch chemische oder physikalische Prozesse der Thermoregulation oder bewusst durch Änderung des Verhaltens oder der Bekleidung reagieren. Starke Abweichungen, das heißt Temperaturen von über 42 °C oder von unter 26 °C im Körperkern, führen zum Tod. Die Thermoregulation hält dabei verschiedene Mechanismen bereit, überschüssige Wärme aus dem Körperkern abzuleiten. Über geweitete Kapillaren in der Haut kann Wärme über das Blut vom Körperkern in äußere Regionen des Körpers transportiert werden. Dort kann die Wärme an die (meist) kühlere Umgebung abgegeben werden, so dass gekühltes Blut in den Körperkern zurückfließt. Bei stärkerer innerer Erwärmung setzt die Produktion von Schweiß ein. Durch seine Verdunstung von der Hautoberfläche wird der Vorgang der Wärmeabgabe noch deutlich verstärkt (vgl. Verdunstungskühle). Ein leichter Luftzug wirkt dabei unterstützend.

Durch stark isolierende Bekleidung sowie durch Lufttemperaturen von mehr als 36 °C oder durch eine absolute Luftfeuchte von mehr als 13,5 g/m³ – oder einer Kombination aus den drei Komponenten – kann diese Wärmeabgabe behindert und eingeschränkt werden. Im Arbeitskontext wird insbesondere bei körperlicher Tätigkeit durch Muskelarbeit zum einen sehr viel Wärme im Körper produziert, zum anderen wirkt persönliche Schutzkleidung (PPE: ‚personal protective equipment‘) häufig isolierend und verhindert eine ausreichende Abgabe der produzierten Wärme. Durch den Klimawandel bedingte höhere Lufttemperaturen verstärken die thermische Belastung.

Für die menschliche Leistungsfähigkeit und Gesundheit können insbesondere die **Belastung des Herz-Kreislauf-Systems** sowie der **Flüssigkeits- und Elektrolytverlust durch das Schwitzen** zum Problem werden. Durch die Weitung der Kapillaren unter der Hautoberfläche vergrößert sich das Volumen des Blutkreislaufs, was das **Herz** mit einer höheren Schlagfrequenz versucht zu kompensieren. Personen mit Vorerkrankungen am Herzen sind dann stärker gefährdet, körperliche Grenzen zu erreichen. Wird der durch das Schwitzen verursachte Flüssigkeitsverlust nicht durch ausreichendes Trinken ausgeglichen, reichern sich im Urin auszuleitende Abfallstoffe derart an, dass die Filterleistung der **Nieren** an ihre Grenzen kommt und sie im schlimmsten Fall übersteigt. Zudem verändert sich durch den Elektrolytverlust die Gerinnungsfähigkeit des Blutes: es bilden sich leichter Blutgerinnsel, die im weiteren Verlauf zu Herzinfarkt oder Schlaganfall führen können. Steigt die Temperatur im

Gehirn durch unzureichenden Abtransport von Wärme oder durch direkte Sonneneinstrahlung auf über 40 °C an, setzt die autonom gesteuerte Thermoregulation aus, was meist den Tod des Organismus bedeutet.

7.1.1 Aufbau und Funktion des Suchstrings

Zur Identifikation relevanter Literatur wurde eine systematische Suche in den Literaturdatenbanken EMBASE und Medline durchgeführt. Vorab wurde ein Suchstring definiert, der auf die Exposition durch thermische Belastung am Arbeitsplatz fokussiert. Die in 7.1 dargestellten Begriffe beziehen sich auf die Suche in der Literaturdatenbank Embase, für die Suche über PubMed in der Literaturdatenbank MedLine wurden sie entsprechend angepasst.

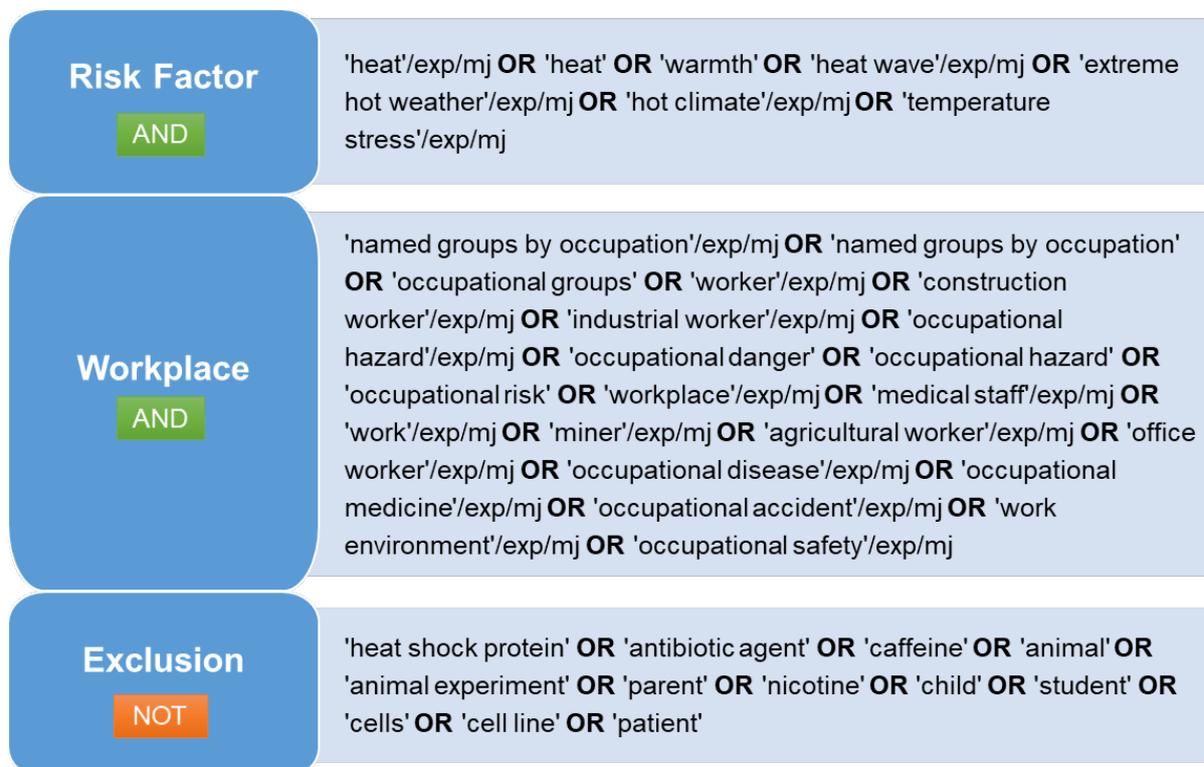


Abb. 7.1 Struktur des Suchstrings zu Hitzebelastung mit Oberbegriffen zu den einzelnen Kategorien, die mit AND oder NOT verknüpft sind (links). Suchbegriffe innerhalb einer Kategorie sind mit OR verbunden (rechts).

7.1.2 Artikelsichtung

Die systematische Suche ergab 4.331 Literaturstellen: 3.119 Treffer wurden in der Literaturdatenbank Embase gefunden und 1.912 Treffer in der Literaturdatenbank MedLine. Davon waren 700 Treffer Duplikate. Die gefundenen Treffer bildeten ein sehr breites thematisches Spektrum ab, das in der zur Verfügung stehenden Zeit nur auszugsweise ausgewertet werden konnte. Fokussiert wurde dabei auf Primärstudien und Arbeiten jüngerer Datums, die durch zusätzliche, das jeweilige Thema vertiefende Texte ergänzt wurden. Die nachfolgende Ergebnisdarstellung basiert auf insgesamt 47 Literaturstellen.

7.1.3 Ergebnisse

Im beruflichen Kontext spielen verschiedene Faktoren eine Rolle, die zu einer Gefährdung durch thermische Belastung führen können. Die Kombination aus der von der Tätigkeit abhängigen metabolischen Rate und der für die Tätigkeit notwendigen (Schutz-)Kleidung kann zu einem Anstieg der Körperkerntemperatur führen. Durch einsetzende Thermoregulation kann Dehydrierung auftreten und Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung von Hitze und infolge dessen auf bewusste Reaktionen auf Hitze nehmen (Morrissey et al. 2021). Hitze kann eine **direkte Gefahr** für die menschliche Gesundheit darstellen, indem sie unmittelbar auf den Körper einwirkt. Nachrangig kann sie eine **indirekte Gefahr** darstellen, weil sie eine Person zu unachtsamem Handeln verleitet, infolgedessen dann ein Schaden hervorgerufen werden kann.

Direkte Auswirkungen

Direkte Auswirkungen der thermischen Belastung auf den menschlichen Körper stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit der Thermoregulation.

Besonders gefordert ist das **Herz-Kreislauf-System**. Durch Dehydration und die Erhöhung der Blutgerinnung sowie den Verlust von Elektrolyten steigt die Gefahr für Herzrhythmusstörungen, Herzinfarkt oder Schlaganfall.

So war die mittlere Herzrate bei Arbeitern im Weinbau von der Umgebungstemperatur und der Dauer des Arbeitseinsatzes beeinflusst (Grimbuhler and Viel 2021). Während hier das Alter keinen Einfluss zeigte, hatten ältere Rikscha-Fahrer im Vergleich zu jüngeren bei vergleichbarer Belastung eine höhere mittlere sowie eine höhere maximale Herzrate (Sahu et al. 2013a). Regelmäßige Erholungspausen lassen die Herzrate auch bei als belastend geltenden thermischen Verhältnissen (ab WBGT⁵⁸ 30 °C, siehe Tabelle 5.1) und einem längeren Arbeitseinsatz mit moderater bis schwerer körperlicher Belastung auf einem ungefährlichen Niveau bleiben (Kaltsatou et al. 2020).

Krankenhauseinweisungen von in der Landwirtschaft Tätigen aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen nahmen in China insbesondere ab Tagesmittelwerten oberhalb von 20 °C zu. Sowohl moderate als auch extreme Hitze zeigte einen Langzeiteinfluss und verursachte noch zwei bis drei Wochen später erhöhte Hospitalisierungszahlen (Wang et al. 2021).

Im Bereich der **Nieren und ableitenden Harnwege** wird die Dehydration des menschlichen Körpers als Ursache für akutes oder chronisches Nierenversagen sowie für die Bildung von Harnsteinen beobachtet.

In jüngerer Zeit wurde eine Häufung akuten Nierenversagens unbekannter Ursache unter mittelamerikanischen Landarbeitern beobachtet, weshalb die Erkrankung zunächst auch „mesoamerican nephropaty“ genannt wurde (z. B. Campese 2017; García-Trabanino et al. 2015; Peraza et al. 2012; Wesseling et al. 2011). Jedoch konnten diese Beobachtungen auch in anderen äquatornahen Regionen, wie in Sri

⁵⁸ Der WBGT- Index (Wet Bulb Globe Temperature) ist ein Klimasummenmaß, das zusammen mit dem Energieumsatz die Beurteilung der Wärmebelastung der Beschäftigten bei Arbeit sowohl in Innenräumen als auch im Freien unter heißen Bedingungen ermöglicht. Ein Klimasummenmaß ist eine Zusammenfassung der Wirkung von mehreren Klimagrößen (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung).

Lanka (Kulasooriya et al. 2021) und in Thailand (Tawatsupa et al. 2012) gemacht werden; selbst in den südlichen USA (Mitchell et al. 2017; Mix et al. 2018; Moyce et al. 2016; Moyce et al. 2020) und in Brasilien (Nerbass et al. 2019) werden entsprechende Beobachtungen berichtet. Zudem wurde ein Auftreten nicht nur bei Landarbeitern festgestellt, sondern auch bei Industriearbeitern in erhitzten Innenräumen (Nainggolan et al. 2021; Nerbass, Moist, Clark, Vieira and Pecoits-Filho 2019; Prasetyo et al. 2021).

In umgekehrter Betrachtung waren in einer Fall-Kontroll-Studie im Libanon (Doueihy et al. 2022) Dialyse-Patienten deutlich häufiger als die Kontrollpersonen als Koch oder als Bauarbeiter tätig. Zudem scheinen im Verkauf Tätige einem leicht erhöhten Risiko ausgesetzt zu sein. Insgesamt war der Anteil derer, die angaben, während der Arbeit hitzeexponiert gewesen zu sein, unter den Dialyse-Patienten deutlich höher als unter den Kontrollpersonen.

Im Bereich **Gehirn, Nerven und Muskeln** kann die Dehydratation Beeinträchtigungen hervorrufen. Der zusätzliche Elektrolytverlust stört die Reizweiterleitung und kann zu Krämpfen und insbesondere zu Herzrhythmusstörungen führen.

Die Auswirkungen steigender Temperaturen auf die **geistige Leitungsfähigkeit** werden uneinheitlich berichtet.

Bei im tropischen Außenbereich körperlich schwer arbeitenden Personen gaben 17 % der Befragten an, dass ihre Konzentrationsfähigkeit im Befragungszeitraum häufig (täglich bis wöchentlich) herabgesetzt gewesen sei; immerhin 40 % gaben hingegen an, dies wäre nie passiert (Carter et al. 2020). Während Müdigkeit im Vergleich dazu vermehrt auftrat (häufig: 35 % vs. nie: 13 %), wurde ein Koordinationsverlust seltener berichtet (häufig: 4 % vs. nie: 79 %).

Im Innenbereich berichteten Probanden ebenfalls von zunehmender Müdigkeit mit steigenden Temperaturen, außerdem nahm ihre subjektive Fähigkeit, sich zu konzentrieren oder klar zu denken, ab (Witterseh et al. 2004). Auch die empfundene Anstrengung ebenso wie die empfundene Frustration erhöhten sich mit zunehmenden Temperaturen (Hellwig, Nöske, Brasche, Gebhardt, Levchuk and Bischof 2012). Mit zunehmender Dauer der Exposition sowie mit weiteren Stressoren (Lärm) verstärkten sich diese Einschätzungen. Die objektive Auswertung der gestellten Aufgaben ergab jedoch keine Verlangsamung oder erhöhte Fehlerzahl (Hellwig, Nöske, Brasche, Gebhardt, Levchuk and Bischof 2012; Witterseh, Wyon and Clausen 2004).

Während Seppänen et al. (2006) in ihrer Übersichtsarbeit ein thermisches Optimum im Bereich zwischen 21 °C und 22 °C herausarbeiten, kommen Porras-Salazar et al. (2021) in ihrer Analyse zu keinem vergleichbaren Ergebnis, sondern postulieren vielmehr, dass zwischen Temperatur und geistiger Leistungsfähigkeit kein Zusammenhang bestehe.

Die Gründe für diese Diskrepanz zwischen subjektiven und objektiven Ergebnissen können auf verschiedenen Ebenen gesucht werden: die Kompensationsfähigkeit der Individuen (in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, körperlichem Fitnesslevel oder Hydratationsstatus) kann ebenso eine Rolle spielen wie die Aussagefähigkeit und Vergleichbarkeit der Methoden zur Bewertung der kognitiven Leistung; zudem beeinflussen die Dauer der Exposition sowie eventuell weitere, häufig unbeachtete Störfaktoren die geistige Leistungsfähigkeit und die Produktivität. Zur Klärung der offenen Fragen und Zusammenhänge ist weitere Forschung notwendig.

Mit steigenden Temperaturen sinkt die **körperliche Leistungsfähigkeit**.

In der Landwirtschaft und in der Industrie wird die körperliche Leistungsfähigkeit häufig anhand der Produktion bestimmter Arbeitseinheiten (gemessen in Anzahl, Kilogramm oder Tonnen) pro Zeiteinheit (gemessen in Stunden oder Tagen) beschrieben. Übereinstimmend berichten Studien von einer Abnahme der Produktion mit steigenden Temperaturen (Dally et al. 2018; Gun and Budd 1995; Meegahapola and Prabodanie 2018; Sahu et al. 2013b; Sett and Sahu 2014) bis hin zum Aussetzen der Tätigkeit ab einer bestimmten Temperatur (Gun and Budd 1995). Körperliche Einschränkungen, wie eine beeinträchtigte Nierenfunktion, senkten die Produktionsleistung weiter (Dally, Butler-Dawson, Krisher, Monaghan, Weizenkamp, Sorensen, Johnson, Carlton, Asensio, Tenney and Newman 2018).

Zukünftig werden Tage, an denen die zum Zeitpunkt der Studie bestehenden thermischen Grenzwerte (27,5 °C, 29,5 °C, 31,5 °C) überschritten werden, in den Sommermonaten (JJA) häufiger auftreten. Zudem wird ihr Auftreten bereits für das Frühjahr (MAM) und bis in den Herbst (SON) hinein prognostiziert (Türkei: Altinsoy and Yildirim 2015), so dass schwere bis sehr schwere körperliche Arbeit dann häufiger mit längeren Pausenzeiten unterbrochen werden muss und damit die Produktionsleistung weiter sinkt. In Kalkutta (Indien) hat innerhalb von 30 Jahren (1980 – 2011) die Zahl der Tage pro Jahr mit WBGT ≥ 29 °C von 120 auf 160 zugenommen (Sahu, Maity, Moitra, Sett and Haldar 2013a).

Indirekte Auswirkungen

Indirekte Auswirkungen der thermischen Belastung treten dann auf, wenn aufgrund mangelnder Thermoregulation bereits kognitive Defizite eingetreten sind. Zudem nimmt durch eine erhöhte Schweißrate die Hautfeuchte zu (Carter, Field, Oppermann and Brearley 2020; Hellwig, Nöske, Brasche, Gebhardt, Levchuk and Bischof 2012), wodurch das Greifen beeinträchtigt werden kann.

Daraus folgend werden mit steigenden Temperaturen **zunehmend Unfälle** beobachtet. Dieser Zusammenhang konnte in unterschiedlicher Stärke in allen klimatischen Bereichen festgestellt werden (Adam-Poupart et al. 2015; Fatima et al. 2021; Xiang et al. 2014).

Unfälle stehen in erster Linie im unmittelbaren Zusammenhang mit der Temperatur, das heißt, sie treten an dem Tag auf, an dem thermische Belastung vorherrscht (Xiang, Bi, Pisaniello, Hansen and Sullivan 2014). In einzelnen Fällen wurden aber Nachwirkungen von bis zu zwei Tagen berichtet (Adam-Poupart, Smargiassi, Busque, Duguay, Fournier, Zayed and Labrèche 2015; Garzon-Villalba et al. 2016).

Ein besonderes Risiko stellen insbesondere die Phasen dar, in denen die Belastung durch Hitze gerade noch moderat ist (3. Perzentile), demnach noch nicht offensichtlich ist und in denen deshalb das Verhalten noch nicht angepasst wird (Morabito et al. 2006). Dies trifft insbesondere auch auf Situationen zu Beginn des Sommers zu (Juni auf der Nordhalbkugel), wenn innerhalb des Jahres noch keine ausreichende Anpassung stattgefunden hat (Morabito, Cecchi, Crisci, Modesti and Orlandini 2006).

Das Ablegen von Schutzkleidung als Maßnahme zur Thermoregulation kann wiederum das Risiko einer Gefährdung durch Chemikalien (Moda et al. 2019) oder durch Arbeitsgeräte (Wästerlund 1998) erhöhen.

Im Outdoor-Bereich treten Unfälle besonders häufig im Baugewerbe auf, deutlich seltener im Bereich „Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei“ oder im Bereich „Elektrizität, Gas und Wasser“ (Adam-Poupart, Smargiassi, Busque, Duguay, Fournier,

Zayed and Labrèche 2015; Rameezdeen and Elmualim 2017; Xiang, Bi, Pisaniello, Hansen and Sullivan 2014).

Betroffene Arbeitsplätze

Arbeitsplätze in **allen Klimazonen** sind betroffen, wobei die Belastungsgrenzen je nach Breitengrad individuellen Schwellenwerten unterliegen (Fatima, Rothmore, Giles, Varghese and Bi 2021).

Mit zunehmender **Höhe über dem Meeresspiegel** (und damit mit abnehmender thermischer Belastung) nimmt die Häufigkeit von negativen Effekten ab (Peraza, Wesseling, Aragon, Leiva, García-Trabanino, Torres, Jakobsson, Elinder and Hogstedt 2012).

Arbeiter in **ländlichen Gegenden** berichteten häufiger von Hitzebelastung während der Arbeit als Arbeiter in **Städten** (Tawatsupa, Lim, Kjellstrom, Seubsman and Sleight 2012). Jedoch kann dieser Effekt auch auf die Verteilung von körperlichen Tätigkeiten im Außenbereich im Vergleich zu Büro-Tätigkeiten im Innenraum zwischen ländlichem und städtischem Raum zurückzuführen sein.

Arbeitsplätze **im Freien** sind negativen Einflüssen thermischer Belastung stärker ausgesetzt als solche in **Innenräumen**: So stand eine steigende Zahl an Unfällen nur bei Beschäftigten im Außenbereich im Zusammenhang mit einem Temperaturanstieg (Adam-Poupart, Smargiassi, Busque, Duguay, Fournier, Zayed and Labrèche 2015; Xiang, Bi, Pisaniello, Hansen and Sullivan 2014) und auch hitzebedingtes Nierenversagen trat vorrangig bei Personen auf, die im Außenbereich oder im Außenbereich aus einem Fahrzeug heraus gearbeitet hatten (Shi et al. 2022).

Präventionsmaßnahmen

Maßnahmen zum Schutz vor hitzebedingter Belastung und zur Vermeidung von hitzebedingten Beeinträchtigungen müssen auf verschiedenen Ebenen stattfinden (Ford et al. 2011). Sie müssen von der persönlichen Ebene der arbeitenden Person (Verhaltens-Prävention) über die institutionelle Ebene des Arbeitgebers bis hin zu den verschiedenen Ebenen der Politik reichen, welche die Rahmenbedingungen schaffen (Verhältnis-Prävention).

Als eine erste wesentliche Maßnahme kann die **Aufklärung** über die Gefahr durch thermische Belastung gesehen werden. Auf persönlicher Ebene gehört dazu die Schulung der arbeitenden Person hinsichtlich der Vorgänge der Thermoregulation sowie der Hinweis auf die Durchführung bzw. Einhaltung von Schutzmaßnahmen. Während auf institutioneller Ebene die Einrichtung oder Bereitstellung von Schutzmaßnahmen gefordert ist, stellt in diesem Bereich auf politischer Ebene die Einrichtung und Unterhaltung von Warnsystemen einen wesentlichen Beitrag dar.

Die **Vermeidung von Dehydration** ist die effektivste Maßnahme, um die Gesundheit von arbeitenden Personen zu schützen und ihre geistige und körperliche Leistungsfähigkeit aufrecht zu erhalten (Miller and Bates 2010). Dies wird im Bereich der Landwirtschaft und des Baugewerbes bereits weit verbreitet durch die **Bereitstellung von Getränken** erreicht. Allerdings sollten diese adäquat gekühlt sein, um für die arbeitenden Personen attraktiv zu sein. Zudem sollte auf gezuckerte oder koffeinhaltige Getränke möglichst verzichtet werden, da sie den menschlichen Wasserhaushalt eher belasten als unterstützen.

Für Innenraumtemperaturen ist in Deutschland laut ASR A3.5 (vgl. Abschnitt 3.1.2) bereits geregelt, dass bei Lufttemperaturen von mehr als +26 °C geeignete Getränke

(z. B. Trinkwasser im Sinne der Trinkwasserverordnung) optional bereitgestellt werden sollen, bei mehr als +30 °C wird dies verpflichtend.

Die bereitgestellten Getränke müssen durch Produkte ergänzt werden, die den Verlust von Elektrolyten ersetzen (Miller and Bates 2010). Bei der Auswahl sollte darauf geachtet werden, dass sie für eine industrielle Anwendung – das heißt, eine Dauereinnahme – geeignet sind und möglichst wenig Kohlenhydrate enthalten.

Bei der Entwicklung und Gestaltung von **Arbeitskleidung** steht die Schutzwirkung an erster Stelle. Das Material ist dabei häufig wärme- und wasserdampfdurchlässig (Rowlinson and Jia 2015). Die Möglichkeit zur Thermoregulation fand bisher dabei häufig jedoch keine tiefergehende Beachtung (Wästerlund 1998). Das Ausmaß des Einflusses der Bekleidung auf die Thermoregulation wurde zunächst lediglich gemessen und festgestellt (Bernard 1999; O'Brien et al. 2011). Erst in jüngerer Zeit werden unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten der Arbeitskleidung (z. B. Farbe von Stoffen) in ihrer Auswirkung auf das thermische Empfinden hin untersucht (Ioannou et al. 2021).

Weitere wesentliche Möglichkeiten der Prävention liegen in der **Arbeitsgestaltung** bezüglich Zeiten und Aufgaben. Allgemein kann der Arbeitsbeginn in die frühen Morgenstunden vorverlegt werden, so dass die **Arbeitszeit** nicht oder nur in geringem Ausmaß in die stark hitzebelasteten Mittags- und Nachmittagsstunden hineinreicht. Nach Möglichkeit sollte der **Arbeitsablauf** so organisiert sein, dass Tätigkeiten mit starker körperlicher Beanspruchung nicht in den stark belasteten Perioden ausgeführt werden müssen. Eine Optimierung des **Pausenzyklus** trägt dazu bei, dass in besonders hitzeexponierten Berufsgruppen gesundheitliche Beeinträchtigungen verhindert oder zumindest verringert werden können. Von Rowlinson and Jia (2014) wird folgendes Modell vorgeschlagen:

- > 28,5 °C WBGT: Alle 120 Minuten eine Pause von 15 Minuten
- > 28,9 °C WBGT: Alle 90 Minuten eine Pause von 10 Minuten
- > 29,7 °C WBGT: Alle 60 Minuten eine Pause von 15 Minuten
- > 31,6 °C WBGT: Pausen sollen selbstbestimmt durchgeführt werden

7.2 Solare UV-Strahlung

Solare UV-Belastung an Arbeitsplätzen im Freien wird mittel- und langfristig vor allem durch zwei vom Menschen geschaffene globale Umweltveränderungen beeinflusst: dem Klimawandel und dem Ozonabbau. Der Forschungsbedarf zu beiden Themengebieten ist groß, vor allem im Hinblick auf gegenseitige Wechselwirkungen (Barnes et al. 2022; Neale et al. 2021). Stratosphärisches Ozon wirkt sich auf das Klima über die Absorption von UV-Strahlung und über Luftzirkulationen aus. Der Klimawandel seinerseits hat indirekt über den Ozongehalt, aber auch über Luftschadstoffe, Aerosole und Bewölkung Folgen für die solare UV-Strahlung auf der Erdoberfläche, so dass aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren zukünftige klimawandelbedingte Veränderungen nur abgeschätzt werden können. Vor diesem Hintergrund erscheint es umso wichtiger, die Umgebungs-UV-Strahlung sowie Ozon- und Aerosolgehalt dauerhaft und flächendeckend aufzuzeichnen und auszuwerten.

Beide Phänomene, Klimawandel und Ozonabbau, betreffen insbesondere Beschäftigte im Freien, die bei ihrer täglichen Arbeit den damit verbundenen Auswirkungen

ausgesetzt sind. Bei den nachfolgend aufgeführten Ergebnissen einer systematischen Literaturrecherche liegt der Schwerpunkt auf klimawandelbedingten Veränderungen der solaren UV-Belastung mit Bezug zum Arbeitsschutz. Insbesondere im Hinblick auf die gesundheitlichen Auswirkungen und die Folgen des Ozonabbaus für solare UV-Strahlung, die über den Arbeitsschutz hinaus die gesamte Bevölkerung betreffen, müssen weitere wissenschaftliche Publikationen für eine umfassende Betrachtung berücksichtigt werden. Dies ist zum Teil im vorliegenden Bericht geschehen. Ein vollständiges Review unter Einbeziehung einer Expertenauswahl zusätzlicher wissenschaftlicher Literatur wird separat vorbereitet.

7.2.1 Aufbau und Funktion des Suchstrings

Für die systematische Literaturrecherche zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Beschäftigte im Freien hinsichtlich der Exposition gegenüber solarer UV-Strahlung erstellte eine Gruppe von vier Expertinnen und Experten, darunter die beiden Gutachter der Suchergebnisse, den in Abbildung 7.2 dargestellten Suchstring. Der Fokus der Recherche lag neben dem Risikofaktor „solare UV-Strahlung“ und dem Sammelbegriff „Klimawandel“ vor allem auf den gesundheitlichen Auswirkungen bei Arbeit im Freien und auf veränderten Arbeitsumgebungsbedingungen. Dies führt erwartungsgemäß zum Ausschluss von Studien, die keinen Bezug zur Arbeitswelt haben, sich aber dennoch mit den Auswirkungen des Klimawandels auf veränderte UV-Expositionen beschäftigen.

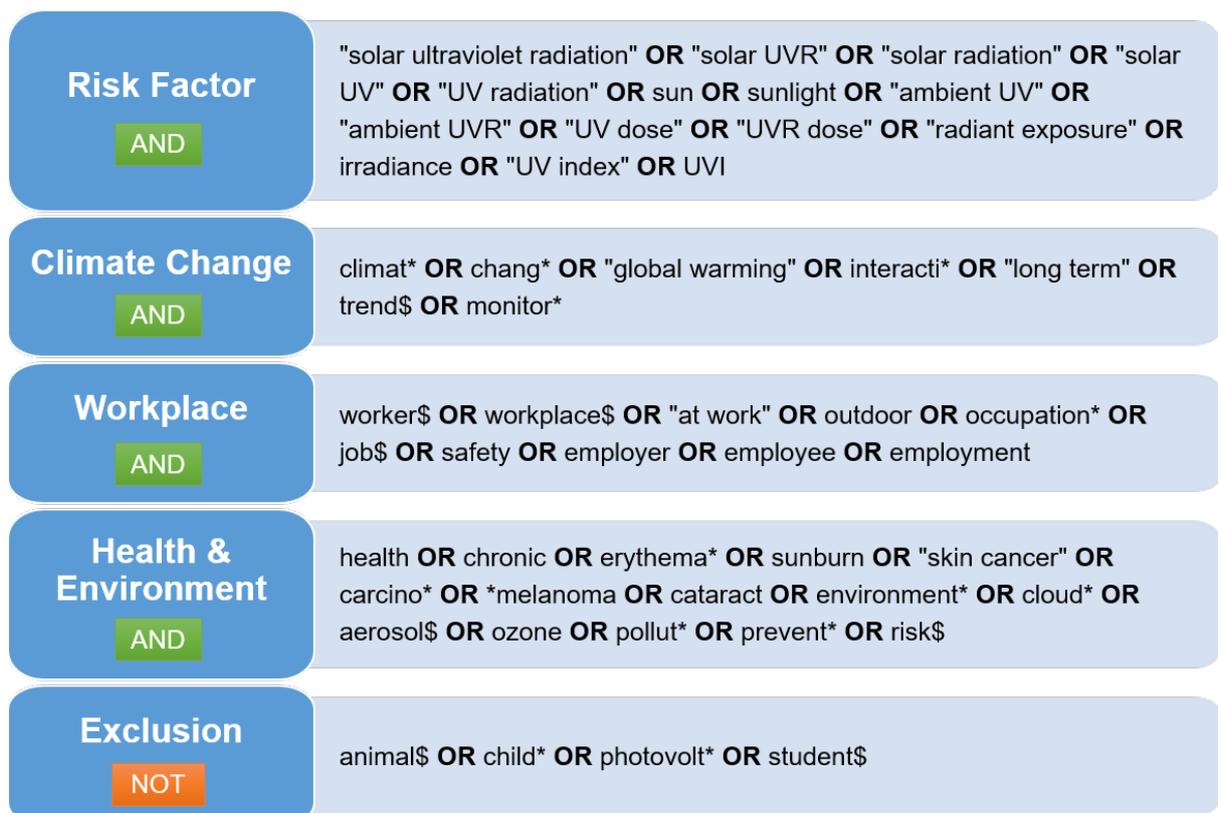


Abb. 7.2 Struktur des Suchstrings zur solaren UV-Strahlung mit Oberbegriffen zu den einzelnen Kategorien, die mit AND oder NOT verknüpft sind (links). Suchbegriffe innerhalb einer Kategorie sind mit OR verbunden (rechts).

Die Syntax des Suchstrings basiert grundlegend auf AND, OR sowie NOT Operatoren und wurde konsequent auf Titel, Schlagwörter und Abstract, eine sogenannte Topic Search der benutzten Literaturdatenbank „Web of Science“, angewandt. In Anführungsstriche gesetzte Suchbegriffe werden von der Suchmaschine als feststehender zusammengesetzter Begriff betrachtet und müssen in gegebener Reihenfolge auftauchen. Zusätzlich wurden zwei Platzhalter (sogenannte Wildcards) eingesetzt: der Asterisk *, welcher für eine beliebige Anzahl Buchstaben (auch null) steht und das \$-Zeichen, das keinen oder einen Buchstaben ermöglicht. Der Suchbegriff „climat*“ kann somit beispielsweise für „climate“ aber auch für „climatology“ stehen, wohingegen „trend\$“ z. B. Singular und Plural berücksichtigt. Die Verwendung der Wildcards muss mit Bedacht erfolgen, da etwa „work*“ nicht nur wie beabsichtigt nach „worker“ oder „workplace“, sondern auch nach dem Verb „to work“ oder dem Nomen „work“ sucht, welche nahezu in jedem Abstract auftauchen und dadurch die Anzahl der Treffer fälschlicherweise massiv erhöhen würden.

Die einzelnen Suchbegriffe des übergeordneten „Risk Factor“ beziehen sich auf solare UV-Strahlung. In der wissenschaftlichen Literatur gibt es eine Reihe gebräuchlicher Termini bzw. Abkürzungen, wie etwa „solar UVR“ für „solar ultraviolet radiation“. Berücksichtigt wurden außerdem die Begriffe „sun“ und „sunlight“. Viele relevante messtechnische Publikationen sprechen von solarer UV-Strahlung als „ambient UVR“ oder „UVR dose“. Darüber hinaus ist der UV-Index ein etablierter Bewertungsmaßstab. Der Oberbegriff „Climate Change“ beinhaltet neben den Suchbegriffen „climat*“ und „chang*“ auch die häufig synonym verwendete Bezeichnung „global warming“. Wechselwirkungen zwischen solarer UV-Strahlung und z. B. Hautkrebsrisiken werden durch „interacti*“ erfasst. Durch den Klimawandel bedingte Veränderungen sind in vielen Fällen vor allem auf längeren Zeitskalen sichtbar, weshalb die Suchbegriffe „long term“, „trend\$“ und „monitor*“ aufgeführt sind. Der Oberbegriff „Workplace“ bezieht sich auf Arbeitsplätze und Beschäftigung. Der Sicherheitsaspekt wird durch „safety“ erfasst.

Der Suchstring wurde spezifiziert, um relevante Veröffentlichungen zu gesundheitlichen Auswirkungen (z. B. Sonnenbrand, Hautkrebs und Katarakt) und zu veränderten Arbeitsumgebungsbedingungen (Bewölkung, Luftverschmutzung, Aerosole und Ozon) zu finden. Artikel zur Prävention gesundheitlicher Risiken sind integriert. Aus der systematischen Literaturrecherche wurden Artikel mit Bezug zu Tieren, Kindern und Studierenden sowie zur Photovoltaik aufgrund des fehlenden Bezugs zur Arbeitswelt ausgeschlossen. Für diese Suchwörter ergaben vorab durchgeführte Suchläufe zur Optimierung des Suchstrings zahlreiche Treffer.

7.2.2 Artikelsichtung

Die im Dezember 2021 mit Hilfe des in Abb. 7.2 dargestellten Suchstrings durchgeführte systematische Literaturrecherche in der Literaturdatenbank „Web of Science“ lieferte 1206 Publikationen. Zur besseren Einteilung der Suchergebnisse wurde nicht nur zwischen relevanten und für das Suchziel nicht geeigneten Artikeln aufgeteilt, sondern verschiedene Kategorien erstellt, siehe Tabelle 7.1 die sich im Laufe der Titelsichtung ergaben. Dies ermöglichte eine effizientere Kontrolle durch den zweiten, unabhängigen Gutachter, der nur Titel in ausgewählten Kategorien sichtete.

Die Zuordnung einzelner Publikationen erfolgte aufgrund der in der Überschrift aufgezeigten Thematik(en). Sofern dies kaum oder nur schwer möglich war, wurde die

Bezeichnung des Journals zu Hilfe genommen bzw. der Artikel zur Kategorie „ohne Zuordnung“ hinzugefügt. Die Themen der einzelnen Kategorien können sich überschneiden, z. B. Hautkrebs als Folge einer übermäßigen Exposition gegenüber solarer UV-Strahlung ist sowohl für „Hautkrebs“ als auch für „Exposition gegenüber Sonnenstrahlung“ relevant. In solch einem Fall wurde versucht, eine Zuordnung auf Basis des Schwerpunktes der Arbeit vorzunehmen.

Mit insgesamt 168 bzw. 160 Publikationen – entspricht ca. 13,9 % bzw. 13,3 % der Gesamtzahl – wurden Themen zu Hitze sowie zu Gebäuden und ihrer Umgebung am häufigsten vom Suchstring gefunden. Die Sammelkategorie „ohne Zuordnung“ sowie Medizin/Gesundheit stellen mit jeweils 119 Artikeln, respektive 9,9 %, die drittgrößte Position dar. Die Kategorien Materialien, Messungen, Prävention und Schutzmaßnahmen, Flora sowie Fauna tragen (teilweise trotz NOT Verknüpfung) mit jeweils mehr als 50 Artikeln zur Gesamtzahl bei. Nach Ausschluss weiterer, kleinerer Kategorien verbleiben 58 wissenschaftliche Publikationen zur Sichtung ihrer Kurzreferate (Abstracts).

Nach entsprechender Begutachtung verblieben lediglich 3 Artikel zur Volltextsichtung, bei denen alle Haupteinschlusskriterien – Bezug zum Klimawandel, zu solarer UV-Strahlung und zu Arbeitsplätzen – zutrafen. Im Konsens beider Gutachter wurden daher weitere 12 der 58 Publikationen für die Volltextsichtung berücksichtigt, die jeweils zwei der Haupteinschlusskriterien erfüllten und aus Gutachtersicht Bedeutung für die Ergebnisse des Reviews haben.

Tab. 7.1 Kategorienzuordnungen der aus der systematischen Literatursuche gemäß Abbildung 7.2 erhaltenen 1206 wissenschaftlichen Publikationen nach Titelsichtung. Studieninhalte (Themen) sind ohne spezielle Sortierung aufgeführt. Die Anzahl der gesichteten Abstracts und Volltexte ist zusätzlich aufgeführt.

Kategorie	Themen (exemplarisch)	Anzahl/in %
Hitze	Wärmebeanspruchung, thermisches Wohlbefinden, Temperatur	168/13,9
Gebäude/Umgebungen	Häuser, Städte, Straßen, Parkflächen, Tunnel, urbane und ländliche Umgebungen, „grüne Dächer“, Sonnenschutzmanagement	160/13,3
ohne Zuordnung	Inhalte, die den anderen Kategorien nicht zugeordnet werden konnten	119/9,9
Medizin/Gesundheit	Krankheiten, Infektionen, Krebsarten (ohne Hautkrebs), Therapien, Pharmazeutika, Exposition gegenüber Chemikalien, Kosmetik	119/9,9
Materialien	Synthese, Charakterisierung und/oder Sicherheitsaspekte von Farben, Chemikalien, Biomolekülen, Textilien, Polymeren etc.	95/7,9
Messungen	Messtechnik, Simulationen, Sensoren, individuelle Dosisbestimmungen	74/6,1

Kategorie	Themen (exemplarisch)	Anzahl/in %
Prävention/Schutzmaßnahmen	„Sun Safety“ Programme, Hautkrebs-Präventionskampagnen, Interventionen, TOP-Maßnahmen, UV-Filter	71/5,9
Flora	Landwirtschaft, Pflanzen, Algen, Gewächshäuser, Photosynthese, Wälder	63/5,2
Fauna	Tiere, Mikroorganismen, Klärung von Abwässern	58/4,8
Energie	Verwendung/Transformation (grüner) Energien, Energieerzeugung, Solarzellen	47/3,9
solare Exposition	individuelle Exposition, Auswirkungen auf die Gesundheit, Hautkrebsrisiko, UV-Index, Blendung	37/3,1
Hautkrebs	allen Stufen und Arten von Hautkrebs, Hautkrebsrisiko (ohne Bezug zum Klimawandel)	33/2,7
Vitamin D, 25(OH)D	humane Synthese, Serumlevel, Supplementierung, gesundheitliche Auswirkungen von Defiziten	33/2,7
Exposition gegenüber künstlicher Strahlung	Solarien, Lichtexposition, zirkadiane Rhythmik, Laserstrahlung	26/2,2
Atmosphäre	Wetter, atmosphärische Gase und Chemie, Klima, Meteorologie	25/2,1
Luft	Luftqualität, Aerosole, Auswirkungen von Luftverschmutzung	20/1,7
Abstract Sichtung	für die Zielsetzung der Literaturrecherche relevante Kurzzusammenfassungen	58/4,8
Volltextsichtung	für die Zielsetzung des Reviews relevante Artikel	15/1,2

7.2.3 Ergebnisse

Die Intensität der Sonnenstrahlung auf der Erde wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst: Tages- und Jahreszeit, Wolkenbedeckung und Sonnenscheindauer, Breitengrad (ca. 3 – 4 % Erhöhung pro 1° Richtung Äquator), Höhe über Normalnull (ca. 4 % pro 300 m), stratosphärischer Ozongehalt und troposphärische Luftschadstoffe (Grandi et al. 2016). Für die UV-Belastung am Arbeitsplatz sind zusätzlich das individuelle Expositionsverhalten (Dauer, Häufigkeit, Orientierung, Schutzmaßnahmen etc.) und Reflexionen aus der Arbeitsumgebung (Albedo) zu berücksichtigen. Veränderungen des Klimas beeinflussen den Ozon- und Aerosolgehalt, aber auch die regionale Bewölkungssituation und indirekt über steigende Temperaturen das individuelle Expositionsverhalten, siehe Abbildung 7.3. Nachfolgend werden einige dieser Aspekte erörtert.

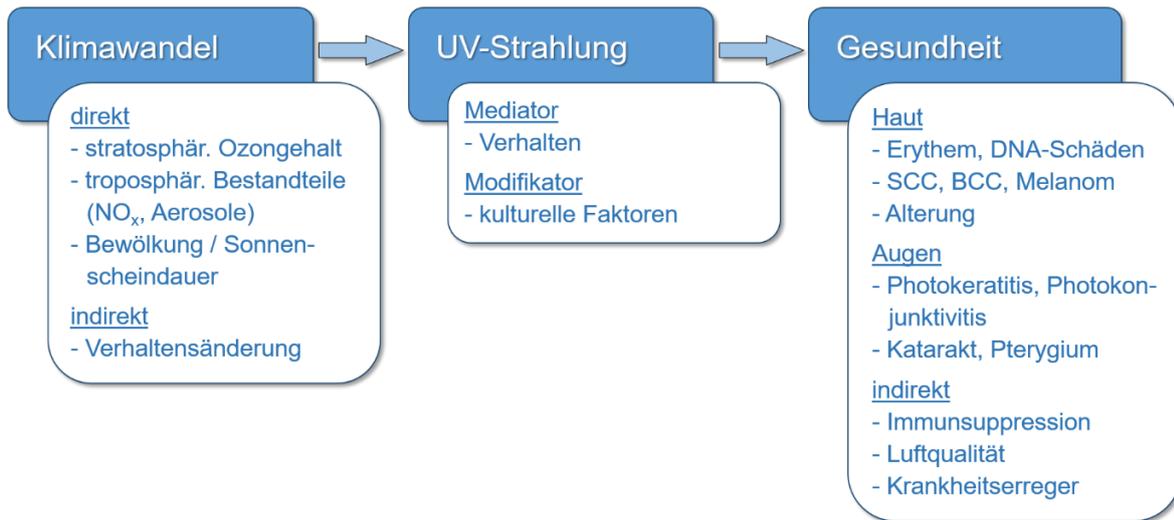


Abb. 7.3 Exemplarische direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf solare UV-Strahlung bzw. Exposition und damit auf die Gesundheit.

Stratosphärischer Ozongehalt

Die exzessive Verwendung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) und anderen Treibhausgasen führte zu einer Verringerung der Ozonschicht. Dieses 1985 als „Ozonloch“ über der Antarktis entdeckte Phänomen wurde aufgrund der inversen Korrelation zu solarer UV-Strahlung als besorgniserregend für sämtliche Lebensformen auf der Erde betrachtet und führte zwei Jahre später zur internationalen Unterzeichnung des Montrealer Protokolls, in dem ozonschädliche Gase aufgeführt werden und deren Verwendung reguliert wird (Jovanovic et al. 2019).

Es wird vermutet, dass eine 1 %ige Ozonschichtverringerung, vermittelt über eine Zunahme solarer UV-Strahlung, zu einer etwa 2 – 3 %igen NMSC-Inzidenzerhöhung führen kann (Grandi, Borra, Militello and Polichetti 2016). Beschäftigte im Freien, die im Vergleich zur Normalbevölkerung eine 2 – 3-fache Lebenszeit-UV-Belastung haben, sind daher von einer verringerten Ozonschicht maßgeblich betroffen.

Schätzungen zum Erfolg des Montrealer Protokolls deuten auf eine Erholung der Ozonschicht in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts hin und damit verbunden auf eine etwa 10 %ige Verringerung Erythem wirksamer solarer UV-Strahlung im Vergleich zum heutigen Niveau (Bais et al. 2015), sofern der Klimawandel diese Erholung nicht verzögert oder negativ beeinflusst. In der aktuellen wissenschaftlichen Beurteilung der World Meteorological Organization (WMO) wird für den Zeitraum 1997 – 2016 jedoch noch keine signifikante Veränderung der Ozonkonzentration (60°S – 60°N) aufgeführt. Berechnungen für mittlere nördliche Breitengrade (darunter Deutschland) prognostizieren eine Erholung der Ozonschicht auf die Konzentration der 1980er Jahre ab etwa 2035 (World Meteorological Organization (WMO) 2019).

Ein Phänomen, welches im Zusammenhang mit der stratosphärischen Ozonschicht und dem Klimawandel steht, sind sogenannte Niedrigozon-Ereignisse. Diese „Mini-Ozonlöcher“ entstehen nach Auflösung des Polarwirbels im Frühjahr, wodurch ozonarme polare Luft nach Mitteleuropa transportiert werden kann. In vielen europäischen Ländern, darunter auch in Deutschland, wurden Niedrigozon-Ereignisse nachgewiesen (Baldermann and Lorenz 2019; Raptis et al. 2021; Schwarz et al. 2018). Vermutlich nimmt ihre Häufigkeit bedingt durch den Klimawandel zu. Niedrigozon-Ereignisse sind verbunden mit ungewöhnlich stark erhöhten UV-Belastungen über mehrere Tage.

Luftschadstoffe/Aerosole

Bestimmte Luftschadstoffe und Aerosole sind UV-absorbierend und die Reduktion entsprechender anthropogener Emissionen kann zur Erhöhung bodennaher solarer UV-Strahlung beitragen. Basierend auf der aktuellen Forschungslage ist eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung schwierig. Erkenntnisse aus dem Frühjahr 2020, als viele Beschäftigte wegen SARS-CoV-2 in Heimarbeit tätig waren und auf die Benutzung von Autos verzichteten, deuten darauf hin, dass eine Verringerung von Luftschadstoffen nur einen geringen Anteil an einer Erhöhung solarer UV-Strahlung hat (van Heerwaarden et al. 2021). Andererseits zeigen Langzeitstudien aus Mexikostadt, dass sich durch eine Verbesserung der Luftqualität der UV-Index stark erhöht hat (Ipina et al. 2021). Bais *et al.* (2015) schätzen bis Ende des 21. Jahrhunderts durch sauberere Luft und als Folge eine verringerte Aerosolkonzentration eine 10 – 20 %ige Erhöhung erythemwirksamer UV-Strahlung (Bais, McKenzie, Bernhard, Aucamp, Ilyas, Madronich and Tourpali 2015).

Wolkenbedeckung/Sonnenscheindauer

Eine direkt wahrnehmbare meteorologische Veränderung mit Auswirkung auf die auf der Erde auftreffende solare UV-Strahlung ist die Bewölkung. Je nach Bewölkungsgrad können $\frac{2}{3}$ der einfallenden Sonnenstrahlung absorbiert werden. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch, dass selbst bei starker Bewölkung solare UV-Strahlung die Erdoberfläche erreicht. Bestimmte Bewölkungssituationen können über Reflexionen die solare UV-Strahlung sogar erhöhen (Bais et al. 2018).

Inwiefern sich der Klimawandel auf die Bewölkungssituation und damit auf die Sonnenscheindauer auswirkt, muss regional betrachtet werden. Eine kroatische Studie analysierte verschiedene meteorologische Parameter im Zeitraum von 1960 bis 2011 mit dem Ergebnis, dass sich die Anzahl der sonnigen Tage regional statistisch nicht verändert hat (linearer Trend $R^2 = 0,14$), jedoch die Anzahl bewölkter Tage abnahm ($R^2 = 0,55$) (Orkic et al. 2015). Zusammen mit der Analyse weiterer Datensätze schlussfolgern die Autoren eine Zunahme der Sonnenscheindauer, verknüpft mit einer erhöhten CM-Inzidenz.

Für Deutschland veröffentlicht der Deutsche Wetterdienst (DWD) regelmäßig Prognosen u. a. zur Sonnenscheindauer. Seit etwa 1950 hat sich in Deutschland die Sonnenscheindauer um ca. 8 – 9 % erhöht⁵⁹. Auswertungen des deutschen UV-Messnetzes deuten darauf hin, dass mehr Sonnenscheinstunden mit einer höheren kumulativen UV-Jahresdosis verbunden sind (Baldermann and Lorenz 2019).

Retro- und prospektive Entwicklung solarer UV-Strahlungsbelastung

Sofern Langzeitdaten solarer UV-Strahlung bekannt sind, z. B. von Bodenmessstationen oder aus Satellitenmessungen, lässt sich aus statistischen Betrachtungen eine mögliche zukünftige Entwicklung abschätzen. Hierfür werden häufig Daten aus den 1970er und 1980er Jahren, dem Zeitraum vor dem Montrealer Protokoll, als gemittelter Ausgangspunkt verwendet. In einer entsprechenden Studie für Australien leiten Lemus-Deschamps und Makin (2012) eine etwa 2 – 6 %-ige jährliche Zunahme solarer UV-Strahlung (berechnet für wolkenlosen Himmel) nach den 1990er Jahren ab (Lemus-Deschamps and Makin 2012). Aufgrund der inversen Korrelation zum Ozongehalt prognostizieren sie eine weitere Zunahme solarer UV-Strahlung, sofern sich die Ozonschicht nicht erholen wird.

⁵⁹ www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html?nn=344886

Für vier Messstationen in Europa (Belsk in Polen, Oslo in Norwegen, Reading in Großbritannien und Uccle in Belgien) ergibt sich zwischen 1980 und 2018 kein einheitliches Verhalten. Statistisch signifikant (2σ Level) zugenommen hat die mittlere erythemwirksame April-UV-Dosis mit ca. 5 % in 10 Jahren nur in Belsk (Czerwinska and Krzyscin 2020). Niederschläge und der sog. Bewölkungsfaktor zeigen keine statistisch signifikanten Trends. Die Autoren verweisen jedoch auf den Zusammenhang zwischen Temperaturzunahme (0,5 – 1,0 K pro Dekade) und Ozonabnahme im April (inverse Korrelation), was verhaltensbedingt zu einer erhöhten UV-Exposition führen kann.

Neale et al. (2021) geben eine durchschnittliche Zunahme solarer UV-Strahlung für mittlere Breitengrade von etwa 4 % pro Dekade in den letzten 20 Jahren an. Die Autoren schlussfolgern, dass, auch wenn eine inverse Korrelation von solarer UV-Strahlung und stratosphärischem Ozongehalt vorliegt, der Einfluss von Aerosolen und der Wolkenbedeckung überwiegt bzw. zukünftig überwiegen wird (Neale, Barnes, Robson, Neale, Williamson, Zepp, Wilson, Madronich, Andrady, Heikkila, Bernhard, Bais, Aucamp, Banaszak, Bornman, Bruckman, Byrne, Foereid, Hader, Hollestein, Hou, Hylander, Jansen, Klekociuk, Liley, Longstreth, Lucas, Martinez-Abaigar, McNeill, Olsen, Pandey, Rhodes, Robinson, Rose, Schikowski, Solomon, Sulzberger, Ukpebor, Wang, Wangberg, White, Yazar, Young, Young, Zhu and Zhu 2021).

Mediatoren und Modifikatoren

Als wichtigster Vermittler solarer UV-Strahlung kann zweifelsfrei das individuelle Expositionsverhalten betrachtet werden. Durch Verringerung der Exposition gegenüber solarer UV-Strahlung lassen sich negative Gesundheitsfolgen reduzieren. Dies trifft insbesondere beim SCC zu, für das die UV-Lebenszeitdosis („jedes SED zählt“) entscheidend ist. Diverse Studien verweisen auf durch den Klimawandel gestiegene Durchschnittstemperaturen, insbesondere im Frühjahr, und auf das damit verbundene typische menschliche Verhalten, bei angenehm warmen (nicht heißen) Temperaturen und sonnigem Wetter verstärkt Aktivitäten im Freien wahrzunehmen (Czerwinska and Krzyscin 2020; Lemus-Deschamps and Makin 2012; Thomas et al. 2012). Als Modifikator kann u. a. das kulturelle Verhalten betrachtet werden. Dies bezieht sich beispielsweise auf die Art der Kleidung (Schmalwieser et al. 2019) aber auch auf den Umfang sozialer Kontaktwahrnehmung im Freien.

Der Klimawandel kann sich über eine veränderte UV-Strahlungsbelastung sowohl direkt als auch indirekt auf die Gesundheit von Beschäftigten in Form von akuten oder Langzeitfolgen auswirken (siehe Abbildung 7.3). Im Folgenden werden ausschließlich bekannte negative Auswirkungen aufgeführt (unvollständig). Positive Effekte von Sonnenstrahlung, wie die lebenswichtige Vitamin-D-Synthese oder der Einfluss auf die zirkadiane Rhythmik, sind hier nicht Bestandteil der Ausführungen.

Akute Gesundheitsfolgen

Eine kurzzeitige Exposition gegenüber zu intensiver UV-Strahlung bzw. eine die Eigenschutzzeit der Haut übersteigende UV-Exposition bewirkt um einige Stunden verzögert eine reversible Entzündung der Haut (Sonnenbrand, Erythem). Aber auch sogenannte Photodermatosen sind als Hautreaktion möglich. Verhaltensbedingt kann es aufgrund von durch den Klimawandel gestiegenen, insbesondere im Frühjahr angenehmeren Durchschnittstemperaturen zu verstärkter Außenaktivität und/oder leichter Bekleidung kommen, beides mit dem Resultat einer gesteigerten UV-Exposition nicht-vorgebräunter Haut (Czerwinska and Krzyscin 2020; Thomas, Swaminathan and Lucas 2012). Darüber hinaus liegt durch das zunehmende Auftreten von Niedrigozon-

Ereignissen im Frühjahr, verbunden mit stark erhöhten UV-Bestrahlungsstärken, ein zusätzliches Erythemrisiko vor (Baldermann and Lorenz 2019).

Akut von schädlichen Effekten solarer UV-Strahlung betroffen sind außerdem die Augen. Hier kann es in der Horn- und Bindehaut zu entzündlichen Reaktionen (Photo-keratitis, Photokonjunktivitis) kommen. Aufgrund ihrer starken Blendung ist am Arbeitsplatz ein längerer direkter Blick in die Sonne unwahrscheinlich und potentielle Schädigungen resultieren überwiegend von reflektierter solarer UV-Strahlung aus der Arbeitsplatzumgebung (Albedo).

Eine klimawandelbedingt gesteigerte Exposition gegenüber solarer UV-Strahlung erhöht das Risiko für die genannten akuten Erkrankungen.

Langzeitfolgen

Es ist zweifelsfrei nachgewiesen, dass eine hohe berufliche kumulative UV-Exposition (Lebenszeitdosis) das NMSC-Risiko deutlich erhöht: SCC mit einem Odds Ratio von 1,77 (Schmitt, Seidler, Diepgen and Bauer 2011) und BCC mit einem Odds Ratio von 1,43 (Bauer, Diepgen and Schmitt 2011). In einer gemeinsamen systematischen Literaturrecherche und Metaanalyse von WHO und ILO werden die relativen Risiken mit 1,50 (BCC) und 2,42 (SCC), insbesondere für das SCC, deutlich höher angegeben (World Health Organization (WHO) 2021).

Zahlreiche Studien belegen seit Jahren oder Jahrzehnten weltweit steigende NMSC-Inzidenzen. Grandi *et al.* (2016) berichten von einer durchschnittlichen 3 – 8 %igen jährlichen NMSC-Inzidenzerhöhung in Europa, Australien und den USA. In Deutschland sind die altersstandardisierten NMSC-Neuerkrankungsraten seit 2015 rückläufig, das Robert Koch-Institut verweist jedoch auf einen möglichen Rückgang in der Erfassungsquote (Robert Koch-Institut (RKI) and Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland (GEKID) 2021). Basierend auf einer 1 %igen Abnahme der Ozonschicht wird mit einer etwa 2 %igen Erhöhung solarer UV-Strahlung (Diffey 1992) und daraus folgend mit einer etwa 2 – 3 %igen Zunahme der NMSC-Inzidenz gerechnet (Grandi, Borra, Militello and Polichetti 2016).

Auch für das maligne Melanom steigen die Inzidenzen in vielen Ländern kontinuierlich an, z. B. in Kanada mit ca. 2 % pro Jahr (Pinault *et al.* 2017) oder in Dänemark, Finnland, Island, Norwegen und Schweden, wo sich die CM-Inzidenz in den letzten 60 Jahren vervierfacht hat (Alfonso *et al.* 2021). Weltweit zeigt sich eine jährliche Inzidenzzunahme von etwa 3 – 8 % (Czerwinska and Krzyscin 2020; Grandi, Borra, Militello and Polichetti 2016). Für Deutschland gibt das RKI eine im Mittel (Frauen und Männer) konstante altersstandardisierte Neuerkrankungsrate seit etwa 2012 an (Robert Koch-Institut (RKI) and Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland (GEKID) 2021). Solare UV-Strahlung bzw. UV-Strahlung allgemein ist sehr wahrscheinlich der wichtigste exogene Risikofaktor für bösartigen Hautkrebs (International Agency for Research on Cancer (IARC) 2012). Aufgrund einer Reihe zusätzlicher Risikofaktoren wie Anzahl der Muttermale, Hauttyp, Alter oder Geschlecht, konnte bisher keine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen MM-Risiko und beruflicher UV-Exposition abgeleitet werden. Beschäftigte im Freien haben in nordischen Ländern sogar ein niedrigeres MM-Risiko als Beschäftigte in Innenräumen (Alfonso, Martinsen, Weiderpass, Pukkala, Kjaerheim, Tryggvadottir and Lyngge 2021). Ursächlich hierfür könnten die rauen klimatischen Arbeitsumgebungsbedingungen sein, die zwangsläufig zur großflächigen textilen Bedeckung der Haut führen. Aber auch das individuelle Freizeitverhalten spielt hier eine wesentliche Rolle.

Eine der häufigsten Augenerkrankungen nach langjähriger UV-Exposition ist die Katarakt (grauer Star, Linsentrübung), die weltweite Hauptursache für Erblindung (Grandi, Borra, Militello and Polichetti 2016; Neale, Barnes, Robson, Neale, Williamson, Zepp, Wilson, Madronich, Andrad, Heikkila, Bernhard, Bais, Aucamp, Banaszak, Bornman, Bruckman, Byrne, Foereid, Hader, Hollestein, Hou, Hylander, Jansen, Klekociuk, Liley, Longstreth, Lucas, Martinez-Abaigar, McNeill, Olsen, Pandey, Rhodes, Robinson, Rose, Schikowski, Solomon, Sulzberger, Ukpebor, Wang, Wangberg, White, Yazar, Young, Young, Zhu and Zhu 2021). WHO und ILO bereiten zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes, wie bereits für MM und NMSC geschehen, ein systematisches Review mit Metaanalyse zu beruflich bedingter Katarakt vor (Tenkate et al. 2019).

Weitere, weniger bekannte Langzeitfolgen sind z. B. das Pterygium (Flügelfell), bei dem als Folge einer chronischen UV-Exposition die Bindehaut seitlich in die Hornhaut wuchert, oder die altersbedingte Makulardegeneration (AMD). Ein Zusammenhang zwischen einer hohen beruflichen Lebenszeitdosis und AMD konnte noch nicht eindeutig nachgewiesen werden, Studien deuten jedoch auf eine maßgebliche Beteiligung des blauen Spektralanteils der Sonnenstrahlung hin (Modenese and Gobba 2019).

Indirekte Auswirkungen

Eine Reihe indirekter Gesundheitsfolgen sind bekannt, die durch den Klimawandel verstärkt werden können (Grandi, Borra, Militello and Polichetti 2016; Thomas, Swaminathan and Lucas 2012). Solare UV-Strahlung kann zur Immunsuppression führen, wodurch eine Erkrankung z. B. durch Viren (Herpes) oder Bakterien wahrscheinlicher würde. Es gibt Überlegungen, dass die Unterdrückung des Immunsystems selbst eine Rolle bei der Karzinogenität solarer UV-Strahlung spielt.

Außerdem beeinflusst solare UV-Strahlung die Luftqualität: Über die Entstehung von Hydroxyl-Radikalen kann sie zur „Reinigung“ der Luft beitragen, durch Wechselwirkung mit (anthropogenen) NO_x-Gasen aber auch sog. photochemischen Smog (Aerosole, troposphärisches Ozon) verursachen. Ozon ist für Menschen giftig. Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen können die Folge sein.

Gesundheitliche Effekte von Sonnenstrahlung auf das Wohlbefinden oder die zirkadiane Rhythmik sind Bestandteil aktueller Forschung. Ein möglicher Einfluss des Klimawandels bzw. klimawandelbedingt veränderter Umgebungsfaktoren ist daher in dieser Hinsicht (noch) schwer zu analysieren.

7.3 Infektionskrankheiten

7.3.1 Aufbau und Funktion des Suchstrings

Für die systematische Literaturrecherche zu Gefahren durch sich ausbreitende Infektionserreger wurden die Suchstrings in die 3 Kategorien „Risk factor (1)“, „Climate change (2)“ und „Occupation (3)“ eingeteilt (siehe Abbildung 7.4). Der Fokus der Recherche lag auf Infektionskrankheiten, insbesondere vektorübertragenen Krankheiten im Zusammenhang mit Klimawandel und Arbeitsschutz; dementsprechend wurden die Kategorien mit relevanten Suchbegriffen gefüllt und eine exakte Literatursuche durchgeführt.

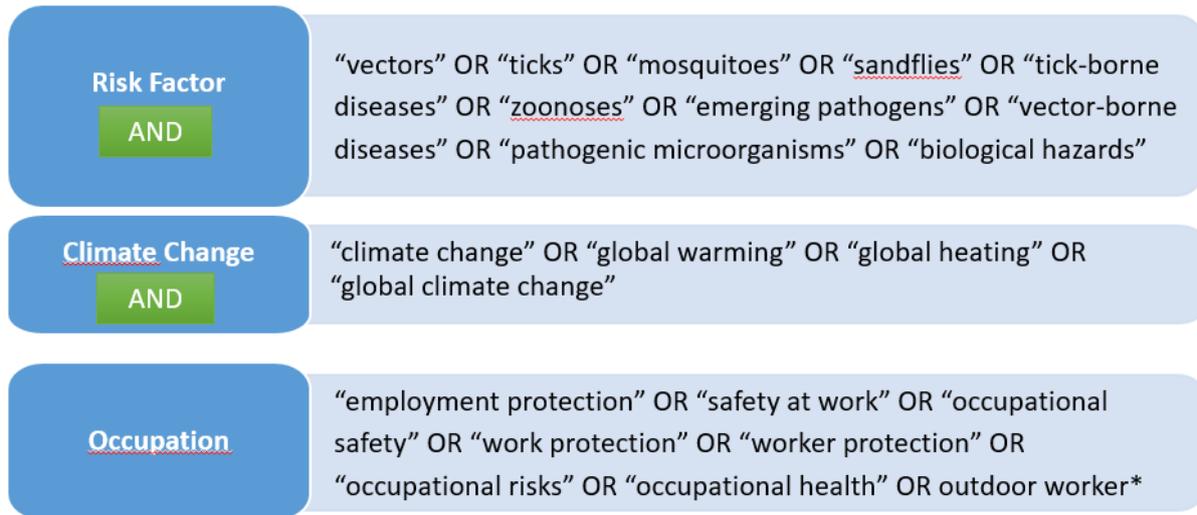


Abb. 7.4 Übersicht des Suchstrings zu Infektionskrankheiten mit Oberbegriffen zu den einzelnen Kategorien, die mit AND verknüpft sind und Suchbegriffe innerhalb einer Kategorie, die mit OR verbunden sind

7.3.2 Titelsichtung und Kategorisierung

Durch den Suchstring wurden zu Klimawandel, Infektionserreger und Arbeitsschutz insgesamt 14 Publikationen mit der Literaturdatenbank „Web of Science“ gefunden. Vier Literaturstellen wurden nicht in die Volltextsichtung einbezogen, da diese sich mit ausschließlich anderen Themen (wie z. B. Hitze) beschäftigen. Zudem traten im Rahmen der Volltextsichtung Fragen auf, die mit Quellen ohne Suchstring ergänzt wurden und so im Ergebnistext berücksichtigt wurden. Insgesamt wurden 35 Literaturstellen berücksichtigt. Aus der Literatur lassen sich wichtige Fragestellungen zum notwendigen Forschungsbedarf bzw. zur Anpassung der Schutzmaßnahmen an den Arbeitsplätzen und risikobehaftete Arbeitsplätze ableiten. Der Forschungsbedarf ist unter Kapitel 8 aufgeführt.

7.3.3 Ergebnisse

Klimawandel und Infektionsrisiken aus der Umwelt

Infektionen, deren Übertragung durch Klimawandel besonders beeinflusst sein können, sind: erstens durch Vektoren übertragene Krankheiten, zweitens durch Wasser und Lebensmittel übertragene Krankheiten und drittens durch Luft übertragene Krankheiten. Ferner kann es im Zuge des Rückganges vereister und vergletschelter Gebiete zur Freilegung vormals in Permafrost und Eis eingeschlossener Erreger kommen.

Klimawandel und vektorübertragene sowie zoonotische Infektionen

Die Literatur zeigt, dass vektorübertragbare Infektionen am meisten von klimatischen Änderungen betroffen sein werden. Laut Weltklimarat werden durch Erwärmungen von 1,5 °C auf 2 °C besonders Malaria und Denguefieber zunehmen und auch in neuen Gebieten auftreten (Allan et al. 2021; Allen, Babiker, Chen, de Coninck, Connors, van Diemen, Dube, Ebi, Engelbrecht and Ferrat 2018). Die WHO schätzt, dass 17 % der weltweiten Infektionen vektorübertragen sind und 80 % der Weltpopulation dem Risiko vektorübertragener Infektionen ausgesetzt sind. Über 700.000 Sterbefälle sind jährlich

auf vektorübertragene Infektionen zurückzuführen (Organization and UNICEF 2017). Spezifische Auswirkungen des Klimawandels auf vektorübertragene Infektionen hängen stark von Vektor, Übertragungszyklus und Erreger ab. Darüber hinaus können ökologische Veränderungen Einfluss auf das Auftreten von Vektoren und Infektionserregern haben: So können steigende Temperaturen zu verkürzten Generationsdauern der Vektoren führen und milde Winter zu verlängerten Aktivitätsperioden im Jahr, höheren Überlebensraten und der Etablierung in neuen Gebieten nach Einschleppung. Auch Änderungen der Artenvielfalt und Räuber-Beute-Beziehungen können die Abundanz von Vektoren beeinflussen. Zecken sind ein Musterbeispiel für die klimawandelbedingte Ausbreitung vektorübertragender Krankheiten, und mittlerweile auch in nördlichen Regionen Schwedens und Norwegens zu finden. Dabei sei zu erwähnen, dass sich Zecken nur über ihren Wirt über größere Entfernungen verbreiten können und meist über Zugvögel in andere Gebiete vordringen (Gray et al. 2009).

Vektoren mit hohem Gefährdungspotential im Zuge des Klimawandels sind Stechmücken wie die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*), einem Vektor von Dengue-, Chikungunya- und Gelbfieberviren. Sie breitet sich durch die milden Temperaturen in Europa neben der Ägyptische Tigermücke (*Aedes aegypti*) und Zeckenarten wie der Schildzecke (*Hyalomma marginatum*) aus (Becker 2008). Weiterhin wurde über die zunehmende Einschleppung nicht heimischer Krankheitserreger, deren Überträger und entsprechende Krankheitsfälle in Deutschland berichtet (Eis et al. 2011). Höheren Temperaturen könnten zudem das endemische Potential des Dengue Virus (DEP) entlang eines Süd-Nord-Gefälles erhöhen (Liu-Helmersson et al. 2016).

Das Klima ist jedoch nicht der alleinige Faktor, der zu einer Ausbreitung neuer Vektoren in Deutschland führt. Zusätzlich tragen Nahrungsangebote, Bruthabitate und Biotopstrukturen ebenso dazu bei, ob ein Vektor in einer neuen Region heimisch wird (Eis, Helm, Laußmann and Stark 2011). Auch andere Faktoren wie das globale Bevölkerungswachstum, Gebrauch von Antibiotika, Veränderungen im menschlichen Verhalten, Veränderungen von Lebensräumen, vermehrten Freizeitaktivitäten im Outdoor-Bereich und der Transport, Export/Import von Tieren sind ebenso wichtig für die Betrachtung zur Ausbreitungstendenz von Vektoren (Vonesch et al. 2016). **Aus diesen Gründen sind bisher nur stark eingeschränkte Aussagen zur Ausbreitung neuer Vektoren und Infektionskrankheiten mit Bezug zum Klimawandel möglich.**

In Deutschland traten bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts Malariainfektionen auf, deren Parasiten durch die heimische Anophelesmücke übertragen wurden. Man geht davon aus, dass globale Erwärmung effizientere Vektoren für Malariaerreger nach Europa bringen wird (Frank et al. 2014). In den letzten Jahrzehnten sind autochthone Dengue- und Chikungunyavirus-Epidemien, für die *Aedes albopictus* Vektor ist, in Europa und den USA beschrieben wurden (Rezza 2008). Diese Ausbrüche wurden durch Reisende aus endemischen Gebieten eingeschleppt, aber das Vorhandensein eines Vektors hat die Übertragung auf die lokale Bevölkerung ermöglicht (La Ruche et al. 2010). Das durch *A. albopictus* übertragene Gelbfiebervirus wurde in den 1970er Jahren nach Europa eingeschleppt, ist heute in mindestens 12 Staaten präsent und könnte sogar bis nach Skandinavien vordringen (Caminade et al. 2012). Ob Zika-Virus-Infektionen während der Sommersaison in Europa durch *Aedes albopictus* möglich sind, ist jedoch noch nicht erwiesen (Rezza 2016).

Vektorkontrolle und Infektionsmeldepflichten spielen bei Bekämpfungsmaßnahmen eine große Rolle. Jedoch kann ein Erreger wie das West-Nil Virus, das ein großes

Reservoirspektrum hat und durch Wildvögel übertragen wird, leicht endemisch werden (Moro et al. 2010). Nach dem ersten gemeldeten Ausbruch in Europa (Südfrankreich) und in den den USA (New York), ist das West-Nil Virus nun in diesen Gebieten etabliert (Paz and Semenza 2013).

Hinsichtlich der Zecken ist es möglich, dass die steigende Temperatur bereits zu einer Veränderung in der Populationsverteilung von *Ixodes ricinus*, dem Überträger der Erreger der Zeckenzephalitis und der Lyme-Borreliose in Europa führt. Das vermehrte Auftreten der durch Zecken übertragenen Enzephalitis wurde auch mit milderem Wintern und dadurch längerer saisonaler Zeckenaktivität in Verbindung gebracht (Zeman and Beneš 2004) (Danielová et al. 2008) (Lukan et al. 2010) (Lindgren et al. 2000). Tabelle 7.2 zeigt exemplarisch Erreger und Vektoren mit potentieller Klimawandelrelevanz für Deutschland.

Tab. 7.2: Klimasensible Erreger, Vektoren und Vektor-übertragende Krankheiten (angepasst nach Tabelle 14.1 aus dem Buch „Klimawandel in Deutschland“ (2017), Kap.14.3.2 Infektionskrankheiten; S.142 – 145; (Brasseur et al. 2017))

Krankheit	Erreger	Übertragung (ggf. Vektor)	derzeitige Gefährdung	bis 2050	bis 2100 + 2 °C Welt	bis 2100 + 4 °C Welt
Lyme-Borreliose	Borrelia burgdorferi	Zecken (Ixodes ricinus)	+	++	++	+++
FSME	FSME-Virus	Zecken (Ixodes ricinus)	+	+	++	+++
Malaria tropica	Plasmodium falciparum	Anopheles-Mücken	0	0	+	++
Malaria tertiana	Plasmodium vivax, P. ovale	Anopheles-Mücken	0	0	+	++
Leishmaniose	Leishmania infantum	Sandmücken	0	+	+	+++
Denguefieber	Denguevirus	Aedes-Mücken	0	+	+	+++
Gelbfieber	Gelbfiebervirus	Aedes-Mücken	0	+	+	++
Chikungunyafieber	Chikungunyavirus	Aedes-Mücken	0	+	+	++
West-Nil-Fieber (WNF)	WNF-Virus	Culex-Mücken	0	+	+	++

0= praktisch keine Gefährdung; + = Krankheit kommt vereinzelt vor; ++ = Krankheit häufiger, gut beherrschbar; +++ = Krankheit häufiger, Herausforderung für Anpassung

Gegenwärtig gibt es nur wenige gesicherte Daten über die Verbreitung der in Deutschland heimischen Stechmücken- und Zeckenarten einschließlich der für humane Erreger kompetenten Arten. Um Informationen über Stechmücken und Zecken und ihre Verbreitung in Deutschland und Europa zu erhalten, sind mittlerweile diverse Projekte und Informationsseiten für die Öffentlichkeit zugänglich. Darunter fällt z. B. der Mückenatlas⁶⁰, der mit Hilfe privater Zusendungen die Verbreitung der Stechmückenarten in Deutschland kartographiert. Das ZePaK-Projekt⁶¹ des Robert Koch-Institutes erforscht, welche Zeckenarten neu vorkommen und welche Krankheitserreger sie in sich tragen. Das Friedrich-Löffler-Institut (FLI) hat vor dem Hintergrund der fortschreitenden Ausbreitung von Stechmücken einen Forschungsschwerpunkt zur Risikobewertung stechmückenassoziierter Krankheiten in Deutschland gesetzt. Das Labor für Stechmücken-Monitoring befasst sich mit der Verbreitung einheimischer und invasiver Stechmücken-Arten und deren Rolle als Vektoren humaner Infektionen in Deutschland. Die Daten dienen der Risikoanalyse hinsichtlich stechmückenassoziierte Krankheiten von Mensch und Tier sowie der Planung der Vektorkontrolle. Das Europäische Zentrum für Prävention und Kontrolle von Krankheiten (ECDC; European Centre for Disease Prevention and Control) hält darüber hinaus Informationen zu Vektoren⁶² und deren aktuelle Verbreitung in Europa⁶³ bereit.

Eine Studie zum humanen Zeckenbefallsmuster, der Zeckenbissrate und des damit verbundenen *Borrelia burgdorferi*-Infektionsrisikos bei der beruflichen Tätigkeit von Angehörigen des Militärs auf dem Truppenübungsplatz Seedorf in Nordwestdeutschland resümierte, dass persönliche Schutzmaßnahmen, Gesundheitserziehung und Ausbildung des medizinischen Personals weiter verbessert werden müssen, um Bewusstsein zu stärken und Exposition gegenüber Zecken zu minimieren und die Diagnose von durch Zecken übertragenen Krankheiten zu optimieren (Faulde et al. 2014).

Wasser- und lebensmittelübertragene Infektionen

Beschäftigte können sich mit wasser- oder lebensmittelübertragenen Krankheitserregern anstecken, wenn sie direkten Kontakt mit kontaminiertem Wasser oder kontaminierten Lebensmitteln haben. Beispiele bedeutender Erreger sind Salmonellen, Shigellen und *Giardia lamblia* (Schulte and Chun 2009). Die Exposition kann über verunreinigtes Trinkwasser (durch menschliche Abfälle oder landwirtschaftliche Abwässer), Meeresfrüchte (aufgrund natürlicher mikrobieller Gefahren oder Toxine) oder unhygienisch verarbeitete Frischwaren erfolgen. Durch Wasser übertragene Krankheitserreger werden mit anderen schwerwiegenden Erkrankungen in Verbindung gebracht, darunter respiratorische, hepatische, lymphatische, neurologische und endokrinologische Erkrankungen.

Der anthropogene Klimawandel führt dazu, dass die Zahl der warmen Tage und Nächte sowie die Häufigkeit und Intensität von Dürren und Starkregenereignissen zunehmen (Stocker 2014). Dies hat auch Auswirkungen auf durch Wasser übertragbare Krankheiten, da hohe Temperaturen Verbreitung, Vermehrung und Virulenz von

⁶⁰ mueckenatlas.com/

⁶¹ www.zepak-rki.de/

⁶² www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/facts

⁶³ www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data

Krankheitserregern verändern können, starke Regenfälle Krankheitserreger mobilisieren und die Wasser- und Abwasserinfrastruktur beeinträchtigen sowie Dürren Krankheitserreger in begrenzten Wasservorräten konzentrieren können (Vonesch, D'Ovidio, Melis, Remoli, grazia Ciufolini and Tomao 2016) (Levy et al. 2016). Der Weltklimarat stellt fest, dass mit „sehr hoher Wahrscheinlichkeit“ mit einem erhöhten Risiko lebensmittel- und wasserbedingter Krankheiten zu rechnen ist, „wenn sich der Klimawandel wie in den Szenarien des repräsentativen Konzentrationspfads (RCP) bis zur Mitte des Jahrhunderts fortsetzt“.

Eine bedeutende Infektionskrankheit, die durch Wasser und Wassertröpfchen übertragen wird und deren zunehmende Bedeutung im Zusammenhang mit wärmeren Temperaturen diskutiert wird ist die Legionellose, übertragen durch Bakterien der Gattung *Legionella*, vor allem *L. pneumophila* (Morey 2010) (Han 2021). Durchfallerkrankungen können durch erregerbelastetes, unhygienisches Trinkwasser entstehen und durch den Klimawandel zusätzlich begünstigt werden. So wurden Ausbrüche von Durchfallerkrankungen mit starken Regenfällen und auch mit Trockenperioden in Verbindung gebracht (Curriero et al. 2001) (Thomas et al. 2006). Daraus geht hervor, dass wasser- und lebensmittelassoziierte Krankheitserreger durch Trockenperioden konzentriert werden und Niederschläge sie mobilisieren können, was Einfluss auf die mikrobiologische Trinkwasserqualität haben kann (Levy et al. 2018). Neben Trinkwasserquellen werden auch andere Gewässer in ihrer Mikrobiologie durch den Klimawandel beeinflusst. Man geht z. B. davon aus, dass klimabedingte Veränderungen der Ostsee die Vermehrung von Vibrionen begünstigen. Vibrionen sind Bakterien der Mikroflora in Gewässern, können aber auch humane Magen-Darm-Infektionen, Wundinfektionen bis hin zu Blutvergiftungen auslösen. Viele Vibrionen-Arten vermehren sich ab einer Wassertemperatur von 20 °C besonders gut, dadurch fallen die höchsten Infektionsraten in Nordeuropa zwischen Mai und Oktober an (Brehm et al. 2021).

Die Kontamination von Lebensmitteln mit Infektionserregern kann entlang der gesamten Lebensmittelkette stattfinden. Lebensmittelassoziierte Infektionserreger haben oft weitere Übertragungswege, z. B. durch Kontakt bei der Tierhaltung oder durch kontaminiertes Wasser, so dass die ursächliche Bestimmung schwierig sein kann. Die Behandlung von Lebensmittelinfektionen kann durch antimikrobielle Resistenzen erschwert sein. Auswirkungen des Klimawandels auf Lebensmittelinfektionen sind wegen veränderlicher Risikofaktoren nicht linear, dies muss im Mittelpunkt der klinischen und gesundheitspolitischen Bemühungen sein. Zusätzliche Forschungsarbeiten einschließlich mathematischer Modellierungen können neue Ansätze für Prävention Vorbeugung, Früherkennung und Schadensbegrenzung aufzeigen.

Luftübertragene Krankheiten

Es wird erwartet, dass der Klimawandel die Luftqualität auf mehreren Wegen beeinflussen wird, einschließlich der Produktion und Allergenität von Allergenen, Erhöhung der regionalen Konzentrationen von Ozon, Feinstaub und der Übertragung von Infektionserregern durch Staubpartikel. Neben Waldbränden werden auch Dürreperioden (und die damit verbundene Verwehung von Boden und Staub) zur Luftverschmutzung beitragen. Höhere und saisonal längere Pollenproduktion kann zu mehr allergischen Erkrankungen führen. Beschäftigte, die am ehesten von erhöhter Luftverschmutzung betroffen sind, sind vor allem Arbeiter im Freien in städtischer Umgebung, Feuerwehrleute, Autofahrer und Beschäftigte in Innenräumen ohne gefilterte Luft.

Wind ist ein Schlüsselfaktor, der sich auf die Erreger von durch die Luft übertragenen Krankheiten auswirkt. In der Literatur wurde eine positive Korrelation zwischen der

Assoziation/Anhaftung von Staubpartikeln und dem Überleben/Transport von Viren festgestellt (Chen et al. 2010). So wurde gezeigt, dass die aerogene Konzentration des Influenza-A-Virus an asiatischen Staubsturm-Tagen (ASD) deutlich höher war als an normalen Tagen. Weitere Studien zeigen, dass atmosphärischer Staub aus Stürmen über Wüsten mit erhöhter Konzentration kultivierbarer Bakterien, kultivierbarer Pilze und Pilzsporen verbunden ist (Griffin 2007); (Schlesinger et al. 2006).

Wiederauftreten alter Krankheiten und Entstehung von mutierten Infektionserregern

Die Temperaturen am Polarkreis steigen schnell an und führen zum Schmelzen des Eises und Permafrostes. Dies kann zum erneuten Eintritt alter Infektionserreger in die Biosphäre führen, wenn diese vormals in Permafrostboden konserviert waren. Manche Krankheitserreger können auch viele Jahre im Eis überleben. Im Jahr 2016 starben ein 12-jähriges Kind und 20 Menschen infizierten sich mit Milzbrand in Russland, wo eine Hitzewelle den Permafrostboden aufgetaut und den Kadaver eines Rentiers freigelegt hatte, das 75 Jahre zuvor an der Krankheit gestorben war (Ezhova et al. 2021). Genfragmente des spanischen Grippevirus von 1918 konnten in Gebeinen in Massengräbern der Tundra Alaskas nachgewiesen werden (Taubenberger et al. 2005). Ein anderes Forscherteam entnahm Proben des ältesten Gletschereises der Erde aus 50 Metern Tiefe in Tibet und entdeckte 28 Viren, die den Wissenschaftlern bisher unbekannt waren. Da das Eis aufgrund des Klimawandels schmilzt, besteht die Sorge, dass Krankheitserreger freigesetzt werden könnten, auf die unser Immunsystem nicht vorbereitet ist (Zhong et al. 2021).

Ein sich veränderndes Klima könnte auch neue Infektionskrankheiten hervorbringen, da Krankheitserreger mutieren und sich weiterentwickeln, um sich an wärmere Temperaturen in großen Teilen der Welt anzupassen. Eine im Januar 2020 veröffentlichte Studie der Johns Hopkins University gibt Anlass zur Sorge, dass der Klimawandel zur Entwicklung neuer hitzetoleranter Krankheiten führen wird, die eine unserer wichtigsten natürlichen Abwehrkräfte gefährden – das Fieber, die Fähigkeit von Säugetieren, hohe Temperaturen zur Bekämpfung von Infektionen aufrechtzuerhalten (Casadevall 2020).

Die Literatur zeigt, dass Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz noch nicht umfassend untersucht worden ist (Schulte and Chun 2009) (Brondízio et al. 2016); (Ebi et al. 2018). Die wenigen Untersuchungen, die sich spezifisch damit befassen, zeigen, dass Beschäftigte in Berufen wie Landwirte, Förster, Landschaftsgärtner, Platzwarte, Gärtner, Maler, Dachdecker, Bauarbeiter, Monteure und alle anderen Beschäftigten, die im Freien tätig sind, einer erhöhten Gefährdung gegenüber Infektionskrankheiten, insbesondere vektorübertragenen Krankheiten, erwartungsgemäß ausgesetzt sind (Schulte et al. 2020) (Levi et al. 2018). Gleichzeitig wird z. B. in Gebieten mit endemischer Malaria beobachtet, dass der Einfluss der Temperatur auf die Epidemiologie regional und bei Betrachtung kurzer Zeiträume spezifisch unterschiedlich sein kann (Singh et al. 2016). Deshalb sollten regionale, spezifische Faktoren bei Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels berücksichtigt werden. Beschäftigte können unter entsprechenden Arbeitsbedingungen wasser- oder lebensmittelübertragene Infektionen bekommen. Auch Notfallhelfer und Mitarbeiter des Gesundheitswesens sind dem Risiko verschiedener Infektionskrankheiten ausgesetzt (z. B., vektor-, wasser-, lebensmittel- und luftübertragene Infektionen), genauso wie Tierpathologen, die Nekropsien von infizierten Vögeln oder

Nagetieren durchführen oder mit infizierten Geweben oder Flüssigkeiten umgehen (Schulte and Chun 2009).

Die untersuchte Literatur macht immer wieder deutlich, dass der Klimawandel allein nicht die Veränderungen erklären kann und viele andere Faktoren bei der Ausbreitung von Infektionskrankheiten eine Rolle spielen. Es besteht nach wie vor Ungewissheit darüber, ob die Ausbreitung oder das Wiederauftreten von Krankheiten auf den Klimawandel zurückzuführen ist, da es an langfristigen, qualitativ hochwertigen Datensätzen fehlt und sozioökonomische Faktoren sowie Veränderungen der Immunität und Resistenz eine große Rolle spielen. Zudem wird die Gesundheit der Beschäftigten nicht nur durch berufliche Risiken bestimmt, sondern auch durch Beschäftigungsstatus, Einkommen und Zugang zu Gesundheitssystemen.

7.4 Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine

7.4.1 Aufbau und Funktion des Suchstrings

Zur Identifikation relevanter Literatur wurde eine systematische Suche in den Literaturdatenbank EMBASE durchgeführt. Vorab wurde ein Suchstring definiert, der auf die Exposition durch pflanzliche Allergene am Arbeitsplatz fokussiert. Die in Abbildung 7.5 dargestellten Begriffe beziehen sich auf die Suche in der Literaturdatenbank Embase. Bezüglich tierischen Allergenen und Toxinen konnte auf dazu an der BAuA bereits vorgenommenen aktuellen Recherchen zurückgegriffen werden.

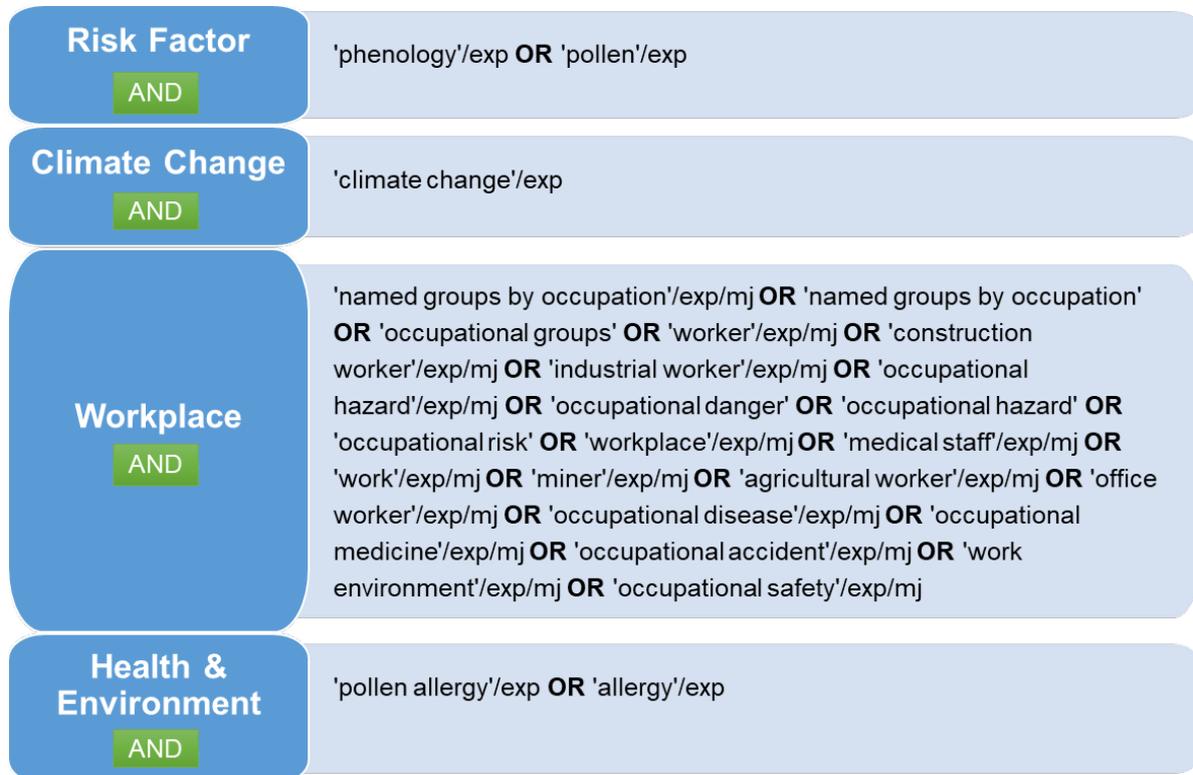


Abb. 7.5 Struktur des Suchstrings zu pflanzlichen Allergenen mit Oberbegriffen zu den einzelnen Kategorien, die mit AND verknüpft sind (links), Suchbegriffe innerhalb einer Kategorie sind mit OR verbunden (rechts)

7.4.2 Artikelsichtung

Die systematische Suche in der Literaturlatenbank Embase ergab 146 Treffer. Fokussiert wurde bei der Auswertung auf relevante Primärstudien und Arbeiten jüngerer Datums, die durch zusätzliche, das Thema vertiefende Texte ergänzt wurden. Die nachfolgende Ergebnisdarstellung basiert auf insgesamt 31 Literaturstellen.

7.4.3 Ergebnisse

Allergische Reaktionen durch Pflanzen werden insbesondere durch ihre Pollen ausgelöst: Mit einer Größe zwischen 13,2 – 17,2 µm (Fuchsschwanz (*Amaranthus*): Piotrowska-Weryszko et al. 2021) und 34,9 – 48,6 µm (Roggen (*Secale cereale*): Piotrowska 2008) werden sie mit dem Wind in der Atmosphäre verbreitet und gelangen so auf die Schleimhäute von Augen und Atemwegen des Menschen. Werden die Pollen durch einen Organismus als Fremdkörper erkannt und infolgedessen Antikörper gebildet, kommt es bei erneutem Kontakt zu einer allergischen Reaktion, die allgemein als Heuschnupfen bekannt ist: Beschwerden an Augen (Tränen, Jucken, Schwellung) und Atemwegen (Niesreiz, Fließschnupfen, Husten, Atemnot) zählen ebenso zu den Symptomen wie Kopfschmerzen, Schlafstörungen oder Fieber. Zudem kann Heuschnupfen im weiteren Verlauf zu allergischem Asthma führen. Zwar ist das Leben nur in den seltensten Fällen akut gefährdet, doch die Lebensqualität der Betroffenen ist drastisch herabgesetzt.

In Deutschland allergologisch besonders bedeutsam sind die **Pollenarten der einheimischen Bäume** Hasel, Erle, Birke und Esche, sowie von Beifuß, von Roggen und von Gräsern allgemein. Zu den Pollen einheimischer Pflanzen kommen **Gefährdungen durch neu eingewanderte Pflanzenarten (Neophyten)**. Ein inzwischen recht bekanntes Beispiel dafür ist das beifußblättrige Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*). Diese ursprünglich als Zierpflanze für Gärten aus Nordamerika eingeführte Art breitet sich mittlerweile bevorzugt auf gestörten, offenen Böden selbständig aus, wobei ihre Pollen ein hohes allergenes Potenzial aufweisen.

Seit 1983 werden in Deutschland insgesamt 195 Pollentypen in Pollenfallen aufgefangen, täglich ausgezählt und seit 2000 in einer EU-weiten Datenbank (European Aeroallergen Network ean) erfasst (Scheid and Bergmann 2004). Aufgrund dieser Erhebung erfolgen einerseits im Rahmen des Pollenflug-Gefahrenindex tägliche Vorhersagen durch den Deutschen Wetterdienst, detailliert aufgeschlüsselt für die acht allergologisch wichtigsten Blütenpollen in 27 Gebiete Deutschlands (Deutscher Wetterdienst s.a.). Zum anderen bilden sie die Basis für entsprechende Jahresübersichten (vgl. Abbildung 7.6) (Werchan et al. 2018).

Gesamtdeutscher Pollenflugkalender

(nach Pollenflugdaten von 2011 bis 2016)



© Stiftung Deutscher
Polleninformationsdienst
Charitéplatz 1, 10117 Berlin

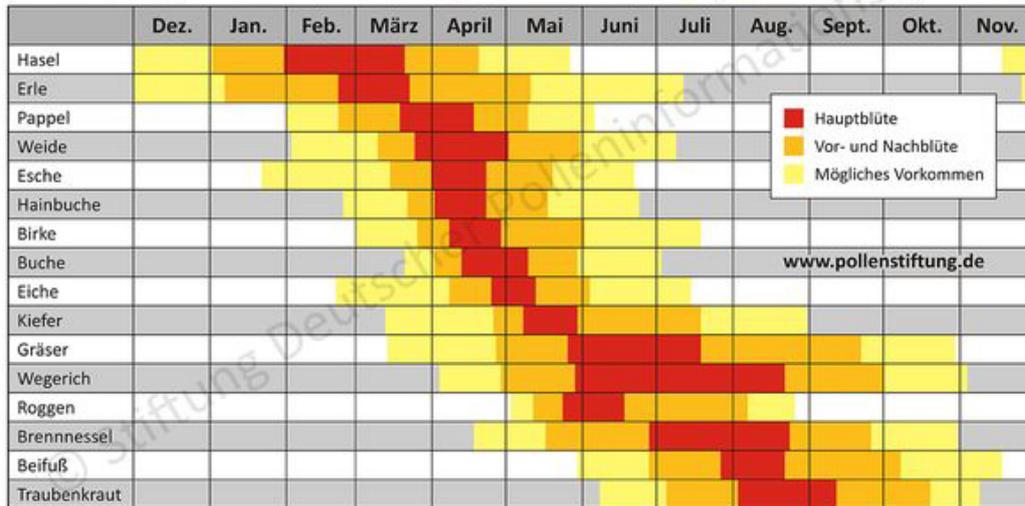


Abb. 7.6 Gesamtdeutscher Pollenflugkalender (nach Pollenflugdaten von 2011 bis 2016) (Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst 2022)

Veränderungen durch den Klimawandel

Jede Pflanzenart benötigt bestimmte Bedingungen hinsichtlich Lufttemperatur und Bodenfeuchtigkeit als ideale Lebensgrundlage. Durch den Klimawandel können sich diese Bedingungen verändern und so Veränderungen im Wachstum der Pflanze oder bei der Produktion der Pollen nach sich ziehen. Durch mildere Winter aber auch durch wärmere Sommer können Gebiete höherer Breitengrade nun Bedingungen bieten, die bestimmten Pflanzen ein Überleben ermöglichen, in denen dies bisher z. B. aufgrund strengen Frostes nicht möglich war; das Habitat erweitert sich. Ähnliches kann auch auf Höhenlagen im Gebirge zutreffen. Durch geringere Niederschläge im Sommer kann die Bodenfeuchtigkeit so weit abnehmen, dass bestimmten Pflanzen ein Überleben nicht mehr möglich ist; das Habitat wird eingeschränkt. Mit der Veränderung des Lebensraumes einer Pflanze ändert sich auch räumlich die Exposition des Menschen gegenüber ihren Pollen.

Für Pflanzen ist die **Temperatur ein wichtiges Signal** für Wachstum und Fortpflanzung: Wird eine artspezifische Schwelle überschritten, ist dies das Signal für alle Individuen dieser Art, Blüten hervorzubringen bzw. Pollen auszustoßen. Wird diese artspezifische Temperatur aufgrund globaler Erwärmung früher im Jahr erreicht, so setzt auch die Pollenproduktion früher ein (z. B. García-Mozo et al. 2006). Mit der zeitlichen Veränderung des Pollenausstoßes ändert sich auch die zeitliche Exposition des Menschen gegenüber ihren Pollen. Wird das Ende des Pollenausstoßes in gleichem Maße vorverlegt wie der Beginn, bleibt die Dauer der Exposition gleich; bleibt das Ende des Pollenausstoßes hingegen gleich, so verlängert sich die Dauer der Exposition.

Für **Birkenpollen** konnte im Großraum München eine Vorverlegung beobachtet werden (Bergmann et al. 2020): Innerhalb von 30 Jahren (1988 – 2008) setzte die Pollensaison bei gleichbleibender Länge von 30 Tagen rund eine Woche früher ein, so dass

auch ihr Ende um etwa eine Woche vorverlegt wurde. Ähnliche Beobachtungen konnten – unabhängig vom ursprünglichen Start der Pollensaison – in weiten Teilen Europas gemacht werden (Emberlin et al. 2002; Emberlin et al. 1997; Frei 2020) und sind auf andere Arten von Gräsern (Frei 2020), Kräutern (Piotrowska-Weryszko, Weryszko-Chmielewska, Sulborska, Konarska, Dmitruk and Kaszewski 2021; Stach et al. 2007; Ziska et al. 2011) und Bäumen (Ariano et al. 2010) übertragbar.

Der Vergleich der **Pollenkalender** von 2000 – 2007 und 2011 – 2016 (vgl. Abbildung 7.7) zeigt bereits, dass mit dem Auftreten erster Haselpollen im November und der Verlängerung der Saison des Beifuß' bis Mitte November ganzjährig Pollen auftreten können und es damit keine „Schonzeit“ für Allergiker mehr gibt.

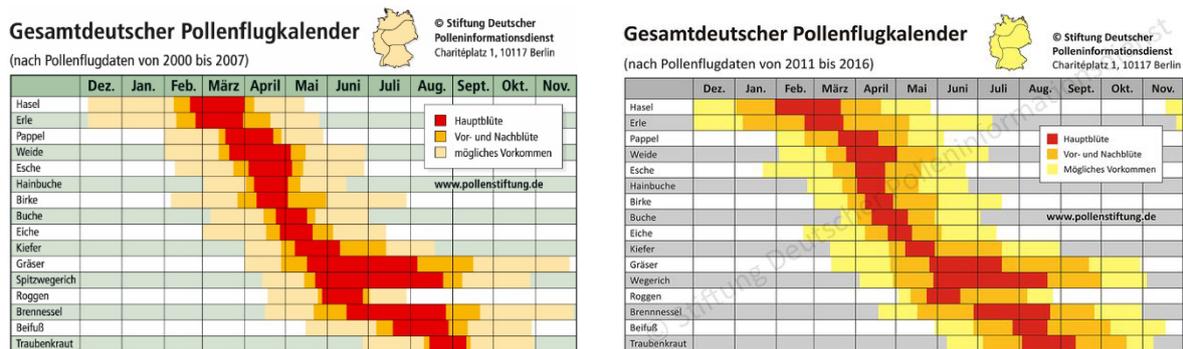


Abb. 7.7 Pollenflugkalender 2000 bis 2007 sowie 2011 bis 2016. (Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst 2022).

Während zu Beginn des neuen Jahrtausends zwischen der Nachsaison der Gräser und der Brennnessel Mitte September sowie der Vorsaison der Hasel Mitte Februar noch fünf Monate lagen, sind es nur eine Dekade später nur noch zweieinhalb Monate (Nachsaison des Traubenkrautes bis Mitte Oktober, Vorsaison der Hasel ab Anfang Januar).

Verschiedene Parameter, die sich im Rahmen des Klimawandels verändern, können die Produktion der Pollen selbst beeinflussen, insbesondere in Hinsicht auf ihre produzierte Menge oder ihre Allergenität.

- Für Hasel wurde ein positiver Zusammenhang zwischen dem jährlichen Mittelwert der Lufttemperatur und der jährlichen Pollenzahl festgestellt (Frei 2020).
- Zudem ist die Bodentemperatur ein treibender Faktor: Je höher sie ist, desto mehr Nährstoffe stehen der Pflanze zur Verfügung, woraus eine höhere Zahl von Pollen (Birke: Ahlholm et al. 1998) resultieren kann.
- Eine erhöhte Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre gilt als wesentlicher Treiber des anthropogen induzierten Klimawandels. Für Gras (Albertine et al. 2014) und Ambrosia (Rogers et al. 2006) wurde nachgewiesen, dass sie zu einer erhöhten Anzahl der produzierten Pollen führt. Als Beispiel für ein stärkeres allergenes Potential bei Erhöhung des CO₂-Gehaltes kann ebenfalls die Ambrosia herangezogen werden (El Kelish et al. 2014; Rauer et al. 2021).

In Flora und Fauna ist die **Bildung von Toxinen zum Schutz vor Fraßfeinden** weit verbreitet. Auch für den Menschen ist der Kontakt oft schmerzhaft.

Der Saft der **Herculesstaude** (Neophyt, *Heracleum mantegazzianum*) verursacht in Verbindung mit Sonnenlicht auf der Haut Verbrennungen (phototoxisch). Die aus dem Kaukasus stammende Pflanze wurde von Gartencentern importiert und z. T. in großen Mengen auf offenen Flächen ausgebracht (Moravcová et al. 2006).

Poison ivy (*Toxicodendron radicans*) enthält ebenfalls Sekundäre Pflanzenstoffe (Urushiol), die eine Kontakt-Dermatitis provozieren. Bei steigenden CO₂-Konzentrationen verändert sich die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe von Urushiol derart, dass die Aggressivität verstärkt wird (Mohan et al. 2006).

Der **Eichenprozessionsspinner** (*Thaumetopoea processionea*) ist ein Nachtfalter und Eichenfraßschädling. Die Raupen des Eichenprozessionsspinners tragen Brennhaare, welche das für Mensch und Tier gesundheitsschädliche Nesselgift Thaumetopoein enthalten. Die Brennhaare sind nicht nur auf den von Mai bis Juli in Gruppen prozessierenden Raupen vorhanden, sondern auch auf deren Pfaden und Häutungsresten sowie in Gespinstnestern. Auch durch Wind können Brennhaare verschleppt werden. Thaumetopoein löst bei Kontakt mit Haut und Schleimhaut einschließlich Auge und Lunge starke Irritationen und Entzündungen aus. Das Einatmen der Brennhaare kann Atemwegsentzündungen und Atembeschwerden nach sich ziehen. Nach Augenkontakt können Bindehaut- und Hornhautentzündungen auftreten. Auch Schwindel, Fieber und seltener Schockzustände wurden beschrieben. Seit etwa 20 Jahren breitet sich der Eichenprozessionsspinner in Deutschland aus (Bräsicke 2013; Sobczyk 2014). Ein zumindest teilweiser Einfluss des Klimawandels auf die Ausbreitung des Eichenprozessionsspinners wird diskutiert. Dabei wirken begünstigende und hemmende klimatische Faktoren. Gesicherter und offensichtlich bedeutender für die Ausbreitung ist die Verschleppung, z. B. durch den Transport von Gehölzen aus Baumschulen.

Folgen für Wirtschaft und Arbeitsschutz

Die Zahl der in Deutschland an Heuschnupfen leidenden Personen hat seit der Jahrtausendwende deutlich zugenommen. Die „Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland“ hat in ihrer ersten Erhebungswelle (DEGS1: 2008 – 2011) für Heuschnupfen einen Anteil von 12,0 % (95CI: 11,1 – 12,9) festgestellt, für Asthma bronchiale einen Anteil von 5,0 % (95CI: 4,4 – 5,6), wobei Frauen jeweils stärker vertreten sind als Männer (Langen et al. 2013). In Europa werden die Zahlen der Betroffenen zwischen 17 % in Italien und 29 % in Belgien angegeben (Bauchau and Durham 2004). Eine schnelle medizinische Behandlung kann eine Weiterentwicklung zu Asthma vermeiden, z. B. durch Desensibilisierung. Allerdings sind nur etwa 15 % der an Heuschnupfen Erkrankten in Behandlung. Der Fokus sollte auf der Prävention liegen, da Präventionskosten meist geringer sind als Behandlungskosten (Bahadori et al. 2009; Meltzer and Bukstein 2011).

Betroffene Berufsgruppen sind sowohl die in Innenräumen tätigen Beschäftigten als auch die im Freien arbeitenden. Berufsgruppenübergreifend kann Heuschnupfen die Arbeitsfähigkeit einschränken (Kurganskiy et al. 2021).

Unter Experten besteht Einvernehmen, dass die Ursache-Wirkungs-Beziehungen ausreichend bekannt sind, um politische Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduktion von Risiken umzusetzen; aber auch wenn sie selbst zuversichtlich sind, dass bestehende Verständnislücken noch erklärt werden können, sind sie gegenüber der Wirksamkeit politischer Maßnahmen skeptisch (Forsberg et al. 2012).

Die **Maßnahmen des Arbeitsschutzes** in Bezug auf die gesundheitlichen Wirkungen von pflanzlichen und tierischen Allergenen und Toxinen auf Beschäftigte sind nach dem TOP-Prinzip umzusetzen, vorher sollte versucht werden, die Quellen zu minimieren.

Maßnahmen, die in einem Aspekt die Bewältigung des Klimawandels unterstützen, sollten auch in anderen Bereichen ein positives Feedback erzeugen (Forsberg, Bråbäck, Keune, Kobernus, Kraye Von Krauss, Yang and Bartonova 2012): Beispielsweise sollten **Baumpflanzungen in Städten** zur Abschwächung der Auswirkungen des Klimawandels zwar an veränderte Temperatur- und Niederschlagsbedingungen angepasst sein, gleichzeitig aber keine erhöhte Pollenlast produzieren oder gar neue, hochallergene Pollen einführen.

8 Forschungs- und Handlungsbedarf

Die Forschungsbedarfe wurden aus den Erkenntnissen und Ergebnissen der **Expertinnen- und Expertengesprächsreihe** (siehe Abschnitt 3.3) und aus der **systematischen Literaturrecherche** (siehe Kapitel 6) sowie aus weiteren Quellen (siehe z. B. Abschnitt 5.6) abgeleitet.

8.1 Hitze

Bislang untersuchte Kollektive waren häufig eher männlich, jung, leistungsfähig und bestanden somit aus „robusteren“ Gruppen; die Zielgruppen müssen jedoch erheblich erweitert und an unterschiedliche Kollektive der heutigen Arbeitswelt angepasst werden. Vor dem Hintergrund des **demographischen Wandels** in Deutschland und vielen anderen führenden Industrienationen sind Untersuchungen mit älteren Personen dringend notwendig. Hier sollten zudem die Auswirkungen von **Vorerkrankungen** Berücksichtigung finden. Zudem müssen Frauen stärker in den Fokus rücken, da sie biologisch aber auch im **Genderbereich** andere Voraussetzungen erfüllen und mitbringen als Männer. Zukünftige Probandenversuche sollten in ihren Kohorten diese Aspekte berücksichtigen.

Der Fokus der Forschung sollte neben der körperlichen Leistungsfähigkeit um die **kognitive Leistungsfähigkeit** sowie die **psychische Belastung** erweitert werden. Um diese im Sinne der Belastung durch den Klimawandel abbilden zu können, bedarf es Studien mit längerer Beobachtungsdauer und größeren Stichproben.

Bisher wurden **Bewertungsmaßstäbe** (Klimasummenmaße) vor allem für stationäre Zustände entwickelt und sollten auf instationäre Zustände erweitert werden.

Zur Prävention **organischer Schäden** müssen bereits präklinische Beeinträchtigungen erkannt und vermieden werden, da sie im klinisch offensichtlichen Stadium meist chronisch werden und dann die Arbeitsfähigkeit massiv einschränken.

Es sollten primär **bauliche/technische Maßnahmen** des sommerlichen Wärmeschutzes (inklusive äußerer Verschattung/Blendschutz), energieeffiziente/regenerative Kühltechniken und geeignete städtebauliche Maßnahmen (wie Begrünung von Fassaden und Freiflächen) zur Anwendung kommen, um überhitzte Innenräume zu vermeiden. Bei der Gestaltung der dafür nötigen Regelungstechnik sollte der Ansatz der „wahrgenommenen Kontrollmöglichkeiten“ in Bezug auf die Beeinflussung des Raumklimas angewendet werden, wobei die kulturelle Praxis zu beachten ist.

In bestimmten **Branchen**, z. B. im Gesundheitswesen, bestehen Schwierigkeiten zur Integration von Entwärmungsphasen in den Arbeitsablauf. Hier sind Lösungen nötig, die in enger Abstimmung mit den Betroffenen und unter Berücksichtigung der Gegebenheiten vor Ort entwickelt werden müssen.

In Bezug auf die staatliche **Regelsetzung** sollte die Arbeitsstättenverordnung von der bisherigen Vorgabe „gesundheitlich zuträglicher Raumtemperaturen“ hin zur ganzheitlichen Anforderung an ein „gesundheitlich zuträgliches Raumklima“ weiterentwickelt werden.

Akklimatisation zur Kompensation von Hitzebelastungen: Es sollten Empfehlungen erarbeitet werden, die unter den veränderten Rahmenbedingungen des Klimawandels die Akklimatisation als eine bedeutende Präventionsmaßnahme fördern. Hierfür sind neben physiologischen Untersuchungen zur Akklimatisationsfähigkeit unter praxisorientierten Rahmenbedingungen, auch die Einbeziehung von organisatorischen Maßnahmen nötig. Neben den bereits existierenden Arbeitsschutzmaßnahmen sollte das betriebliche Gesundheitsmanagement (BGM) einbezogen werden. Es sollten die Synergieeffekte durch die Verknüpfung der beiden Handlungsstränge unter dem „Dach“ eines betrieblichen Hitzemanagements genutzt werden.

8.2 Solare UV-Strahlung

Die Reduktion beruflicher solarer UV-Exposition bleibt auch in einem sich verändernden Klima von zentraler Bedeutung für den Schutz der nach aktuellen Schätzungen ca. 7,2 Millionen deutschen Beschäftigten im Freien (Wittlich 2022) vor den negativen gesundheitlichen Auswirkungen. Aber auch im Hinblick auf die Attraktivität von Außenarbeitsplätzen hat der Schutz vor solarer UV-Strahlung eine hohe Bedeutung. Zur Weiterentwicklung des Arbeitsschutzes wurden im Rahmen der Arbeiten und Diskussionen für diesen Bericht die im Folgenden aufgeführten Forschungs- und Handlungsbedarfe identifiziert.

Grundlagenforschung

Für das durch solare UV-Strahlung bedingte SCC-Risiko kann im Prinzip von einer exponentiellen **Dosis-Wirkungs-Beziehung** ausgegangen werden, während für das BCC und vor allem für das MM keine entsprechenden Risikokoeffizienten existieren.

Im Hinblick auf die Wirkung gibt es für das Melanom, abgesehen von in der wissenschaftlichen Community kritisch betrachteten Arbeiten von Setlow *et al.* (Setlow 1999; Setlow et al. 1993), bisher kein allgemein anerkanntes **Aktionsspektrum**. Für nicht-melanozytären Hautkrebs ist die relative spektrale Empfindlichkeit standardisiert, allerdings wird aufgrund ihrer Ableitung aus tierexperimentellen Untersuchungen an (kurzlebigen) Mäusen die Übertragbarkeit auf den Menschen diskutiert.

Molekularbiologische Untersuchungen zeigen Forschungsbedarf bzgl. verschiedener **Expositionsmuster** auf. Vorgebräunte Haut reagiert auf akute oder chronische UV-Exposition anders als unadaptierte Haut. Eine Metastasierung von Plattenepithelkarzinomen bei fortschreitender UV-Exposition (insbesondere in höherem Alter) ist ebenfalls weiter zu erforschen.

Eine Initiative zur Erarbeitung eines **Expositionsgrenzwertes** (EGW) für solare UV-Strahlung bei Arbeit im Freien wurde insbesondere im Rahmen des Expertinnen- und Expertengesprächs von zahlreichen Teilnehmenden unterstützt. Allerdings ist unklar, ob ein entsprechender EGW die Orientierung der Haut berücksichtigen soll und welches Aktionsspektrum zweckmäßig ist.

Über **Wechselwirkungen** zwischen verschiedenen spektralen Anteilen der Sonnenstrahlung in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen ist noch relativ wenig bekannt. Insbesondere IR-Strahlung wird aktuell hinsichtlich möglicher Reparaturmechanismen aber auch bezüglich einer inhärenten Pathogenität diskutiert.

Forschung für die Präventionsarbeit

Das individuelle **Expositionsverhalten** ist der entscheidende Faktor für die Höhe der kumulierten UV-Dosis. Diese Tatsache gewinnt im Hinblick auf klimawandelbedingte Veränderungen der Umgebungsbedingungen zusätzlich an Bedeutung. Die globale Erwärmung führt zu angenehmeren Temperaturen im Frühjahr und dadurch verstärkt zu Aktivitäten im Freien und/oder zu geringerer textiler Hautbedeckung. In Kombination mit unadaptierter „Winterhaut“ und dem möglichen Auftreten von Niedrigozon-Ereignissen ergibt sich ein erhöhtes Erythemrisiko. Die Zusammenhänge zwischen wetterabhängigem Verhalten und UV-Expositionen müssen weiter erforscht werden.

In diesem Kontext ist auch der Trend zur **mobilen Arbeit** zu betrachten. Klassische Büroarbeit kann durch fortschreitende Digitalisierung in Heimarbeit z. B. auf der Terrasse, auf dem Balkon, im Park etc. erfolgen. Nach unserem besten Wissen gibt es aktuell noch keine Studien zur UV-Exposition bei mobiler Arbeit.

Verhaltenspräventive Maßnahmen zur Reduzierung solarer UV-Exposition, die auf eine gesundheitsorientierte Veränderung des individuellen Verhaltens zielen, z. B. durch Präventionskampagnen, sind im Rahmen einer staatlichen Anpassungsstrategie an den Klimawandel stärker zu berücksichtigen. Darüber hinaus können **verhältnispräventive Maßnahmen**, z. B. die Schaffung großflächiger Schattenbereiche, auch hitzebedingte Erkrankungen reduzieren.

Die **Gesundheitsüberwachung** von hoch-exponierten Beschäftigten, z. B. in der Landwirtschaft oder im Hoch- und Tiefbau, ist langfristig von besonderer Bedeutung. In diesem Zusammenhang wurde von den Teilnehmenden des Expertinnen- und Expertengesprächs die Einführung einer arbeitsmedizinischen **Pflichtvorsorge** erneut intensiv diskutiert.

Aufklärung in Form nationaler Präventionskampagnen und/oder durch soziale Medien muss gefördert werden. Kommunikationsmodelle, auch Missverständnisse betreffend (Bewölkung schützt nicht zwangsläufig vor UV-Strahlung), sind im Hinblick auf deren Erfolg zu evaluieren und an bestimmte Zielgruppen (z. B. Berufsanfänger, verschiedene Berufssektoren etc.) anzupassen. Lehrplänen sollten Präventionsinhalte hinzugefügt werden, das erhöhte Frühjahrsrisiko ist zu integrieren. Insgesamt muss die Aufklärung einen „ganzheitlichen“ Ansatz verfolgen, der nicht nur die berufliche, sondern auch die in der Freizeit stattfindende UV-Exposition berücksichtigt.

Die weltweit steigenden Hautkrebsinzidenzen erfordern eine verlässliche **Erfassung der Neuerkrankungsraten** (ebenso für Katarakte), auch um im Hinblick auf eine Verknüpfung von Krebsregistern mit solarer UV-Exposition eine Dosis-Wirkungs-Beziehung ableiten zu können.

Monitoring

Hautkrebs und Katarakt sind Folgen einer kumulativen UV-Exposition über Jahre und Jahrzehnte, aber auch häufige, kurzzeitig stark erhöhte UV-Belastungen spielen eine Rolle. In Anbetracht dessen und der oben aufgeführten Wissensdefizite bzw. Forschungs- und Handlungsbedarfe stellt die kontinuierliche, flächendeckende **Erfassung** der Umgebungs-UV-Strahlung, des Ozon- und Aerosolgehaltes sowie bestimmter meteorologischer Parameter eine grundlegende Datenbasis für weiterführende Forschung dar und sollte gestärkt werden.

Die Zusammenhänge zwischen der Reduzierung anthropogener Treibhausgase (**Luftqualität**), meteorologischen Parametern und solarer UV-Strahlung können aktuell nur geschätzt werden, entsprechende wissenschaftliche Studien sind rar. Die Auswirkungen eines kurzzeitigen Ozonabfalls (**Niedrigozonereignis**) müssen zeitnah kommuniziert werden.

Insgesamt liefert die messtechnische Erfassung klimawandelbedingter Veränderungen einen wichtigen Beitrag, um Prognosen der Arbeitsumgebungsbedingungen zu erstellen und damit verbesserte **Anpassungsstrategien** zu entwickeln.

Sonnenschutzmittel

Als persönliche Schutzmaßnahme stellen Sonnenschutzmittel einen wichtigen Baustein im TOP-Prinzip dar, welches hierarchisch konzipiert wurde, in der Praxis jedoch als Kombination verschiedener zielführender Maßnahmen umgesetzt werden sollte. Kriterien für Sonnenschutzmittel zur beruflichen Anwendung (John et al. 2020; Rocholl et al. 2021) werden ebenso unzureichend kommuniziert, wie die Restgefährdung durch UV-A-Strahlung.

8.3 Infektionskrankheiten

Zur Minimierung von Infektionsrisiken Beschäftigter im Zuge des Klimawandels sollte sich der Forschungsbedarf zunächst überwiegend an vorbeugenden Maßnahmen orientieren. Die **Aufklärung und Unterweisung** Beschäftigter bezüglich gesundheitsrelevanter Verhaltensweisen und Expositionsvermeidungen gilt es zu fördern. Auf bestehende und **neue Schutzimpfungen, Medikamente und Insektizide** einschließlich **Repellentien** gegen relevante Infektionserreger und Vektoren sollte konsequent hingewiesen werden. Potentielle Resistenzentwicklungen sowohl bei Infektionserregern wie auch bei Vektoren sind zu beachten.

Für die Verbesserung der Diagnostik und Behandlungsmöglichkeiten ist es wichtig die **Ausbildung von Ärzten und medizinischem Fachpersonal** für bisher seltene Infektionskrankheiten, deren Prävention, schnelle Diagnose und Behandlung zu **fördern und zu stärken**. Entscheidend ist in diesem Sinne auch eine frühe **Schulung der Medizinstudenten**. Soweit Aussagen zur wirtschaftlichen Bilanz klimawandelbedingter Berufserkrankungen und der verbundenen präventiven und behandelnden Maßnahmen möglich sind, sollten diese zukünftig in eine Risikobetrachtung einbezogen werden.

Ein **dauerhaftes Erreger- und Vektormonitoring** zur Beobachtung der Entwicklung der relevanten Vektoren und Erreger für Bekämpfungsmaßnahmen sollte durchgeführt werden. Wenn dabei Daten aus Epidemiologie, Veterinärmedizin und Ökologie assoziiert sind, z. B. den gleichen Erreger und Vektor betreffen, könnten multidisziplinäre Ansätze sinnvoll in Meldesystemen zusammengeführt werden. Die Erstellung von **multidisziplinären Teams** bestehend aus Ärzten der Fachrichtungen Tropenmedizin, Dermatologie, Mikrobiologie und Allgemeinmedizin, Tierärzten, Epidemiologen, Arbeitsschutz-Spezialisten, Entomologen, Ethnologen, Gesundheitsaufsehern, Medizininformatikern, Spezialisten für Krisen- und Risikokommunikation könnte ein gut aufgestelltes Netzwerk schaffen.

Bei **meldepflichtigen Infektionskrankheiten** könnte eine **Einbindung der Berufsanamnese** sinnvolle, zusätzliche Information liefern. So könnten auffällige Erreger intensiver überwacht werden, z. B. mittels Fragebogen zu Beruf, ausgeübten Tätigkeiten und Verhaltensweisen, Bedingungen am Arbeitsplatz und Übertragungswegen und weiteren Risikofaktoren. Im Rahmen von Studien könnte zusätzlich erfasst werden, ob bei Berufsgruppen mit erhöhter/regelmäßiger arbeitsplatzbezogener Verwendung von Repellentien weitere gesundheitliche Folgen auftreten.

Zusammenfassend lassen sich drei Forschungskategorien festlegen: erstens: Wissenserwerb über Gefahren, Zielgruppen und Anpassungsmethoden; zweitens: Überwachung von Krankheiten/Unfällen/Berufsrisiken und drittens: Entwicklung neuer beruflicher Anpassungsstrategien.

8.4 Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine

Obwohl das **kontinuierliche Monitoring** nicht nur zum besseren Verständnis der Wettereinflüsse auf Pollen beiträgt, sondern durch die Bereitstellung aktualisierter Informationen auf täglicher Basis wesentlich zur adäquaten Medikation verhelfen kann, sind die Beobachtungsnetze selbst in Industrieländern in ihrer Existenz nicht gesichert (DE: Baeker et al. 2019; AUS: Beggs 2018; USA: Schmidt 2016). Dies ist jedoch für die Prävention auf breiter Ebene notwendig.

Zum Schutz der Bevölkerung sollten Maßnahmen zur **Bekämpfung** gesundheitsgefährdender invasiver Arten konsequent umgesetzt werden. Da sich die Verbreitung von Flora und Fauna mehr durch physische Barrieren (Flüsse, Gebirge) begrenzen lässt als durch politische Grenzen, sollte diese Veranlassung zwischen den Bundesländern gut koordiniert sein (oder auf Bundesebene ausgesprochen werden), da sonst Anstrengungen der einen durch Nachlässigkeit der anderen zunichtegemacht werden könnten. Idealerweise wird eine Abstimmung auf EU-Ebene erreicht.

Neupflanzungen sollten nicht nur die Resilienz der eingesetzten Arten gegenüber zukünftigen klimatischen Bedingungen berücksichtigen, sondern auch mögliche Gefährdungen der menschlichen Gesundheit durch ihre Pollen oder durch toxische Stoffe bei der Auswahl in Betracht ziehen.

9 Zusammenfassung

9.1 Hitze

Als homoiothermes bzw. gleichwarmes Lebewesen muss der Mensch seine Körperkerntemperatur bei etwa 36,5 °C konstant halten. Die unbewusst ablaufende Thermoregulation fordert insbesondere das Herz-Kreislauf-System und setzt die Schweißproduktion in Gang. Eine Überlastung des Herz-Kreislauf-Systems sowie der Flüssigkeits- und Elektrolytverlust durch das Schwitzen können zum Problem für Leistungsfähigkeit und Gesundheit werden, wobei zu den betroffenen Organen insbesondere das Herz, die Nieren sowie das Gehirn zählen. Personen mit bestehenden Vorschädigungen sind gegenüber Hitze besonders gefährdet. Die Möglichkeiten der bewussten Thermoregulation können durch Vorgaben hinsichtlich der Tätigkeit oder der Sicherheitsmaßnahmen im Kontext des Arbeitsplatzes stark eingeschränkt sein. So sind Personen mit schwerer körperlicher Tätigkeit, Personen mit Tätigkeiten im Freien und in direkter Sonneneinstrahlung sowie Personen mit isolierender Schutzkleidung gegenüber hohen Temperaturen besonderer Belastung ausgesetzt.

Thermische Belastung führt zu Einschränkungen der kognitiven und physischen Leistungsfähigkeit, was in dem Auftreten von Unfällen kumulieren kann. Mit dem vermehrten Auftreten von Hitzewellen im Rahmen des Klimawandels werden thermische Belastung und ihre Folgen in allen Klimazonen zunehmen. Um Schäden möglichst zu vermeiden, ist Aufklärung zu den Zusammenhängen und den Gefahren auf Ebene der Verhaltensprävention die grundlegende Maßnahme. Zudem muss hier der Fokus auf Vermeidung von Dehydration liegen. Die klimagerechte Gestaltung der Arbeitsbekleidung fällt je nach Branche in den persönlichen oder in den institutionellen Bereich. Auf Ebene der Verhältnisprävention stehen Maßnahmen zur Arbeitsgestaltung im Vordergrund, wie die Vorverlegung der täglichen Arbeitszeit, die Gestaltung des zeitlichen Ablaufs von Tätigkeiten oder die Optimierung der Pausenzeiten.

Forschungs- und Handlungsbedarfe

Weiterer Handlungsbedarf besteht bei der Anpassung von Bewertungsmaßstäben und staatlicher Regelung in Bezug auf ein „gesundheitlich zuträgliches Raumklima“. Dabei müssen Studien zugrunde liegen, die mit der Studienpopulation die aktuelle Bevölkerungszusammensetzung hinsichtlich Alter, Geschlecht und Vorerkrankungen berücksichtigen und sowohl Maßnahmen im Arbeitskontext (Abstufungen der Belastungen, Akklimatisation, Pausen) als auch Gestaltungsmöglichkeiten im Arbeitsumfeld (Gebäudearchitektur, technische Lösungen) untersuchen.

9.2 Solare UV-Strahlung

Negative Gesundheitsfolgen einer übermäßigen Belastung durch solare UV-Strahlung betreffen vor allem Haut und Augen. Akute Schäden wie z. B. Entzündungen der Horn- und Bindehaut oder Sonnenbrände sind reversibel, häufige (Über-) Expositionen oder chronisch hohe UV-Belastungen können dagegen auch langfristig die Gesundheit beeinträchtigen, etwa durch die Entstehung einer Katarakt oder von Hautkrebs. Beschäftigte im Freien haben für weißen Hautkrebs ein im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung deutlich erhöhtes Erkrankungsrisiko. Der Klimawandel kann diese UV-

strahlungsbedingten Gesundheitsfolgen auf unterschiedliche Weise beeinflussen, vor allem über Veränderungen in der Atmosphäre, der Bewölkungssituation oder indirekt über klimaangepasstes menschliches Verhalten.

Über die Absorption bestimmter Spektralanteile hat stratosphärisches Ozon Einfluss auf die Intensität bodennaher solarer UV-Strahlung und damit auf das Risiko für entsprechende Gesundheitsschäden. Die erfolgreiche Umsetzung des Montrealer Protokolls zur Regulierung ozonschädlicher Gase zeigt sich bereits in einer Stabilisierung der stratosphärischen Ozonschicht in mittleren Breitengraden. Aktuelle Studien prognostizieren eine Erholung auf das Niveau vor den 1980er Jahren bis etwa Mitte des 21. Jahrhunderts. Inwiefern der Klimawandel die Erholung der stratosphärischen Ozonschicht beeinflusst, ist noch nicht abschließend geklärt.

Durch das komplexe Zusammenspiel von Klimawandel, Ozonschicht und solarer UV-Strahlung gewinnen Niedrigozon-Ereignisse an Bedeutung. Aufgrund der Auflösung des Polarwirbels kann im Frühjahr ozonarme Luft nach Mitteleuropa transportiert werden und zu ungewöhnlich hohen UV-Belastungen führen. Es wird vermutet, dass solche „Mini-Ozonlöcher“ zukünftig häufiger auftreten können.

Ein zusätzliches Augenmerk gilt in diesem Zusammenhang einer Verhaltensänderung als Folge der globalen Erwärmung. Steigende Durchschnittstemperaturen können früher im Jahr zu verstärkter Außenaktivität führen, die mit weniger schützender Bekleidung stattfindet. Der ohnehin geringe Eigenschutz der Haut durch Vorbräunung ist nach dem Winter kaum vorhanden. Diese Kombination von vermehrter Außenbeschäftigung, reduzierter textiler Körperbedeckung und geringem Eigenschutz der Haut mit erhöhter UV-Strahlung bei Niedrigozon-Ereignissen kann im Frühjahr zu einem besonders hohen Gefährdungsrisiko führen, das durch den Trend zur mobilen Arbeit zudem mehr Beschäftigte betreffen könnte.

Bei einer umfassenden Betrachtung von Arbeitsumgebungsbedingungen muss auch eine veränderte troposphärische Zusammensetzung als Folge des Klimaschutzes berücksichtigt werden. Die Emission anthropogener Luftschadstoffe soll weiter reduziert werden, entsprechende Gase, Partikel oder Aerosole können jedoch ebenso wie Ozon UV-Strahlung absorbieren. Einzelne Langzeitstudien belegen eine Intensitätserhöhung solarer UV-Strahlung bei verbesserter Luftqualität. Schätzungen zufolge könnte bis Ende des 21. Jahrhunderts die UV-Belastung durch weniger Luftschadstoffe um etwa 10 – 20 % steigen.

Atmosphärische Veränderungen beeinflussen nicht nur die Intensität solarer UV-Strahlung, sondern haben über den Grad der Bewölkung auch Auswirkungen auf die mögliche Dauer einer UV-Exposition. In Retrospektive stieg in Deutschland die mittlere Sonnenscheindauer jahrzehntelang an, eine Trendwende ist aktuell nicht erkennbar. Analysen von Daten des nationalen UV-Messnetzes belegen hohe UV-Jahresdosen in sonnenscheinreichen Jahren. Ohne Anwendung entsprechender Schutzmaßnahmen führt dies langfristig zu noch höheren UV-Lebenszeitdosen von Beschäftigten im Freien, verbunden mit entsprechend höheren Erkrankungsrisiken.

Forschungs- und Handlungsbedarfe

Um den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die solare UV-Belastung von Beschäftigten im Freien zu begegnen, werden Aktivitäten in verschiedenen Bereichen empfohlen. In der Grundlagenforschung fehlen beispielsweise wichtige Erkenntnisse

zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen, zu relevanten Aktionsspektren oder zu den Folgen intermittierender UV-Expositionen. Diskussionen über die Einführung eines Expositionsgrenzwertkonzeptes für berufliche solare UV-Belastung bekommen durch den Klimawandel neue Impulse und gewinnen im Hinblick auf die notwendige Verstärkung nationaler Präventionskampagnen zusätzlich an Bedeutung. Verhaltens- und verhältnispräventive Maßnahmen sind zu unterstützen bzw. zu fördern.

Die kontinuierliche Erfassung und Analyse von solarer UV-Strahlung, stratosphärischem Ozongehalt und von Luftschadstoffen wird weiterhin eine wichtige Grundlage für Forschungsaktivitäten darstellen. Aber auch im Hinblick auf die Risikokommunikation, z. B. in Form von UV-Prognosen, ist Monitoring von entscheidender Bedeutung. Zur Bewältigung aktueller und zukünftiger Herausforderungen des Klimawandels für den Arbeitsschutz bedarf es der verstärkten gemeinsamen Anstrengung von Expertinnen und Experten unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen, der Politik, der Gesetzgebung sowie der betrieblichen Praxis.

9.3 Infektionskrankheiten

Der Klimawandel beeinflusst die Ökosysteme z. B. durch Überschwemmungen, Schmelzen der Gletscher, Temperaturanstieg und das geänderte regionale und saisonale Auftreten von Arten. Eine generelle Schätzung der Folgen des Klimawandels auf humane und im Arbeitsschutz relevante Infektionserreger ist sehr schwierig, so dass man aktuell nur Einzelfallbeobachtungen durchführen und dafür einen generellen Trend angeben kann. Aktuell ist Deutschland im Gegensatz zu anderen Ländern weniger stark vom Klimawandel betroffen; dennoch machen sich hier bereits die Folgen bemerkbar. Der Klimawandel wirkt sich über eine Kaskade unterschiedlicher Mechanismen von direkten zu immer indirekteren Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen aus. Während Hitze und UV-Strahlung sich direkt auswirken, zählen zu den indirekten Auswirkungen neben den klimabedingten Veränderungen der Ökosysteme auch veränderte Ausgangsbedingungen für Infektionskrankheiten. Man geht davon aus, dass vektorübertragene Krankheiten in der Zukunft vermehrt auftreten können.

Forschungs- und Handlungsbedarfe

Für die Sicherstellung und Aufrechterhaltung des Arbeitsschutzes vor Biostoffen, einschließlich klimawandelsensibler, vektorübertragener Erreger, müssen für geeignete Schutzmaßnahmen mögliche Ansatzpunkte identifiziert werden. Für die Minderung gesundheitlicher Belastungen bilden die rechtlichen Regelungen des Arbeitsschutzes, wie z. B. das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) oder die Biostoffverordnung (BioStoffV), den arbeitsrechtlichen Rahmen. Schutzmaßnahmen und deren Rangfolge (TOP-Prinzip „technische Maßnahmen – organisatorische Maßnahmen – personenbezogene Maßnahmen“) sind im Arbeitsschutzgesetz in § 4 Absatz 6 festgesetzt und werden durch die Pflicht eine Gefährdungsbeurteilung nach § 5 durchzuführen gestärkt. Die Tätigkeiten mit Biostoffen, unter die Mikroorganismen und Pathogene fallen, sind durch die Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA) geregelt. Die gegenwärtig geltenden Regelwerke bieten für die Beschäftigten einen aktuell ausreichenden Schutz vor Mikroorganismen und Pathogenen und müssen gegebenenfalls auf neue Situationen und neu auftretende Erreger angepasst werden.

Möglicherweise wird es jedoch zukünftig notwendig werden, insbesondere die Beschäftigten im Gesundheitsdienst daraufhin zu schulen, Symptome, die durch lokal neu auftretende Infektionserreger ausgelöst werden, sicher zu erkennen, um frühzeitig Schutzmaßnahmen abzuleiten. Für den Fall, dass Infektionserreger und erregerkompetente Vektoren neu auftreten und potentiell kritisch für die Gesundheit Beschäftigter sind, gilt es die entsprechenden Technischen Regeln und Handlungsempfehlungen rasch zu aktualisieren und zu ergänzen.

9.4 Pflanzliche und tierische Allergene und Toxine

Der Lebensraum von Tieren und insbesondere von Pflanzen wird wesentlich von klimatischen Parametern bestimmt. In erster Linie zählen dazu die Temperatur der Luft oder des Bodens, aber auch Zeitpunkt und Menge des Niederschlags. Ändern sich mit dem Klimawandel diese Parameter, dann verschieben sich auch die Lebensräume der Tiere und Pflanzen. Zwar werden Spezies durch den Klimawandel aus ihrem angestammten Habitat auch verdrängt, im hier diskutierten Kontext sind aber vor allem die sich weiter Verbreitenden und die neu Zuwandernden von Interesse, insbesondere wenn sie das Potenzial haben, die menschliche Gesundheit zu beeinträchtigen. Zudem wirken klimatische Parameter im Lebenszyklus von Pflanzen und Tieren häufig als Signal, unter anderem für die Fortpflanzung.

In den letzten Jahren wurden Änderungen beobachtet, die auf den Klimawandel zurückgeführt werden können: Aufgrund steigender Temperaturen in Luft und Boden haben Pflanzen mehr Pollen produziert. Auch der Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre trägt zur Erhöhung der Pollenzahl bei, kann aber gleichzeitig auch das allergene Potential von Pollen verstärken bzw. die Aggressivität sekundärer Pflanzenstoffe erhöhen. Durch eine Zunahme der Pollenzahl sowie durch eine Veränderung in der chemischen Zusammensetzung der Toxine kann die gesundheitliche Reaktion auf den Schleimhäuten oder der Haut verstärkt werden. Der Anteil der von Heuschnupfen betroffenen Personen hat in den letzten Jahren zugenommen.

Forschungs- und Handlungsbedarfe

Die Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch pflanzliche und tierische Allergene und Toxine muss als Problem anerkannt und bestehende Maßnahmen konsequenter umgesetzt werden. So benötigt das Monitoring eine Verstärkung von staatlicher Seite. Zudem müssen Maßnahmen zur Bekämpfung gefährdender invasiver Arten einheitlich durchgeführt werden. Bei Anpflanzung neuer Arten ist darauf zu achten, dass ihre Pollen ein geringes allergenes Potential haben.

Richtlinien, Gesetze, Verordnungen, Regeln

Europäische Richtlinien

EG-Richtlinie 89/654/EWG des Rates vom 30. November 1989 über **Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz in Arbeitsstätten** (Erste Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) (ABl. EG Nr. L 393 S. 1)

eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:31989L0654&from=DE

Richtlinie 2000/54/EG Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über den **Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Arbeit** (Siebte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), Amtsblatt Nr. L 262 vom 17/10/2000 S.0021 – 0045

eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0054&from=HR

Gesetze

Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 12 des Gesetzes vom 22. November 2021 (BGBl. I S. 4906) geändert worden ist

www.gesetze-im-internet.de/arbschg/ArbSchG.pdf

Verordnungen

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

www.gesetze-im-internet.de/arbstdttv_2004/

Biostoffverordnung (BioStoffV) Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen

BGBl. I S. 2514, die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 21. Juli 2021 (BGBl. I S. 3115) geändert wurde

www.gesetze-im-internet.de/biostoffv_2013/BioStoffV.pdf

Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR)

ASR A3.5 Raumtemperatur Ausgabe: Juni 2010 GMBI 2010 S. 751, 6. Änderung: GMBI 2022, S. 198
www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/ASR-A3-5.html

ASR A3.6 Lüftung Ausgabe: Januar 2012 GMBI 2012, S. 92, 3. Änderung: GMBI 2018, S. 474
www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/ASR-A3-6.html

Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA)

TRBA 100 Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in Laboratorien 4. Änderung: GMBI Nr. 15 vom 2. Mai 2018, S. 263

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-100.html

TRBA 110 Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Biostoffen in der Biotechnologie (in Bearbeitung)

TRBA 120 Versuchstierhaltung 1. Änderung: GMBI Nr. 10 – 11 vom 31. März 2017, S. 183 – 205
www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-120.html

TRBA 130 Arbeitsschutzmaßnahmen in akuten biologischen Gefahrenlagen

Zuletzt geändert: GMBI Nr. 13/14 vom 5. März 2013, S. 294

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-130.html

TRBA 213 Abfallsammlung: Schutzmaßnahmen GMBI Nr. 41/2021 vom 13. Juli 2021, S. 900

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-213.html

TRBA 214 Anlagen zur Behandlung und Verwertung von Abfällen 1. Änderung GMBI Nr. 41/2021 vom 13. Juli 2021, S. 900

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-214.html

TRBA 220 Sicherheit und Gesundheit bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in abwasser-technischen Anlagen GMBI Nr. 68 – 80 vom 6. Dezember 2010, S. 1405 – 1416

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-220.html

TRBA 230 Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in der Land- und Forstwirtschaft und bei vergleichbaren Tätigkeiten 1. Änderung: GMBI Nr. 19 vom 5. Juni 2020, S. 371

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-230.html

TRBA 240 Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit mikrobiell kontaminiertem Archivgut Änderung: GMBI Nr. 29 vom 21. Juli 2015, S. 566 – 576

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-240.html

TRBA 250 Biologische Arbeitsstoffe im Gesundheitswesen und in der Wohlfahrtspflege 4. Änderung: GMBI Nr. 15 vom 2. Mai 2018, S. 259

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-250.html

TRBA 255 Arbeitsschutz beim Auftreten von nicht ausreichend impfpräventablen respiratorischen Viren mit pandemischem Potenzial im Gesundheitsdienst 2. Änderung GMBI Nr. 61/2021 vom 24. November 2021, S. 1331

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-255.html

TRBA 260 Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in der Veterinärmedizin und bei vergleichbaren Tätigkeiten 1. Änderung: GMBI Nr. 56 vom 04.12.2018, S. 1126

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-260.html

TRBA 450 Einstufungskriterien für Biologische Arbeitsstoffe Neufassung: GMBI Nr. 23 vom 22. Juni 2016, S. 445

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-450.html

TRBA 460 Einstufung von Pilzen in Risikogruppen 4. Änderung: GMBI Nr. 45 vom 10. November 2020, S. 1009

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-460.html

TRBA 462 Einstufung von Viren in Risikogruppen 8. Änderung: GMBI Nr. 60 vom 19. November 2021, S. 1327

www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-462.html

TRBA 464 Einstufung von Parasiten in Risikogruppen 1. Änderung: GMBI Nr. 45 vom 10. November 2020, S. 1013
www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-464.html

TRBA 466 Einstufung von Prokaryonten (Bacteria und Archaea) in Risikogruppen 9. Änderung: GMBI Nr. 51 vom 21. Dezember 2020, S. 1116
www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRBA/TRBA-466.html

Arbeitsmedizinische Regeln (AMR)

AMR 6.5 Impfungen als Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorge bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen
GMBI Nr. 76 – 77, 23. Dezember 2014, S. 1577; zuletzt geändert und ergänzt: GMBI Nr. 23, 7. Juli 2017, S. 407
www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AMR/AMR-6-5.html

AMR 6.6 Impfungen, präexpositionelle Chemoprophylaxe und Notfallprävention als Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorge nach ArbMedVV bei tätigkeitsbedingten Auslandsaufenthalten mit Infektionsgefährdungen
GMBI Nr. 29, 8. August 2017, S. 509
www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AMR/AMR-6-6.html

AMR Nr. 13.1 Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können GMBI Nr. 7 – 8, 12. Februar 2021, S. 167 – 169
www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AMR/AMR-13-1.html

AMR Nr. 13.3 Tätigkeiten im Freien mit intensiver Belastung durch natürliche UV-Strahlung von regelmäßig einer Stunde oder mehr je Tag, GMBI 2019 S. 697 [Nr. 36] (24.09.2019)
www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/AMR/AMR-13-3.html

Technische Regeln für Anlagensicherheit (TRAS)

TRAS 310 Grundlagen für die Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 310: Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser. vom 10. Dezember 2021, Veröffentlicht am Montag, 10. Januar 2022 BAnz AT 10.01.2022 B4
www.kas-bmu.de/nachricht/tras-310.html

TRAS 320 Entwurf einer Technischen Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 320: Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Wind, Schnee- und Eislasten, Von der KAS am 07.09.2021 verabschiedet
www.kas-bmu.de/nachricht/entwurf-tras-320.html

Abkürzungsverzeichnis

ABAS	Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe
AfAMED	Ausschuss für Arbeitsmedizin
AK	Arbeitskreis
AMR	Arbeitsmedizinische Regel
ArbMedVV	Verordnung zur Arbeitsmedizinischen Vorsorge
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
ASR	Arbeitsstättenregel
ASTA	Ausschuss für Arbeitsstätten
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BCC	Basal Cell Carcinoma (Basalzellkarzinom)
BG	Berufsgenossenschaft
BGRCl	Berufsgenossenschaft für Rohstoffe und chemische Industrie
BioStoffV	Biostoffverordnung
BKV	Berufskrankheiten-Verordnung
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECDC	European Center for Disease Prevention and Control
EGW	Expositionsgrenzwert
FAQ	Frequently Asked Questions
FLI	Friedrich Löffler-Institut
FSME	Frühsommer-Meningoenzephalitis
GESTIS	Gefahrstoffinformationssystem
GMBI	Gemeinsames Ministerialblatt
ILO	International Labour Organization
IR	infrarot
MM	Malignes Melanom (schwarzer Hautkrebs)
RKI	Robert Koch-Institut
RNA	Ribonukleinsäure
SCC	Squamous Cell Carcinoma (Plattenepithelkarzinom)
SED	Standarderythemdosis, 1 SED = 100 Jm ⁻²

SVLFG	Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau
TRBA	Technische Regel für Biologische Arbeitsstoffe
UBA	Umweltbundesamt
UTCI	Universal Thermal Climate Index
UV	ultraviolett
UVI	UV-Index
UVT	Unfallversicherungsträger
VBD	Vector borne diseases (Vektor-übertragbare Krankheiten)
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)
WNF	West-Nil-Fieber

Literaturverzeichnis

ADAM-POUPART, A.; SMARGIASSI, A.; BUSQUE, M. A.; DUGUAY, P.; FOURNIER, M.; ZAYED, J.; LABRÈCHE, F.: Effect of summer outdoor temperatures on work-related injuries in Quebec (Canada). In: *Occup Environ Med* 72 (2015), H. 5, 338–45

AHLHOLM, J. U.; HELANDER, M. L.; SAVOLAINEN, J.: Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* [Orl.] Hämet-ahti) pollen. In: *Clinical and Experimental Allergy* 28 (1998), H. 11, 1384–1388

ALBERTINE, Jennifer M.; MANNING, William J.; DACOSTA, Michelle; STINSON, Kristina A.; MUILENBERG, Michael L.; ROGERS, Christine A.: Projected Carbon Dioxide to Increase Grass Pollen and Allergen Exposure Despite Higher Ozone Levels. *PLOS ONE* [Type of Work]. 2014, vol. 9, no. 11, S. 6. Available from Internet: doi.org/10.1371/journal.pone.0111712

ALFONSO, J. H.; MARTINSEN, J. I.; WEIDERPASS, E.; PUKKALA, E.; KJAERHEIM, K.; TRYGGVADOTTIR, L.; LYNGE, E.: Occupation and cutaneous melanoma: a 45-year historical cohort study of 14 center dot 9 million people in five Nordic countries. In: *British Journal of Dermatology* 184 (2021), H. 4, 672–680

ALLAN, Richard P; HAWKINS, Ed; BELLOUIN, Nicolas; COLLINS, Bill: IPCC, 2021: Summary for Policymakers. (2021)

ALLEN, Myles R; BABIKER, Mustafa; CHEN, Yang; DE CONINCK, Heleen; CONNORS, Sarah; VAN DIEMEN, Renée; DUBE, Opha Pauline; EBI, Kristie L.; ENGELBRECHT, Francois; FERRAT, Marion: Summary for policymakers. In: *Global Warming of 1.5: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* /. IPCC, 2018

ALTINSOY, H.; YILDIRIM, H. A.: Labor productivity losses over western Turkey in the twenty-first century as a result of alteration in WBGT. In: *Int J Biometeorol* 59 (2015), H. 4, 463–71

ARIANO, Renato; CANONICA, Giorgio Walter; PASSALACQUA, Giovanni: Possible role of climate changes in variations in pollen seasons and allergic sensitizations during 27 years. In: *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 104 (2010), H. 3, 215–222

BAEKER, Regine; BERGMANN, Karl-Christian; BUTERS, Jeroen; DÜMMEL, Thomas; ENDLER, Christina; FUCHS, Thomas; GILGE, Stefan; GLOYNA, Kai; HEESEN, Ruth; HERR, Caroline; HICKE, Martin; HÖFLICH, Conny; KLIMEK, Ludger; KUTZORA, Susanne; LANGNER, Marcel; MÜCKE, Hans-Guido; PETZOLD, Gudrun; PLESCHKA, Silvia; RÖSELER, Stefani; SCHWALFENBERG, Anja; SIMON, Sven; STRAFF, Wolfgang; WEBER, Alisa; WERCHAN, Barbora; WERCHAN, Matthias; Fachübergreifender Arbeitskreis „Bundesweites Pollenmonitoring“: Perspektiven für ein bundesweites Pollenmonitoring in Deutschland. In:

Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 62 (2019), H. 5, 652–661

BAHADORI, Katayoun; DOYLE-WATERS, Mary M.; MARRA, Carlo; LYND, Larry; ALASALY, Kadria; SWISTON, John; FITZGERALD, J. Mark: Economic burden of asthma: a systematic review. *BMC Pulmonary Medicine* [Type of Work]. 2009, vol. 9, no. 1, S. 16. Available from Internet: doi.org/10.1186/1471-2466-9-24. ISSN 1471-2466

BAIS, A. F.; LUCAS, R. M.; BORNMAN, J. F.; WILLIAMSON, C. E.; SULZBERGER, B.; AUSTIN, A. T.; WILSON, S. R.; ANDRADY, A. L.; BERNHARD, G.; MCKENZIE, R. L.; AUCAMP, P. J.; MADRONICH, S.; NEALE, R. E.; YAZAR, S.; YOUNG, A. R.; DE GRUIJL, F. R.; NORVAL, M.; TAKIZAWA, Y.; BARNES, P. W.; ROBSON, T. M.; ROBINSON, S. A.; BALLARE, C. L.; FLINT, S. D.; NEALE, P. J.; HYLANDER, S.; ROSE, K. C.; WANGBERG, S. A.; HADER, D. P.; WORREST, R. C.; ZEPP, R. G.; PAUL, N. D.; CORY, R. M.; SOLOMON, K. R.; LONGSTRETH, J.; PANDEY, K. K.; REDHWI, H. H.; TORIKAIJ, A.; HEIKKILA, A. M.: Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017. In: *Photochemical & Photobiological Sciences* 17 (2018), H. 2, 127–179

BAIS, A. F.; MCKENZIE, R. L.; BERNHARD, G.; AUCAMP, P. J.; ILYAS, M.; MADRONICH, S.; TOURPALI, K.: Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. In: *Photochemical & Photobiological Sciences* 14 (2015), H. 1, 19–52

BALDERMANN, C.: UV-Schutz-Bündnis in Deutschland – Zweck und Ziele. In: *Ophthalmologie* (2022)

BALDERMANN, C.; BREITBART, E. W.: Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne – Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land. Salzgitte: Bundesamt für Strahlenschutz, 2017

BALDERMANN, C.; LORENZ, S.: UV radiation in Germany: influences of ozone depletion and climate change and measures to protect the population. In: *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 62 (2019), H. 5, 639–645

BARNES, P. W.; ROBSON, T. M.; NEALE, P. J.; WILLIAMSON, C. E.; ZEPP, R. G.; MADRONICH, S.; WILSON, S. R.; ANDRADY, A. L.; HEIKKILA, A. M.; BERNHARD, G. H.; BAIS, A. F.; NEALE, R. E.; BORNMAN, J. F.; JANSEN, M. A. K.; KLEKOCIUK, A. R.; MARTINEZ-ABAIGAR, J.; ROBINSON, S. A.; WANG, Q. W.; BANASZAK, A. T.; HADER, D. P.; HYLANDER, S.; ROSE, K. C.; WANGBERG, S. A.; FOEREID, B.; HOU, W. C.; OSSOLA, R.; PAUL, N. D.; UKPEBOR, J. E.; ANDERSEN, M. P. S.; LONGSTRETH, J.; SCHIKOWSKI, T.; SOLOMON, K. R.; SULZBERGER, B.; BRUCKMAN, L. S.; PANDEY, K. K.; WHITE, C. C.; ZHU, L.; ZHU, M.; AUCAMP, P. J.; LILEY, J. B.; MCKENZIE, R. L.; BERWICK, M.; BYRNE, S. N.; HOLLESTEIN, L. M.; LUCAS, R. M.; OLSEN, C. M.; RHODES, L. E.; YAZAR, S.; YOUNG, A. R.: Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2021. In: *Photochem Photobiol Sci* (2022)

BAUCHAU, V.; DURHAM, S. R.: Prevalence and rate of diagnosis of allergic rhinitis in Europe. In: *European Respiratory Journal* 24 (2004), H. 5, 758–764

- BAUER, A.; DIEPGEN, T.; SCHMITT, J.: Is Occupational Solar Ultraviolet Irradiation a Relevant Risk Factor for Basal Cell Carcinoma? A Systematic Review and Meta-Analysis of the Epidemiological Literature. In: *British Journal of Dermatology* 165 (2011), 612–625
- BECKER, Norbert: Influence of climate change on mosquito development and mosquito-borne diseases in Europe. In: *Parasitology Research* 103 (2008), H. 1, 19–28
- BEGGS, Paul John: Climate change and allergy in Australia: an innovative, high-income country, at potential risk. In: *Public health research & practice* 28 (2018), H. 4
- BERGMANN, Karl-Christian; BUTERS, J.; KARATZAS, K.; TASIOULIS, T.; WERCHAN, Barbora; WERCHAN, Matthias; PFAAR, O.: The development of birch pollen seasons over 30 years in Munich, Germany – An EAACI Task Force report. In: *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology* 75 (2020), H. 12, 3024–3026
- BERNARD, T. E.: Heat stress and protective clothing: an emerging approach from the United States. In: *Ann Occup Hyg* 43 (1999), H. 5, 321–7
- BRÄSICKE, Nadine: Die Prozeßionsspinner Mitteleuropas – Ein Überblick. In: *Julius-Kühn-Archiv* 440 (2013), 11–19
- BRASSEUR, Guy P.; JACOB, Daniela; SCHUCK-ZÖLLER, Susanne: Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven /. Springer Nature, 2017
- BREHM, Thomas Theo; BERNEKING, Laura; MARTINS, Meike Sena; DUPKE, Susann; JACOB, Daniela; DRECHSEL, Oliver; Bohnert, Jürgen; BECKER, Karsten; KRAMER, Axel; CHRISTNER, Martin: Heatwave-associated *Vibrio* infections in Germany, 2018 and 2019. In: *Eurosurveillance* 26 (2021), H. 41, 2002041
- BREITBART, E. W.; GREINERT, R.; Herr, C.; KATALINIC, A.; KIEFER, J.; KNUSCHKE, P.; REICHRATH, J.; SIEKMANN, H.; VOLKMER, B.; WEICHENTHAL, M.: Schutz des Menschen vor den Gefahren solarer UV-Strahlung und UV-Strahlung in Solarien. Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung. Berlin: 2018.
- BRONDÍZIO, Eduardo S; DE LIMA, Ana CB; SCHRAMSKI, Sam; ADAMS, Cristina: Social and health dimensions of climate change in the Amazon. In: *Annals of Human Biology* 43 (2016), H. 4, 405–414
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS): Wissenschaftliche Begründung für die Berufskrankheit "Plattenepithelkarzinome oder multiple aktinische Keratosen der Haut durch natürliche UV-Strahlung". In: *Gemeinsames Ministerialblatt* 35 (2013), 671–693
- BUX, K.: Arbeitsschutzrecht und Klimawandel. In: *Gute Arbeit* 8–9 (2021)
- CAMINADE, Cyril; MEDLOCK, Jolyon M; DUCHEYNE, Els; MCINTYRE, K. Marie; LEACH, Steve; BAYLIS, Matthew; MORSE, Andrew P.: Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*: recent trends and future scenarios. In: *Journal of the Royal Society Interface* 9 (2012), H. 75, 2708–2717

CAMPESE, Vito M.: Con: Mesoamerican nephropathy: is the problem dehydration or rehydration? In: *Nephrol Dial Transplant* 32 (2017), H. 4, 603–606

CARTER, Sarah; FIELD, Emma; OPPERMANN, Elspeth; BREARLEY, Matt: The impact of perceived heat stress symptoms on work-related tasks and social factors: A cross-sectional survey of Australia's Monsoonal North. *Applied Ergonomics* [Type of Work]. 2020, vol. 82. Available from Internet: www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&id=L2002724558&from=export
dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102918. ISSN 1872-9126 0003-6870

CASADEVALL, Arturo: Climate change brings the specter of new infectious diseases. In: *The Journal of Clinical Investigation* 130 (2020), H. 2, 553–555

CHEN, Pei-Shih; TSAI, Feng Ta; LIN, Chien Kun; YANG, Chun-Yuh; CHAN, Chang-Chuan; YOUNG, Chea-Yuan; LEE, Chien-Hung: Ambient influenza and avian influenza virus during dust storm days and background days. In: *Environmental health perspectives* 118 (2010), H. 9, 1211–1216

CISCAR, J. C.; FEYEN, L.; IBARRETA, D.; SORIA, A. : Climate impacts in Europe – Final report of the JRC PESETA III project. In: European Commission (2018)

CURRIERO, Frank C; PATZ, Jonathan A; ROSE, Joan B; LELE, Subhash: The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948–1994. In: *American journal of public health* 91 (2001), H. 8, 1194–1199

CZERWINSKA, A. E.; KRZYSCIN, A. W.: Climatological aspects of the increase of the skin cancer (melanoma) incidence rate in Europe. In: *International Journal of Climatology* 40 (2020), H. 6, 3196–3207

DALLY, Miranda; BUTLER-DAWSON, Jaime; KRISHER, Lyndsay; MONAGHAN, Andrew; WEITZENKAMP, David; SORENSEN, Cecilia J.; JOHNSON, Richard J.; CARLTON, Elizabeth J.; ASENSIO, Claudia; TENNEY, Liliana; NEWMAN, Lee S.: The impact of heat and impaired kidney function on productivity of Guatemalan sugarcane workers. In: *PLOS ONE* 13 (2018), H. 10

DANIELOVÁ, Vlasta; KLIEGROVÁ, Stanislava; DANIEL, Milan; BENEŠ, Cestmír: INFLUENCE OF CLIMATE WARMING ON TICK-BORNE ENCEPHALITIS EXPANSION TO HIGHER ALTITUDES OVER THE LAST DECADE (1997–2006) IN THE HIGHLAND REGION (CZECH REPUBLIC). In: *Central European Journal of Public Health* 16 (2008), H. 1

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV): DGUV-Statistiken für die Praxis 2020. Berlin: DGUV, 2020

Deutsche Krebsgesellschaft (DKG); Deutsche Krebshilfe (DKH); Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF): Leitlinienprogramm Onkologie: S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Kurzversion 2.0. 2021

Deutscher Wetterdienst: Pollenflug-Gefahrenindex. In: *Klima und Umwelt* / s.a. Internet

DIFFEY, B. L.: Stratospheric Ozone Depletion and the Risk of Nonmelanoma Skin-Cancer in a British Population. In: *Physics in Medicine and Biology* 37 (1992), H. 12, 2267–2279

DOUEIHY, Celina; CHELALA, Dania; OSSAILI, Hadi; HACHEM, Gebrael El; ZEIDAN, Sandy; GHOUL, Balsam El; AOUN, Mabel: Occupational Heat Exposure as a Risk Factor for End-Stage Kidney Disease: A Case–Control Study. In: *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 64 (2022), H. 3, e103–e108

EBI, Kristie L; HASEGAWA, Tomoko; HAYES, Katie; MONAGHAN, Andrew; PAZ, Shlomit; BERRY, Peter: Health risks of warming of 1.5°C, 2°C, and higher, above pre-industrial temperatures. In: *Environmental Research Letters* 13 (2018), H. 6, 063007

EIS, Dieter; HELM, Dieter; LAUßMANN, Detlef; STARK, Klaus: Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht. (2011)

EL KELISH, Amr; ZHAO, Feng; HELLER, Werner; DURNER, Jörg; WINKLER, J. Barbro; BEHRENDT, Heidrun; TRIDL-HOFFMANN, Claudia; HORRES, Ralf; PFEIFER, Matthias; FRANK, Ulrike; ERNST, Dieter: Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen allergenicity: SuperSAGE transcriptomic analysis upon elevated CO₂ and drought stress. *BMC Plant Biology* [Type of Work]. 2014, vol. 14, no. 1, S. 16. Available from Internet: doi.org/10.1186/1471-2229-14-176. ISSN 1471–2229

EMBERLIN, Jean; DETANDT, M.; GEHRIG, R.; JAEGER, S.; NOLARD, N.; RANTIO-LEHTIMÄKI, A.: Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. In: *International Journal of Biometeorology* 46 (2002), H. 4, 159–170

EMBERLIN, Jean; MULLINS, John; CORDEN, Julie; MILLINGTON, Wendy; BROOKE, Marion; SAVAGE, Mike; JONES, Sandra: The trend to earlier birch pollen seasons in the U.K.: A biotic response to changes in weather conditions? In: *Grana* 36 (1997), H. 1, 29–33

EZHOVA, Ekaterina; ORLOV, Dmitry; SUHONEN, Elli; KAVERIN, Dmitry; MAHURA, Alexander; GENNADINIK, Victor; KUKKONEN, Ilmo; DROZDOV, Dmitry; LAPPALAINEN, Hanna K.; MELNIKOV, Vladimir: Climatic factors influencing the anthrax outbreak of 2016 in Siberia, Russia. In: *EcoHealth* 18 (2021), H. 2, 217–228

FATIMA, S. H.; ROTHMORE, P.; GILES, L. C.; VARGHESE, B. M.; BI, P.: Extreme heat and occupational injuries in different climate zones: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. In: *Environment International* 148 (2021)

FAULDE, Michael K.; RUTENFRANZ, Martin; HEPKE, Jürgen; ROGGE, Mareike; GÖRNER, Andreas; KETH, Alexander: Human tick infestation pattern, tick-bite rate, and associated *Borrelia burgdorferi* s.l. infection risk during occupational tick exposure at the Seedorf military training area, northwestern Germany. In: *Ticks and Tick-Borne Diseases* 5 (2014), H. 5, 594–599

FISCHER, Imma; JÄCKEL, R; RIEGER, Monika A: Epidemiologie arbeitsbedingter Infektionskrankheiten /. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2013

FORD, James D.; BERRANG-FORD, Lea; PATERSON, Jaclyn: A systematic review of observed climate change adaptation in developed nations. In: *Climatic Change* 106 (2011), 327–336

FORSBERG, B.; BRÅBÄCK, L.; KEUNE, H.; KOBERNUS, M.; KRAYER VON KRAUSS, M.; YANG, A.; BARTONOVA, A.: An expert assessment on climate change and health – With a European focus on lungs and allergies. In: *Environmental Health: A Global Access Science Source* 11 (2012), H. SUPPL.1

FRANK, Christina; FABER, Mirko; Hellenbrand, Wiebke; Wilking, Hendrik; Stark, Klaus: Wichtige, durch Vektoren übertragene Infektionskrankheiten beim Menschen in Deutschland. In: *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 57 (2014), H. 5, 557–567

FREI, T.: Climate change in Switzerland: Impact on hazel, birch, and grass pollen on the basis of half a century of pollen records (1969–2018). In: *Allergologie* 43 (2020), H. 9, 357–366

GARCÍA-MOZO, Herminia; GALÁN, Carmen; JATO, Victoria; BELMONTE, Jordina; DE LA GUARDIA, Consuelo Díaz; FERNÁNDEZ, Delia; GUTIÉRREZ, Montserrat; AIRA, María Jesús; ROURE, Joan M.; RUIZ, Luis; TRIGO, M. Mar; DOMÍNGUEZ-VILCHES, Eugenio: Quercus pollen season dynamics in the Iberian peninsula: Response to meteorological parameters and possible consequences of Climate Change. In: *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 13 (2006), H. 2, 209–224

GARCÍA-TRABANINO, Ramón; JARQUÍN, E.; WESSELING, Catharina; JOHNSON, Richard J.; GONZÁLEZ-QUIROZ, M.; WEISS, Ilana; GLASER, Jason; JOSÉ VINDELL, J.; STOCKFELT, L.; RONCAL, C.; HARRA, T.; BARREGARD, L.: Heat stress, dehydration, and kidney function in sugarcane cutters in El Salvador. A cross-shift study of workers at risk of Mesoamerican nephropathy. In: *Environ Res* 142 (2015), 746–55

GARMS, Rolf: Tropenmedizinisch relevante Insekten. In: *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen* (2014)

GARZON-VILLALBA, X. P.; MBAH, A.; WU, Y.; HILES, M.; MOORE, H.; SCHWARTZ, S. W.; BERNARD, T. E.: Exertional heat illness and acute injury related to ambient wet bulb globe temperature. In: *Am J Ind Med* 59 (2016), H. 12, 1169–1176

GRANDI, C.; BORRA, M.; MILITELLO, A.; POLICHETTI, A.: Impact of climate change on occupational exposure to solar radiation. In: *Annali Dell Istituto Superiore Di Sanita* 52 (2016), H. 3, 343–356

GRAY, J. S.; DAUTEL, H.; ESTRADA-PEÑA, A.; KAHL, O.; LINDGREN, E.: Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. In: *Interdisciplinary perspectives on infectious diseases 2009* (2009)

GRIFFIN, Dale W.: Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. In: *Clinical microbiology reviews* 20 (2007), H. 3, 459–477

GRIMBUHLER, S.; VIEL, J. F.: Heat Stress and Cardiac Strain in French Vineyard Workers. In: *Ann Work Expo Health* 65 (2021), H. 4, 390–396

GUN, R. T.; BUDD, G. M.: Effects of thermal, personal and behavioural factors on the physiological strain, thermal comfort and productivity of Australian shearers in hot weather. In: *Ergonomics* 38 (1995), H. 7, 1368–1384

HAN, Xiang Y.: Effects of climate changes and road exposure on the rapidly rising legionellosis incidence rates in the United States. In: *PLOS ONE* 16 (2021), H. 4, e0250364

HEAT-SHIELD: A HEAT-DEFENSE PLAN FOR KEEPING WORKERS SAFE AND PRODUCTIVE IN THE HEAT (2020)

HELLWIG, R. T.; NÖSKE, I.; BRASCHE, S.; GEBHARDT, H.; LEVCHUK, I.; BISCHOF, W.: Hitzebeanspruchung und Leistungsfähigkeit in Büroräumen bei erhöhten Außentemperaturen. In: *Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin* (2012),

HOPF, Silke; DIETERICH, Frank: Arbeit mit Biostoffen regeln. In: *BAuA aktuell* 03 (2019), 4

HÜNEFELD, L.; HÜNEFELD, A.: BIBB/BAuA 2018 Arbeiten im Freien – Beschäftigte vor UV-Strahlung schützen. In: *baua: Fakten /*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2019, 2

International Agency for Research on Cancer (IARC): Solar and Ultraviolet Radiation. In: *Radiation – A Review of Human Carcinogens: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans /*. 100 D. 2012, 35–101

IOANNOU, L. G.; TSOUTSOUBI, L.; MANTZIOS, K.; GKIKAS, G.; PIIL, J. F.; DINAS, P. C.; NOTLEY, S. R.; KENNY, G. P.; NYBO, L.; FLOURIS, A. D.: The impacts of sun exposure on worker physiology and cognition: Multi-country evidence and interventions. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (2021), H. 14,

IPINA, A.; LOPEZ-PADILLA, G.; RETAMA, A.; PIACENTINI, R. D.; MADRONICH, S.: Ultraviolet Radiation Environment of a Tropical Megacity in Transition: Mexico City 2000–2019. In: *Environmental Science & Technology* 55 (2021), H. 16, 10946–10956

JANSSEN, W.: Sonnenbrillen – Sicherer Sonnenschutz für die Augen. In: *baua: Praxis kompakt /*. 3. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2018, 2

JOHN, S. M.; ULRICH, C.; KEZIC, S.: Definition und Evaluation eines optimalen topisch applizierbaren Sonnenschutzes zur Beeinflussung der Krankheitsaktivität bei Erkrankten mit BK-Nr. 5103 – Protect UV 5103 (FB-0278). 2020

JOVANOVIĆ, D.; LUKINOVIĆ, M.; VITOSEVIĆ, Z.: Environment and health – thirty years of successful implementation of the Montreal Protocol. In: *Srpski Arhiv Za Celokupno Lekarstvo* 147 (2019), H. 7–8, 492–496

KAHLENBORN, W.; PORST, L.; VOß, M.; FRITSCH, U.; RENNER, K.; ZEBISCH, M.: Klimaauswirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. In: *Umweltbundesamt* 26 (2021)

KALTSATOU, A.; FLOURIS, A. D.; HERRY, C. L.; NOTLEY, S. R.; MACARTNEY, M. J.; SEELY, A. J. E.; KENNY, G. P.: Heart rate variability in older workers during work under the Threshold Limit Values for heat exposure. In: *Am J Ind Med* 63 (2020), H. 9, 787–795

KNUSCHKE, P.; OTT, G.; BAUER, A.; JANSSEN, M.; MERSIOWSKY, K.; PÜSCHEL, A.; RÖNSCH, H.: Schutzkomponenten bei solarer UV-Exposition. Dortmund: 2015

KNUSCHKE, P.; UNVERRICHT, I.; ASCHOFF, R.; CUEVAS, M.; JANSSEN, M.; KOCH, E.; KRÜGER, A.; OTT, G.; THIELE, A.: Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien. Dortmund: 2010

KNUSCHKE, P.; UNVERRICHT, I.; OTT, G.; JANSSEN, M.: Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Dortmund: 2007

KULASOORIYA, Pavithra N.; JAYASEKARA, Kithsiri B.; NISANSALA, Thilini; KANNANGARA, Sajani; KARUNARATHNA, Ranawaka; KARUNARATHNE, Chaminda; WIKRAMARATHNE, Mahinda; ALBERT, Steven M.: Utility of Self-Reported Heat Stress Symptoms and NGAL Biomarker to Screen for Chronic Kidney Disease of Unknown Origin (CKDu) in Sri Lanka. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [Type of Work]. 2021, vol. 18, no. 19, S. 11. Available from Internet: www.mdpi.com/1660-4601/18/19/10498. ISSN 1660-4601

KURGANSEKIY, A.; CREER, S.; DE VERE, N.; GRIFFITH, G. W.; OSBORNE, N. J.; WHEELER, B. W.; MCINNES, R. N.; CLEWLOW, Y.; BARBER, A.; BRENNAN, G. L.; HANLON, H. M.; HEGARTY, M.; POTTER, C.; ROWNEY, F.; ADAMS-GROOM, B.; PETCH, G. M.; PASHLEY, C. H.; SATCHWELL, J.; DE WEGER, L. A.; RASMUSSEN, K.; OLIVER, G.; SINDT, C.; BRUFFAERTS, N.; SKJØTH, C. A.: Predicting the severity of the grass pollen season and the effect of climate change in Northwest Europe. In: *Science advances* 7 (2021), H. 13

KYNAST, Luisa: Umgang mit Witterungsbedingungen und den Auswirkungen des Klimawandels aus Bauunternehmenssicht. Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2021

LA RUCHE, G.; SOUARÈS, Y.; ARMENGAUD, A.; PELOUX-PETIOT, F.; DELAUNAY, P.; DESPRÈS, P.; LENGLET, A.; JOURDAIN, F.; LEPARC-GOFFART, I.; CHARLET, F.: First two autochthonous dengue virus infections in metropolitan France, September 2010. In: *Eurosurveillance* 15 (2010), H. 39, 19676

LANGEN, U.; SCHMITZ, R.; STEPPUHN, H.: Häufigkeit allergischer Erkrankungen in Deutschland. In: *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 56 (2013), H. 5, 698–706

LEMUS-DESCHAMPS, L.; MAKIN, J. K.: Fifty years of changes in UV Index and implications for skin cancer in Australia. In: *International Journal of Biometeorology* 56 (2012), H. 4, 727–735

LEVI, Miriam; KJELLSTROM, Tord; Baldasseroni, Alberto: Impact of climate change on occupational health and productivity: a systematic literature review focusing on workplace heat. In: *La Medicina del lavoro* 109 (2018), H. 3, 163

LEVY, Karen; SMITH, Shanon M.; CARLTON, Elizabeth J.: Climate change impacts on waterborne diseases: moving toward designing interventions. In: *Current environmental health reports* 5 (2018), H. 2, 272–282

LEVY, Karen; WOSTER, Andrew P.; GOLDSTEIN, Rebecca S.; CARLTON, Elizabeth J.: Untangling the impacts of climate change on waterborne diseases: a systematic review of relationships between diarrheal diseases and temperature, rainfall, flooding, and drought. In: *Environmental Science & Technology* 50 (2016), H. 10, 4905–4922

LINDGREN, Elisabet; TÄLLEKLINT, Lars; POLFELDT, Thomas: Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. In: *Environmental Health Perspectives* 108 (2000), H. 2, 119–123

LIU-HELMERSSON, Jing; QUAM, Mikkel; WILDER-SMITH, Annelies; STENLUND, Hans; EBI, Kristie; MASSAD, Eduardo; ROCKLÖV, Joacim: Climate change and *Aedes* vectors: 21st century projections for dengue transmission in Europe. In: *EBioMedicine* 7 (2016), 267–277

LUKAN, Martin; BULLOVA, Eva; PETKO, Branislav: Climate warming and tick-borne encephalitis, Slovakia. In: *Emerging infectious diseases* 16 (2010), H. 3, 524

MEDLOCK, Jolyon M.; LEACH, Steve A.: Effect of climate change on vector-borne disease risk in the UK. In: *The Lancet Infectious Diseases* 15 (2015), H. 6, 721–730

MEEGAHAPOLA, P. A.; PRABODANIE, R. A. R.: Impact of environmental conditions on workers' productivity and health. In: *International Journal of Workplace Health Management* 11 (2018), H. 2, 74–84

MELTZER, Eli O.; Bukstein, Don A.: The economic impact of allergic rhinitis and current guidelines for treatment. In: *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 106 (2011), H. 2, Supplement, S12–S16

MILLER, V. S.; BATES, G. P.: Hydration, hydration, hydration. In: *Ann Occup Hyg* 54 (2010), H. 2, 134–6

MILLS, James N.; GAGE, Kenneth L.; KHAN, Ali S.: Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: a review and proposed research plan. In: *Environmental Health Perspectives* 118 (2010), H. 11, 1507–1514

MITCHELL, D. C.; CASTRO, J.; ARMITAGE, T. L.; VEGA-ARROYO, A. J.; MOYCE, S. C.; TANCREDI, D. J.; BENNETT, D. H.; JONES, J. H.; KJELLSTROM, T.; SCHENKER, M. B.: Recruitment, Methods, and Descriptive Results of a Physiologic Assessment of Latino Farmworkers: The California Heat Illness Prevention Study. In: *J Occup Environ Med* 59 (2017), H. 7, 649–658

MIX, J.; ELON, L.; VI THIEN MAC, V.; FLOCKS, J.; ECONOMOS, E.; TOVAR-AGUILAR, A. J.; STOVER HERTZBERG, V.; MCCAULEY, L. A.: Hydration Status, Kidney Function, and Kidney Injury in Florida Agricultural Workers. In: *J Occup Environ Med* 60 (2018), H. 5, e253–e260

MODA, H. M.; FILHO, W. L.; MINHAS, A.: Impacts of climate change on outdoor workers and their safety: Some research priorities. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (2019), H. 18

- MODENESE, A.; GOBBA, F.: Macular degeneration and occupational risk factors: a systematic review. In: *International Archives of Occupational and Environmental Health* 92 (2019), H. 1, 1–11
- MOHAN, Jacqueline E.; ZISKA, Lewis H.; SCHLESINGER, William H.; THOMAS, Richard B.; SICHER, Richard C.; GEORGE, Kate; CLARK, James S.: Biomass and toxicity responses of poison ivy (*Toxicodendron radicans*) to elevated atmospheric CO₂. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103 (2006), H. 24, 9086–9089
- MORABITO, M.; CECCHI, L.; CRISCI, A.; MODESTI, P. A.; ORLANDINI, S.: Relationship between work-related accidents and hot weather conditions in Tuscany (central Italy). In: *Industrial Health* 44 (2006), H. 3, 458–464
- MORAVCOVÁ, Lenka; PYŠEK, Petr; PERGL, Jan; PERGLOVÁ, Irena; JAROŠÍK, Voitech: Seasonal pattern of germination and seed longevity in the invasive species *Heracleum mantegazzianum*. In: *Preslia* 78 (2006), H. 3, 287–301
- MOREY, Philip R.: *Climate change and Potential effects on microbial air quality.* (2010)
- MORO, Maria Luisa; GAGLIOTTI, Carlo; SILVI, Giuliano; ANGELINI, Raffaella; SAMBRI, Vittorio; REZZA, Giovanni; MASSIMILIANI, Erika; MATTIVI, Andrea; GRILLI, Elisa; FINARELLI, Alba Carola: Chikungunya virus in North-Eastern Italy: a seroprevalence survey. In: *The American journal of tropical medicine and hygiene* 82 (2010), H. 3, 508
- MORRISSEY, M. C.; BREWER, G. J.; WILLIAMS, W. J.; QUINN, T.; CASA, D. J.: Impact of occupational heat stress on worker productivity and economic cost. In: *American journal of industrial medicine* 64 (2021), 981–988
- MOYCE, Sally; JOSEPH, Jill; TANCREDI, Daniel; MITCHELL, Diane; SCHENKER, Marc: Cumulative Incidence of Acute Kidney Injury in California's Agricultural Workers. In: *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 58 (2016), H. 4, 391–397
- MOYCE, Sally; MITCHELL, Diane; VEGA, A.; SCHENKER, Marc: Hydration Choices, Sugary Beverages, and Kidney Injury in Agricultural Workers in California. In: *Journal of Nursing Scholarship* 52 (2020), H. 4, 369–378
- NAINGGOLAN, G.; SOEMARKO, D.; SIREGAR, P.; SUTRANTO, A. L.; BARDOSONO, S.; PRIJANTI, A. R.; AULIA, D.: Diagnostic role of urine specific gravity to detect kidney impairment on heat-exposed workers in a shoe factory in Indonesia: A cross-sectional study. In: *BMJ Open* 11 (2021), H. 9
- NEALE, R. E.; BARNES, P. W.; ROBSON, T. M.; NEALE, P. J.; WILLIAMSON, C. E.; ZEPP, R. G.; WILSON, S. R.; MADRONICH, S.; ANDRADY, A. L.; HEIKKILA, A. M.; BERNHARD, G. H.; BAIS, A. F.; AUCAMP, P. J.; BANASZAK, A. T.; BORNMAN, J. F.; BRUCKMAN, L. S.; BYRNE, S. N.; FOEREID, B.; HADER, D. P.; HOLLESTEIN, L. M.; HOU, W. C.; HYLANDER, S.; JANSEN, M. A. K.; KLEKOCIUK, A. R.; LILEY, J. B.; LONGSTRETH, J.; LUCAS, R. M.; MARTINEZ-ABAIGAR, J.; MCNEILL, K.; OLSEN, C. M.; PANDEY, K. K.; RHODES, L. E.; ROBINSON, S. A.; ROSE, K. C.; SCHIKOWSKI, T.; SOLOMON, K. R.; SULZBERGER, B.; UKPEBOR, J. E.; WANG, Q. W.; WANGBERG, S. A.; WHITE, C. C.; YAZAR, S.; YOUNG, A. R.;

YOUNG, P. J.; ZHU, L.; ZHU, M.: Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. In: Photochemical & Photobiological Sciences 20 (2021), H. 1, 1–67

NERBASS, F. B.; MOIST, L.; CLARK, W. F.; VIEIRA, M. A.; PECOITS-FILHO, R.: Hydration Status and Kidney Health of Factory Workers Exposed to Heat Stress: A Pilot Feasibility Study. In: Annals of Nutrition and Metabolism 74 (2019), H. Suppl3, 30–37

O'BRIEN, C.; BLANCHARD, L. A.; CADARETTE, B. S.; ENDRUSICK, T. L.; XU, X.; BERGLUND, L. G.; SAWKA, M. N.; HOYT, R. W.: Methods of evaluating protective clothing relative to heat and cold stress: thermal manikin, biomedical modeling, and human testing. In: J Occup Environ Hyg 8 (2011), H. 10, 588–99

Organization, World Health; UNICEF: Global vector control response 2017–2030. (2017)

ORKIC, Z.; PUNTARIC, D.; VIDOSAVLJEVIC, D.; PUNTARIC, I.; PUNTARIC, E.; GVOZDIC, V.; MAYER, D.; VIDOSAVLJEVIC, M.; VRANJES, A. M.: Climatic Factors and Epidemiologic Characteristics of Head and Neck Skin Malignancies in Osijek Baranja County, Croatia. In: Central European Journal of Public Health 23 (2015), H. 4, 275–285

PATZ, J. A.; Githeko, A. K.; MCCARTY, J. P.; HUSSEIN, S.; CONFALONIERI, U.; DE WET, N.: Climate change and infectious diseases. In: Climate change and human health: risks and responses 6 (2003), 103–137

PAULO, M. S.; ADAM, B.; AKAGWU, C.; AKPARIBO, I.; AL-RIFAI, R. H.; BAZRAFSHAN, S.; GOBBA, F.; GREEN, A. C.; IVANOV, I.; KEZIC, S.; LEPPINK, N.; LONEY, T.; MODENESE, A.; PEGA, F.; PETERS, C. E.; PRUSS-USTUN, A. M.; TENKATE, T.; UJITA, Y.; WITTLICH, M.; JOHN, S. M.: WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of occupational exposure to solar ultraviolet radiation and of the effect of occupational exposure to solar ultraviolet radiation on melanoma and non-melanoma skin cancer. In: Environment International 126 (2019), 804–815

PAZ, Shlomit; SEMENZA, Jan C.: Environmental drivers of West Nile fever epidemiology in Europe and Western Asia – a review. In: International Journal of Environmental Research and Public Health 10 (2013), H. 8, 3543–3562

PERAZA, Sandra; WESSELING, Catharina; ARAGON, Aurora; LEIVA, Ricardo; GARCÍA-TRABANINO, Ramón Antonio; TORRES, Cecilia; JAKOBSSON, Kristina; ELINDER, Carl Gustaf; HOGSTEDT, Christer: Decreased Kidney Function Among Agricultural Workers in El Salvador. In: American Journal of Kidney Diseases 59 (2012), H. 4, 531–540

PINAULT, L.; BUSHNIK, T.; FIOLETOV, V.; PETERS, C. E.; KING, W. D.; TJEPKEMA, M.: The risk of melanoma associated with ambient summer ultraviolet radiation. In: Health Reports 28 (2017), H. 5, 3–11

PIOTROWSKA-WERYSZKO, K.; WERYSZKO-CHMIELEWSKA, E.; SULBORSKA, A.; KONARSKA, A.; DMITRUK, M.; KASZEWSKI, B. M.: Amaranthaceae pollen

grains as indicator of climate change in Lublin (Poland). In: Environmental Research 193 (2021)

PIOTROWSKA, Krystyna: Pollen production in selected species of anemophilous plants. In: Acta Agrobotanica 61 (2008), H. 1, 41–52

PORRAS-SALAZAR, J. A.; SCHIAVON, S.; WARGOCKI, P.; CHEUNG, T.; THAM, K. W.: Meta-analysis of 35 studies examining the effect of indoor temperature on office work performance. In: Elsevier 203 (2021)

PRASETIO, Diki Bima; SAHIROH, Eli; PUTRI, Nasya Adelia; HARYANI, Sri; PRAMESTI, Shinta Dwi Surya; SURAHMAN, Nor Rahmad Adi: Increased Creatinine Levels Among Heat Exposed Workers In Grobogan Tiles Industry, Central Java, Indonesia. In: International Journal of Health, Education and Social 4 (2021), H. 4, 10–18

RAMEEZDEEN, R.; ELMUALIM, A.: The impact of heat waves on occurrence and severity of construction accidents. In: International Journal of Environmental Research and Public Health 14 (2017), H. 1,

RAPPOLE, John H; DERRICKSON, Scott R; HUBALEK, Zdenek: Migratory birds and spread of West Nile virus in the Western Hemisphere. In: Emerging infectious diseases 6 (2000), H. 4, 319

RAPTIS, I. P.; ELEFATHERATOS, K.; KAZADZIS, S.; KOSMOPOULOS, P.; PAPACHRISTOPOULOU, K.; SOLOMOS, S.: The Combined Effect of Ozone and Aerosols on Erythematous Irradiance in an Extremely Low Ozone Event during May 2020. In: Atmosphere 12 (2021), H. 2,

RAUER, D.; GILLES, S.; WIMMER, M.; FRANK, U.; MUELLER, C.; MUSIOL, S.; VAFADARI, B.; AGLAS, L.; FERREIRA, F.; SCHMITT-KOPPLIN, P.; DURNER, J.; WINKLER, J. B.; ERNST, D.; BEHRENDT, H.; SCHMIDT-WEBER, C. B.; TRIDL-HOFFMANN, C.; ALESSANDRINI, F.: Ragweed plants grown under elevated CO₂ levels produce pollen which elicit stronger allergic lung inflammation. In: Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology 76 (2021), H. 6, 1718–1730

REZZA, Giovanni: Dengue and other Aedes-borne viruses: a threat to Europe? In: Eurosurveillance 21 (2016), H. 21, 30238

REZZA, Giovanni: Re-emergence of Chikungunya and other scourges: the role of globalization and climate change. In: Ann Ist Super Sanita 44 (2008), H. 4, 315–318

Robert Koch-Institut (RKI); Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland (GEKID): Krebs in Deutschland 2017/2018. 2021

ROCHOLL, M.; WEINERT, P.; BIELFELDT, S.; LAING, S.; WILHELM, K. P.; ULRICH, C.; JOHN, S. M.: New methods for assessing secondary performance attributes of sunscreens suitable for professional outdoor work. In: Journal of Occupational Medicine and Toxicology 16 (2021), H. 1

ROGERS, Christine A.; WAYNE, Peter M.; MACKLIN, Eric A.; MUILENBERG, Michael L.; WAGNER, Christopher J.; EPSTEIN, Paul R.; BAZZAZ, Fakhri A.: Interaction of the Onset of Spring and Elevated Atmospheric CO₂ on Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) Pollen Production. In: Environmental Health Perspectives 114 (2006), H. 6, 865–869

- ROSSELLÓ, Jaume; SANTANA-GALLEGO, Maria; AWAN, Waqas: Infectious disease risk and international tourism demand. In: *Health policy and planning* 32 (2017), H. 4, 538–548
- ROWLINSON, S.; JIA, Y. A.: Application of the predicted heat strain model in development of localized, threshold-based heat stress management guidelines for the construction industry. In: *Ann Occup Hyg* 58 (2014), H. 3, 326–39
- ROWLINSON, S.; JIA, Y. A.: Construction accident causality: An institutional analysis of heat illness incidents on site. In: *Safety Science* 78 (2015), 179–189
- SAHU, S.; MAITY, S. G.; MOITRA, S.; SETT, M.; HALDAR, P.: Cardiovascular load during summer work of two age groups of van-rickshaw pullers in West Bengal, India. In: *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 19 (2013a), H. 4, 657–665
- SAHU, S.; SETT, M.; KJELLSTROM, T.: Heat exposure, cardiovascular stress and work productivity in rice harvesters in India: Implications for a climate change future. In: *Industrial Health* 51 (2013b), H. 4, 424–431
- SCHEID, Gunild; BERGMANN, Karl-Christian: 20 Jahre Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (1983–2003). In: *Allergo Journal* 13 (2004), H. 4, 261–268
- SCHLESINGER, Pnina; MAMANE, Yaacov; GRISHKAN, Isabella: Transport of microorganisms to Israel during Saharan dust events. In: *Aerobiologia* 22 (2006), H. 4, 259–273
- SCHMALWIESER, A. W.; CASALE, G. R.; COLOSIMO, A.; SCHMALWIESER, S. S.; SIANI, A. M.: Review on Occupational Personal Solar UV Exposure Measurements. In: *Atmosphere* 12 (2021), H. 2,
- SCHMALWIESER, A. W.; SCHMALWIESER, V. T.; SCHMALWIESER, S. S.: Influence of Air Temperature on the UV Exposure of Different Body Sites Due to Clothing of Young Women During Daily Errands. In: *Photochemistry and Photobiology* 95 (2019), H. 4, 1068–1075
- SCHMIDT, C. W.: Pollen overload: Seasonal allergies in a changing climate. In: *Environmental Health Perspectives* 124 (2016), H. 4, A71–A75
- SCHMITT, J.; HAUFE, E.; TRAUTMANN, F.; SCHULZE, H. J.; ELSNER, P.; DREXLER, H.; BAUER, A.; LETZEL, S.; JOHN, S. M.; FARTASCH, M.; BRUNING, T.; SEIDLER, A.; DUGAS-BREIT, S.; GINA, M.; WEISTENHOFER, W.; BACHMANN, K.; BRUHN, I.; LANG, B. M.; BONNESS, S.; ALLAM, J. P.; GROBE, W.; STANGE, T.; WESTERHAUSEN, S.; KNUSCHKE, P.; WITTLICH, M.; DIEPGEN, T. L.: Is ultraviolet exposure acquired at work the most important risk factor for cutaneous squamous cell carcinoma? Results of the population-based case-control study FB-181. In: *British Journal of Dermatology* 178 (2018), H. 2, 462–472
- SCHMITT, J.; SEIDLER, A.; DIEPGEN, T.; BAUER, A.: Occupational Ultraviolet Light Exposure Increases the Risk for the Development of Cutaneous Squamous Cell Carcinoma: a Systematic Review and Meta-Analysis. In: *British Journal of Dermatology* 164 (2011), H. 2, 291–307

SCHULTE, Paul A; CHUN, HeeKyoung: Climate change and occupational safety and health: establishing a preliminary framework. In: Journal of Occupational and Environmental Hygiene 6 (2009), H. 9, 542–554

SCHULTE, Paul A.; STREIT, Jessica M. K.; SHERIFF, Fatima; DELCLOS, George; FELKNOR, Sarah A.; TAMERS, Sara L.; FENDINGER, Sherry; GROSCH, James; SALA, Robert: Potential scenarios and hazards in the work of the future: A systematic review of the peer-reviewed and gray literatures. In: Annals of Work Exposures and Health 64 (2020), H. 8, 786–816

SCHWARZ, M.; BAUMGARTNER, D. J.; PIETSCH, H.; BLUMTHALER, M.; WEIHS, P.; RIEDER, H. E.: Influence of low ozone episodes on erythematous UV-B radiation in Austria. In: Theoretical and Applied Climatology 133 (2018), H. 1–2, 319–329

SCHWERDTNER, Patrick; KYNAST, Luisa; POHRT, Ute; WALTER, Andreas; KUMLEHN, Frank; WERNER, Frank; MÜLLER, Susanne: Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Gewerke der Baubranche unter besonderer Berücksichtigung des Faktors Mensch: Abschlussbericht des interdisziplinären Forschungsprojektes KlimaBau. Braunschweig: 2022. 978-3-936214-34-5

SEPPÄNEN, Olli; FISK, William J.; LEI, Q. H.: Effect of Temperature on Task Performance in Office Environment. In: Berkeley Lab (2006),

SETLOW, R. B.: Spectral regions contributing to melanoma: A personal view. In: Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings 4 (1999), H. 1, 46–49

SETLOW, R. B.; GRIST, E.; THOMPSON, K.; WOODHEAD, A. D.: Wavelengths Effective in Induction of Malignant-Melanoma. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 90 (1993), H. 14, 6666–6670

SETT, M.; SAHU, S.: Effects of occupational heat exposure on female brick workers in West Bengal, India. Glob Health Action [Type of Work]. 2014, vol. 7, [cited PMC3914028, S. 11. ISSN 1654-9716 (Print) 1654-9880

SHI, Dallas S.; WEAVER, Virginia M.; HODGSON, Michael J.; TUSTIN, Aaron W.: Hospitalised heat-related acute kidney injury in indoor and outdoor workers in the USA. In: Occupational and Environmental Medicine 79 (2022), H. 3, 184–191

SINGH, Poonam; YADAV, Yogesh; SARASWAT, Shweta; DHIMAN, Ramesh C.: Intricacies of using temperature of different niches for assessing impact on malaria transmission. In: The Indian Journal of Medical Research 144 (2016), H. 1, 67

SOBCZYK, Thomas: Der EichenprozeSSIONsspinner in Deutschland. Historie – Biologie – Gefahren – Bekämpfung /. Bonn – Bad Godesberg, , 365, 2014 BfN-Skripten

STACH, A.; GARCÍA-MOZO, Herminia; PRIETO-BAENA, J. C.; CZARNECKA-OPERACZ, M.; JENEROWICZ, D.; SILNY, W.; GALÁN, C.: Prevalence of *Artemisia* Species Pollinosis in Western Poland: Impact of Climate Change on Aerobiological Trends, 1995–2004. In: Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology 17 (2007), H. 1, 39–47

Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst: Pollenflugkalender. In: Pollenvorhersage /. 2022 Internet

STOCKER, Thomas: Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / . Cambridge university press, 2014

TAUBENBERGER, Jeffery K.; REID, Ann H.; LOURENS, Raina M.; WANG, Ruixue; JIN, Guozhong; FANNING, Thomas G.: Characterization of the 1918 influenza virus polymerase genes. In: *Nature* 437 (2005), H. 7060, 889–893

TAWATSUPA, B.; LIM, L. L.; KJELLSTROM, T.; SEUBSMAN, S. A.; SLEIGH, A.: Association between occupational heat stress and kidney disease among 37,816 workers in the Thai Cohort Study (TCS). In: *J Epidemiol* 22 (2012), H. 3, 251–60

TENKATE, T.; ADAM, B.; AL-RIFAI, R. H.; CHOU, B. R.; GOBBA, F.; IVANOV, I. D.; LEPPINK, N.; LONEY, T.; PEGA, F.; PETERS, C. E.; PRUSS-USTUN, A. M.; PAULO, M. S.; UJITA, Y.; WITTLICH, M.; MODENESE, A.: WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of occupational exposure to solar ultraviolet radiation and of the effect of occupational exposure to solar ultraviolet radiation on cataract. In: *Environment International* 125 (2019), 542–553

THOMAS, Kate M.; CHARRON, Dominique F.; WALTNER-TOEWS, David; SCHUSTER, Corinne; MAAROUF, Abdel R.; HOLT, John D.: A role of high impact weather events in waterborne disease outbreaks in Canada, 1975–2001. In: *International journal of environmental health research* 16 (2006), H. 03, 167–180

THOMAS, P.; SWAMINATHAN, A.; LUCAS, R. M.: Climate change and health with an emphasis on interactions with ultraviolet radiation: a review. In: *Global Change Biology* 18 (2012), H. 8, 2392–2405

TREIER, C.; SCHNAUBER, H.; MESSINESIS, St.; HOFFMANN, V.; ALIFERIS, K.: Untersuchung der Außentätigkeiten unter unmittelbarer Einwirkung von Sonnenstrahlen. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 2000

VAN HEERWAARDEN, C. C.; MOL, W. B.; VEERMAN, M. A.; BENEDICT, I.; HEUSINKVELD, B. G.; KNAP, W. H.; KAZADZIS, S.; KOUREMETI, N.; FIEDLER, S.: Record high solar irradiance in Western Europe during first COVID-19 lockdown largely due to unusual weather. In: *Communications Earth & Environment* 2 (2021), H. 1

VONESCH, Nicoletta; D'OVIDIO, Maria Concetta; MELIS, Paola; REMOLI, Maria Elena; GRAZIA CIUFOLINI, Maria; TOMAO, Paola: Climate change, vector-borne diseases and working population. In: *Annali dell'Istituto superiore di sanita* 52 (2016), H. 3, 397–405

WANG, B.; CHAI, G.; SHA, Y.; ZHA, Q.; SU, Y.; GAO, Y.: Impact of ambient temperature on cardiovascular disease hospital admissions in farmers in China's Western suburbs. In: *Science of the Total Environment* 761 (2021)

WÄSTERLUND, D. S.: A review of heat stress research with application to forestry. In: *Applied Ergonomics* 29 (1998), H. 3, 179–183

- WERCHAN, Matthias; WERCHAN, Barbora; BERGMANN, Karl-Christian: German pollen calendar 4.0 – update based on 2011–2016 pollen data. In: *Allergo Journal International* 27 (2018), H. 3, 69–71
- WESSELING, C.; ARAGON, A.; PERAZA, S.; HOGSTEDT, C.; KJELLSTRÖM, T.; ALBIN, M.; GUSTAV ELINDER, C.; JAKOBSSON, K.: Heat stress: A cause of chronic kidney disease along the Mesoamerican west coast? In: *Occupational and Environmental Medicine* 68 (2011), A66
- WITTERSEH, T.; WYON, D. P.; CLAUSEN, G.: The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. In: *Indoor Air, Supplement 14* (2004), H. 8, 30–40
- WITTLICH, M.: Criteria for Occupational Health Prevention for Solar UVR Exposed Outdoor Workers-Prevalence, Affected Parties, and Occupational Disease. In: *Frontiers in Public Health* 9 (2022)
- World Health Organization (WHO): The effect of occupational exposure to solar ultraviolet radiation on malignant skin melanoma and nonmelanoma skin cancer: a systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. (2021),
- World Meteorological Organization (WMO): Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 58. Genf, Schweiz: 2019
- XIANG, J.; BI, P.; PISANIELLO, D.; HANSEN, A.; SULLIVAN, T.: Association between high temperature and work-related injuries in Adelaide, South Australia, 2001–2010. In: *Occup Environ Med* 71 (2014), H. 4, 246–52
- ZEMAN, Petr; BENEŠ, Cestmir: A tick-borne encephalitis ceiling in Central Europe has moved upwards during the last 30 years: possible impact of global warming? In: *International Journal of Medical Microbiology Supplements* 293 (2004), 48–54
- ZHONG, Zhi-Ping; TIAN, Funing; ROUX, Simon; GAZITÚA, M. Consuelo; SOLOMONENKO, Natalie E.; LI, Yueh-Fen; DAVIS, Mary E.; VAN ETTEN, James L.; MOSLEY-THOMPSON, Ellen; RICH, Virginia I.: Glacier ice archives nearly 15,000-year-old microbes and phages. In: *Microbiome* 9 (2021), H. 1, 1–23
- ZISKA, Lewis H.; KNOWLTON, Kim; ROGERS, Christine; DALAN, Dan; TIERNEY, Nicole; ELDER, Mary Ann; FILLEY, Warren; SHROPSHIRE, Jeanne; FORD, Linda B.; HEDBERG, Curtis; FLEETWOOD, Pamela; HOVANKY, Kim T.; KAVANAUGH, Tony; FULFORD, George; VRTIS, Rose F.; PATZ, Jonathan A.; PORTNOY, Jay; COATES, Frances; BIELORY, Leonard; FRENZ, David: Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 (2011), H. 10, 4248–4251