



Journal of Health Monitoring · 2023 8(S4)

DOI 10.25646/11647

Robert Koch-Institut, Berlin

Cornelia Baldermann¹, Gudrun Laschewski²,
Jens-Uwe Grooß³

¹ Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg/
Oberschleißheim
FG WR4 – Optische Strahlung

² Deutscher Wetterdienst, Freiburg
Zentrum für Medizin-Meteorologische
Forschung

³ Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung –
Stratosphäre (IEK-7)

Eingereicht: 05.01.2023

Akzeptiert: 26.06.2023

Veröffentlicht: 06.09.2023

Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch veränderte UV-Strahlung

Abstract

Hintergrund: UV-Strahlung kann zu ernstesten Erkrankungen von Haut und Augen führen, insbesondere Krebserkrankungen. UV-bedingte Hautkrebsinzidenzen steigen seit Jahrzehnten an. Entscheidend hierfür ist die individuelle UV-Belastung. Klimawandelbedingte Änderungen atmosphärischer Faktoren können Einfluss auf die individuelle UV-Belastung nehmen.

Methode: Auf Basis einer themenspezifischen Literaturrecherche wird eine Übersichtsarbeit erstellt und durch noch nicht publizierte Ergebnisse eigener Studien ergänzt. Es werden der wissenschaftliche Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowie primärpräventive Handlungsempfehlungen formuliert.

Ergebnisse: Der Klimawandel verändert in Deutschland die Einflussfaktoren auf die UV-Bestrahlungsstärke und die UV-Jahresdosis. Erste Auswertungen von Satellitendaten für Deutschland zeigen für das letzte Jahrzehnt im Vergleich zu den letzten drei Jahrzehnten eine Erhöhung der mittleren UV-Spitzenbelastungen und UV-Jahresdosis.

Schlussfolgerungen: Die klimawandelbedingten Einflüsse auf die individuelle UV-Belastung und das damit verbundene individuelle Krankheitsgeschehen lassen sich aufgrund von erheblichen Unsicherheiten gegenwärtig noch nicht belastbar vorhersagen. Aber bereits das derzeitige UV-bedingte Krankheitsgeschehen drängt zu primärpräventiven Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen.

Dieser Artikel ist Teil der Beitragsreihe zum [Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit 2023](#).

 KLIMAWANDEL · UV-STRAHLUNG · OZON · BEWÖLKUNG · GESUNDHEIT · ANPASSUNG

1. Einleitung

Der Klimawandel hat ernste Folgen für Mensch und Umwelt. Katastrophen wie Überschwemmungen, Stürme, Dürren oder Hitzewellen führen dies klar vor Augen. Nicht so offensichtlich, aber darum nicht minder problematisch, sind Auswirkungen des Klimawandels, die für Mensch und Natur negative Folgen haben können, aber unbemerkt wir-

ken und so die Situation schleichend verschlimmern. Eine davon ist die klimawandelbedingte Veränderung der Einflussfaktoren auf die ultraviolette (UV-)Strahlungsbelastung (im vorliegenden Artikel wird UV in Zusammensetzungen oftmals als Kürzel für ultraviolette Strahlung verwendet).

UV-Strahlung ist Initiator der körpereigenen Vitamin-D-Bildung. Gleichzeitig ist UV-Strahlung Hauptursache für Hautkrebs und kann zu weiteren gesundheitlich negativen

UV-Strahlung kann zu ernstesten Erkrankungen von Haut und Augen führen, insbesondere Krebserkrankungen.

Folgen für Augen und Haut führen [1, 2]. UV-Strahlung schädigt das Erbgut und ist, wie auch Asbest und ionisierende Strahlung, in die höchste Risikogruppe 1 als „krebserregend für den Menschen“ eingestuft [3]. Vor allem UV-bedingte Krebserkrankungen belasten das Wohl der Allgemeinheit und verursachen hohe Kosten für das Gesundheitswesen [2, 4]. UV-bedingte Gesundheitsschäden an Augen und Haut können grundsätzlich jeden treffen. Kinder sind besonders gefährdet [1].

Dem derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand zufolge verändert der Klimawandel weltweit und auch in Deutschland die Einflussfaktoren der UV-Belastung und damit das UV-bedingte Erkrankungsrisiko der Menschen. Für die individuelle UV-Belastung der Menschen und damit für das UV-bedingte Erkrankungsrisiko spielen neben dem individuellen UV-Expositionsverhalten die in den Lebenswelten der Menschen vorhandenen Strukturen, die – wie beispielsweise Schattenplätze – eine UV-Entlastung bieten, eine entscheidende Rolle [2].

In diesem Beitrag werden die Veränderungen der erdbodennahen UV-Belastung und die sich daraus ergebenden Folgen für die individuelle UV-Belastung und damit für das Gesundheitsrisiko betrachtet sowie Handlungsempfehlungen zur Anpassung gegeben. Die Literaturrecherche für diesen Beitrag erfolgte ausgehend von internationalen Übersichtsarbeiten zu den Themen „Stratosphärisches Ozon“, „Klimawandel“, „Wechselwirkungen zwischen Ozon und Klima und Auswirkungen auf die solare UV-Strahlung“ sowie „Klimawandel, UV-Exposition, menschliche Gesundheit“ unter anderem im kostenlosen Volltextarchiv für biomedizinische und biowissenschaftliche Zeitschriftenliteratur PubMed. Darüber hinaus wurden

Berichte und Datenservices nationaler wie internationaler Behörden und deren Literaturverzeichnisse genutzt sowie eigene Studien durchgeführt, die noch nicht publiziert sind. Diese sind mit dem Hinweis „Autor et al.; Daten nicht veröffentlicht“ gekennzeichnet.

2. Entwicklung der erdbodennahen UV-Belastung

2.1 Retrospektive Entwicklung der UV-Belastung

Kennzeichnend für die UV-Strahlung im Lebensraum des Menschen ist eine sehr starke räumliche und zeitliche Variabilität, welche hauptsächlich durch den Sonnenstand, die Dicke der Ozonschicht und die Bewölkung bestimmt wird. Weitere Einflüsse gehen vom Aerosolgehalt der Luft, dem Reflexionsvermögen des Bodens und der Höhenlage des Aufenthaltsortes aus. Änderungen des Sonnenstandes widerspiegeln sich in Änderungen der UV-Strahlung sowohl mit der geografischen Breite, als auch im Laufe des Tages und des Jahres. Der stärkste Absorber der UV-Strahlung, das atmosphärische Ozon, weist üblicherweise höhere Konzentrationen in nördlichen Breiten auf und hat seinerseits einen Jahresgang mit den höchsten Werten im März und April und den niedrigsten Werten im Oktober und November. Durch die anthropogenen Emissionen von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) wurde nicht nur das antarktische Ozonloch verursacht, sondern auch global unterschiedlich die Dicke der Ozonschicht reduziert. Durch internationale Vereinbarungen wie das Montrealer Protokoll 1987 und Folgeabkommen wurden die Emissionen der FCKW im Vergleich zu den 1970er- und 1980er-Jahren fast komplett auf null reduziert, so dass die Chlor-Belastung der Atmosphäre seit etwa dem Jahr 2000 zurückgeht und

In Deutschland verändern sich UV-Bestrahlungsstärke und UV-Jahresdosis und damit die individuelle UV-Strahlungsbelastung.

sich die Dicke der Ozonschicht langsam erholt. Im Falle des Arktischen Ozons konnte das aufgrund der hohen Variabilität bis jetzt noch nicht nachgewiesen werden [5].

Auswirkung der genannten Einflussfaktoren auf die UV-Bestrahlungsstärke

Wie sich die genannten Einflüsse auf die UV-Belastung auswirken, kann man beispielsweise an der mittleren Häufigkeit des Auftretens bestimmter UV-Index-Klassen (keine bis geringe, mittlere, hohe, sehr hohe und extreme Belastung [6]) erkennen. Der UV-Index (UVI) ist eine Maßzahl für das Tagesmaximum der sonnenbrandwirksamen (erythemwirksamen) UV-Bestrahlungsstärke, das auf einer horizontalen Fläche auftritt [6]. **Abbildung 1** zeigt die Ergebnisse der Auswertung von Satellitendaten für Monatsdrittel (Zeitabschnitte von 10 ± 1 Tagen) an vier Orten unterschiedlicher geografischer Breite in Deutschland (Sylt, Berlin, Frankfurt am Main, München). Im langjährigen Mittel (Datengrundlage hier: 1983–2019) treten in Deutschland im Sommer überall hohe UV-Index-Werte ($UVI \geq 6$) auf, jedoch gibt es Unterschiede, wie viele Tage und welche weiteren Zeiträume im Frühjahr und Herbst betroffen sind. Der betroffene Zeitraum sowie der mittlere Anteil und die maximale Anzahl der Tage mit hohen UV-Index-Werten innerhalb eines Monatsdrittels sind im Süden größer als im Norden Deutschlands. Bei der hier vorgenommenen Zeiteinteilung treten in München im Vergleich zu Sylt zusätzlich in drei Monatsdritteln hohe UV-Index-Werte auf. Betrachtet man das Monatsdrittel mit den stärksten Belastungen, so sind in München 37% mehr hohe UV-Index-Werte zu verzeichnen als in Sylt. Ein ähnliches Muster zeigt sich auch bei den sehr hohen UV-Index-Werten ($UVI \geq 8$),

mit der Besonderheit, dass sie ganz im Norden in Sylt typischerweise extrem selten auftreten und in der Darstellung des langjährigen Mittels daher keine Rolle spielen. In München sind zehn Monatsdrittel von sehr hohen UV-Index-Werten betroffen, damit fünfmal so viele wie in Berlin, und der maximale Anteil der Tage innerhalb eines Monatsdrittels liegt im Vergleich zu Berlin um 15% höher. Auf Niedrigozonereignisse, die zu außergewöhnlichen Werten des UVI führen können, wird weiter unten in diesem Abschnitt eingegangen.

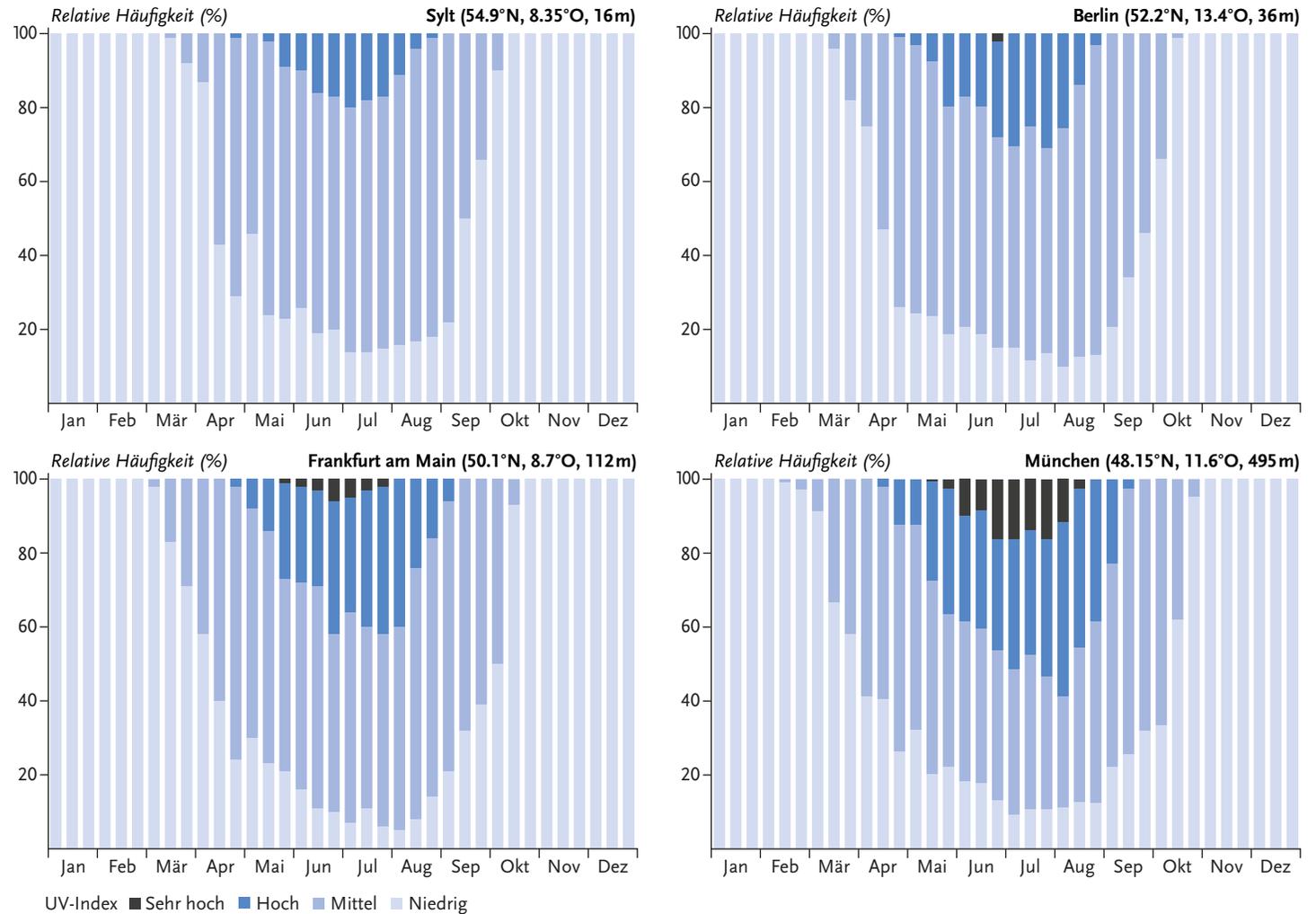
Veränderung der UV-Belastung

Die UV-Belastung in Deutschland während der jüngeren Vergangenheit unterscheidet sich von den langjährigen mittleren Bedingungen. Dies verdeutlicht ein Mittel der UVI-Anomalien der vier in **Abbildung 1** dargestellten Orte, welches für jeden Ort auf den Abweichungen der Monatsdrittel im Zeitraum 2010–2019 von den jeweiligen Monatsdritteln des Gesamtzeitraums 1983–2019 beruht (**Abbildung 2**). Das Vier-Orte-Mittel in Deutschland zeigt einen statistisch signifikanten Anstieg der Werte des UVI während des Zeitraums 2010–2019 im Vergleich zum langjährigen Mittelwert 1983–2019. Während der Monate Februar bis Juli sind im Mittel ausschließlich positive UVI-Anomalien zu verzeichnen, d. h. hier hatte der UVI in der letzten Dekade im Durchschnitt höhere Werte. Das Ausmaß der Anomalien variiert und erreicht die höchsten Werte um 0,5 UVI (Differenz um 12,5 Milliwatt pro Quadratmeter (mW/m^2) sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärke) Anfang Juli und Anfang Juni. Die mittlere UVI-Anomalie im Monat Juni beträgt 0,35 UVI ($8,75 mW/m^2$ sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärke). Die positiven UVI-An-

Abbildung 1

Mittlere relative Häufigkeit von UV-Index-Klassen zur Mittagszeit an vier Orten in Deutschland (angegeben sind Breitengrad, Längengrad und Höhe des Ortes über dem Meerespiegel)

Quelle: Eigene Darstellung nach Vitt et al. [7];
Datengrundlage erweitert bis 2019
(Deutscher Wetterdienst)



Darstellung für Monatsdrittel (10 ± 1 Tage) im Zeitraum 1983 – 2019 in Sylt, Berlin, Frankfurt am Main und München, basierend auf Satellitendaten

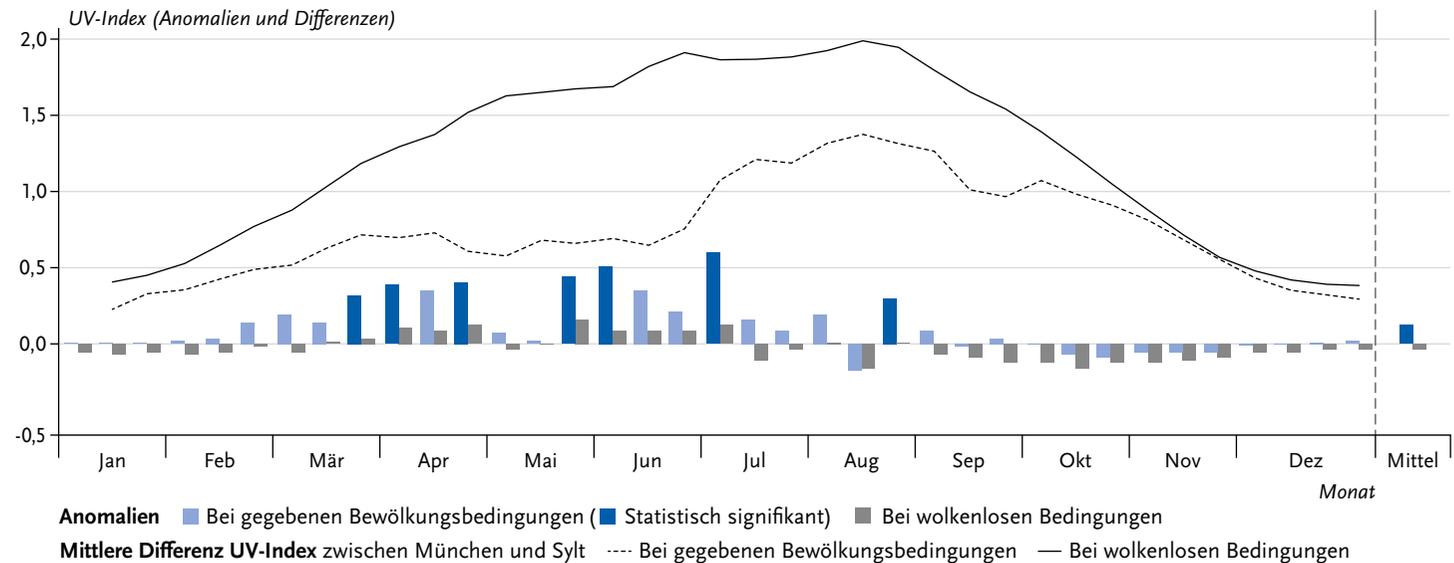
omalien treten auch zu solchen Zeiten im Jahr auf, die mit Blick auf die gesundheitlichen Folgen der UV-Belastung besonders bedeutsam sind: In der Regel ist im Frühjahr die Haut der meisten Menschen in Deutschland noch sonnenungewohnt und damit besonders gefährdet.

Die Zeit um den Sonnenhöchststand im Juni ist, wie oben dargestellt, durch die höchsten Absolutwerte des UVI im Jahresverlauf gekennzeichnet. Diese auf Satellitendaten basierenden Ergebnisse spiegeln vor allem die Auswirkungen von Veränderungen der Bewölkung und der Ozon-

Abbildung 2

Anomalien des UV-Index (UVI) und Differenzen des UVI zwischen München und Sylt. Säulen zeigen Anomalien des UVI im Zeitraum 2010–2019 im Vergleich zu 1983–2019 pro Monatsdrittel (Vier-Orte-Mittel).

Quelle: Eigene Darstellung nach Vitt et al. [7]; Datengrundlage erweitert bis 2019 (Deutscher Wetterdienst)



schichtdicke wider. Die Anomalien des UVI bei wolkenlosem Himmel sind auf dieser Datengrundlage die Folge von Änderungen der Ozonschichtdicke. Im Mittel über das gesamte Jahr ist eine geringe Abnahme der UVI-Anomalie bei wolkenlosem Himmel zu verzeichnen, die als Ausdruck der sich verbessernden Situation der Ozonschicht durch die Umsetzung des Montrealer Protokolls interpretiert werden kann, jedoch nicht statistisch signifikant ist.

Insgesamt geben die Auswertungen der Satellitendaten erste Anzeichen, dass die UV-Belastung in Deutschland während des letzten Jahrzehnts (2010–2019) hauptsächlich durch Rückgänge der Bewölkung im Frühjahr und Sommer geprägt wird. Die Entwicklung der Ozonschicht spielt im Vergleich dazu eine deutlich geringere Rolle ([7], Laschewski et al.; Daten nicht veröffentlicht). Der Einfluss längerfristiger Aerosoländerungen wird mit dieser Datengrundlage nicht abgebildet.

Neben den Tagesmaxima der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke in Form des UVI sind auch die für alle Stunden der Tage eines Jahres aufsummierten Werte in Form der UV-Jahresdosis von Bedeutung, welche in Analogie zum UVI für den Zeitraum 1983–2019 ausgewertet wurden (Laschewski et al.; Daten nicht veröffentlicht). Das Vier-Orte-Mittel in Deutschland deutet auf eine um 2 % pro Jahrzehnt höhere UV-Jahresdosis hin, wenn man den Mittelwert des Zeitraums 2010–2019 mit dem langjährigen Mittelwert von 1983–2019 vergleicht. Die UV-Jahresdosis ist durch eine starke Variabilität von Jahr zu Jahr gekennzeichnet. Im besonders sonnenscheinreichen Jahr 2018 lag die mittlere UV-Jahresdosis der vier Orte in Deutschland um ca. 13 % über dem langjährigen Mittel, im besonders sonnenscheinarmen Jahr 1987 um ca. 16 % unter dem langjährigen Mittel. Auswertungen der am Erdboden gemessenen Daten des UV-Messnetzes bestätigen

diesen Zusammenhang ([8], Lorenz et al.; Daten nicht veröffentlicht).

Die regionalen Unterschiede der UV-Belastung zwischen Nord- und Süddeutschland sind groß. Die prozentualen Änderungen des UVI und der UV-Jahresdosis wirken sich daher regional unterschiedlich aus. So liegt die UV-Jahresdosis in München auf Basis der Satellitendaten im langjährigen Mittel um 29% über der von Sylt, was primär durch die geografische Breite (d. h. den Sonnenstand) bedingt ist ([7], Laschewski et al.; Daten nicht veröffentlicht). Inwieweit langfristige Änderungen des Aerosolgehalts der Luft in Deutschland mit Veränderungen der UV-Belastung korrespondieren, ist derzeit noch unklar. Für eine solche Auswertung sind qualitätsgesicherte Datenreihen bodengebundener Messungen notwendig.

Die dargestellten Erkenntnisse aus der Auswertung von Satellitendaten für Deutschland ([7], Laschewski et al.; Daten nicht veröffentlicht), welche für den Zeitraum 2010–2019 einen um 3% pro Jahrzehnt höheren mittleren Wert des UVI bzw. eine um 2% pro Jahrzehnt höhere mittlere UV-Jahresdosis im Vergleich zum Gesamtzeitraum (1983–2019) zeigen, liegen im Wertebereich der anhand von bodengebundenen Messungen für mehrere europäische Stationen ermittelten Veränderungen der UV-Strahlung [9]. In dieser Studie weisen die Messdaten der Stationen auf der geografischen Breite Deutschlands in den letzten 22 Jahren (1996–2017) Veränderungen der UV-Strahlung von -7% bis +5% pro Jahrzehnt auf.

Als Hauptursachen für die langfristigen Veränderungen der UV-Strahlung lassen sich an den meisten Orten außerhalb der Polarregionen Änderungen der Bewölkung, des Aerosolgehalts der Luft und des Reflexionsvermögens des

Bodens identifizieren, während Veränderungen der Ozonschichtdicke weniger wichtig sind [10]. Die erfolgreiche Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung der Luftverschmutzung bewirkte eine allgemeine Reduzierung des Aerosolgehalts seit etwa Mitte der 1980er-Jahre und führte auch in Deutschland zu einer höheren Strahlungsdurchlässigkeit der Atmosphäre [11]. In Folge dessen ist auch aufgrund der Reduzierung des Aerosolgehalts der Luft von einer Zunahme der bodennahen UV-Belastung auszugehen, die in urbanen Räumen besonders ausgeprägt und nicht dem Klimawandel zuzuschreiben ist.

Niedrigozonereignisse

Wie oben gezeigt wird, spielt auch in Deutschland die Entwicklung der Ozonschicht im Mittel eine deutlich geringere Rolle für die Entwicklung der UV-Belastung als Bewölkungsänderungen. Dennoch bedürfen sogenannte Niedrigozonereignisse (low ozone events, LOE) einer gesonderten Betrachtung, da sie für wenige Tage zu unerwartet hohen UV-Belastungen führen können. Es gibt verschiedene Ursachen, warum sich LOE bilden können. Zum einen kann die Wetterlage zu einem Anstieg der Höhe der Tropopause, die den Übergang von der Troposphäre zur Stratosphäre markiert, und somit zu einer (reversiblen) Verdrängung eines Teils des stratosphärischen Ozons führen. Dies bezeichnet man als LOE dynamischen Ursprungs. Zum anderen ist es möglich, dass Luftmassen aus dem arktischen Polarwirbel, in denen Ozon durch Chlorchemie irreversibel abgebaut wurde, im Frühjahr in niedrigere Breiten transportiert werden. Diese LOE chemischen Ursprungs können zwischen März und Mitte April auftreten.

Nicht alle LOE führen unmittelbar zu einer erhöhten erdbodennahen UV-Belastung, da die UV-Strahlung beim Durchgang durch die Atmosphäre durch Wolken oder Aerosole stark verringert werden kann. Eine aktuelle Studie wertet auf der Grundlage von Satellitendaten aus dem Zeitraum 1983–2019 das Auftreten von allen LOE mit assoziierter UV-Anomalie aus, d. h. an diesen Tagen herrscht eine stärkere erdbodennahe UV-Belastung als bei wolkenlosen Bedingungen mit normaler Ozonschichtdicke zu verzeichnen wäre [12]. Diese Studie ergibt, dass die jährliche Anzahl der LOE unterschiedlichen Ursprungs durch eine hohe Variabilität gekennzeichnet ist. Sie treten eher selten und nicht in jedem Jahr auf. LOE dynamischen Ursprungs können zu allen Monaten des Jahres vorkommen. Die Zeit des stärksten globalen Ozonabbaus in den 1990er-Jahren ist durch eine größere Häufigkeit von LOE gekennzeichnet. Während der letzten beiden Jahrzehnte (1998–2019) zeigt sich eine im Mittel rückläufige Anzahl aller LOE eines Jahres, wobei jedoch die Jahressummen der LOE-assoziierten Anomalien der UV-Dosis während dieses Zeitraums im Mittel unverändert sind. Insgesamt liefert der Mittelwert der Jahressummen der LOE-assoziierten Anomalien der UV-Dosis mit weniger als 1/1000 der UV-Jahresdosis einen eher geringen Beitrag. Betrachtet man die Spitzenbelastungen (LOE-assoziierte UVI-Anomalien), so ist das Frühjahr mit mehr als der Hälfte der kumulierten UV-Spitzenbelastungen die am stärksten von LOE betroffene Jahreszeit. Die Haut der meisten Menschen in Deutschland ist zu dieser Jahreszeit sonnenungewohnt und somit besonders gefährdet. Daraus ergibt sich die gesundheitliche Relevanz im Frühjahr auftretender LOE, die nicht in jedem Jahr vorkommen. Innerhalb der letzten beiden Jahrzehnte liefert

der Sommer (und damit die strahlungsintensivste Zeit des Jahres) einen zunehmenden Anteil an allen LOE-assoziierten Spitzenbelastungen. Im Studienzeitraum (1983–2019) wird die stärkste LOE-assoziierte Zunahme der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke erreicht, wenn LOE nahe des Jahres-Sonnenhöchststands im Juni oder Anfang Juli auftreten; in Bezug auf die betrachteten vier Orte in Deutschland werden als Anomalie-Maximalwerte für Berlin, Frankfurt und München ca. 45 mW/m² (entsprechend 1,8 UVI) festgestellt. Primär wegen der unterschiedlichen geografischen Breite (d. h. des unterschiedlichen Sonnenstands) sind in dem ausgewerteten Zeitraum mit diesen Anomalie-Maximalwerten unterschiedliche Absolutwerte des UVI verbunden, welche von UVI 8 in Berlin bis UVI 9 in München reichten.

2.2 Erwartete Entwicklung der UV-Belastung bis Mitte und Ende des Jahrhunderts

Die möglichen zukünftigen Klimawandelentwicklungen werden mit einer Reihe von verschiedenen Szenarien modelliert. Eine Einführung in die Szenarien findet sich z. B. im einleitenden Artikel dieses Sachstandsberichts [13]. Bei Annahme des Szenarios SSP2-4.5 (Strahlungsantrieb von 4,5 W/m², der sogenannte mittlere Weg, bei dem die bisherige Entwicklung fortgeschrieben wird und Umweltsysteme eine gewisse Verschlechterung erfahren [14]) wird außerhalb der polaren Breiten eine Rückkehr zu Ozonsäulenwerten von 1980 etwa gegen 2035 für mittlere nördliche Breiten (35°N–60°N) sowie gegen 2045 für die Arktis erwartet [5]. Simulationen mit Chemieklimamodellen für den Zeitraum 1960–2100 legen aber nahe, dass Veränderun-

gen der UV-B-Strahlung in den mittleren Breiten in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts von anderen Faktoren als durch Veränderungen des globalen stratosphärischen Ozons dominiert werden könnten [15], nämlich durch einen statistisch signifikanten Rückgang der Wolkendecke um 1,4 % pro Jahrzehnt. Nach diesen Berechnungen würde die UV-B-Strahlung zwischen 2050 und 2100 voraussichtlich um 1,3 % pro Jahrzehnt zunehmen, obwohl gleichzeitig kein Trend der Ozonschichtdicke feststellbar ist. Diese Projektionen hängen kritisch von der genauen Beschreibung von Wolken durch die Klimamodelle ab und die Unsicherheiten ihrer Modellierung bewirken erhebliche Unsicherheiten auch für die projizierten Veränderungen der UV-Strahlung.

In Bezug auf Veränderungen des stratosphärischen Ozons (und in der Folge mittelbar auf LOE aufgrund polaren chemischen Ozonabbaus) begünstigt der Einfluss des Klimawandels, der zu einer Abkühlung der Stratosphäre und zu einem Anstieg des stratosphärischen Wassergehalts führt, den Ozonabbau im Frühjahr im arktischen Polarwirbel und könnte so der Erholung durch den sinkenden Chlorgehalt entgegenwirken [5, 16]. Es gibt eine sehr große Variabilität des arktischen Ozonabbaus von Jahr zu Jahr. Auf Basis bisheriger Modellierungen wird zum jetzigen Zeitpunkt erwartet, dass das Ausmaß des arktischen Ozonabbaus im Frühjahr bis Mitte des Jahrhunderts zurückgehen wird [5], wobei andere Abschätzungen einen Zeithorizont bis Ende des Jahrhunderts ableiten [16]. Die nicht in jedem Jahr auftretenden LOE über Deutschland aufgrund von polarem chemischen Ozonabbau könnten im Laufe des Jahrhunderts seltener werden, können jedoch weiterhin auftreten. Neben diesen LOE chemischen Ur-

sprungs treten überwiegend LOE dynamischen Ursprungs auf. Es ist derzeit unklar, wie sich die Häufigkeit ihres Auftretens und die damit verbundenen UV-Belastungen entwickeln werden. Bisher sind keine Hinweise bekannt, die auf deren grundsätzliches Ausbleiben in den kommenden Jahrzehnten hindeuten würden. Einfache Extrapolationen der retrospektiven Trends würden einerseits wegen der rückläufigen Anzahl der LOE einen Rückgang der UV-Belastung erwarten lassen. Andererseits könnten ein weiterer Rückgang der Bewölkung und ein häufigeres Auftreten der LOE im Sommer eine Zunahme der UV-Belastung wahrscheinlicher machen. Weder der Nettoeffekt der gegenläufigen Trends noch die Zulässigkeit der Extrapolationen lassen sich gegenwärtig seriös abschätzen. Es besteht Forschungsbedarf.

Aufgrund erheblicher Unsicherheiten lässt sich die Entwicklung der UV-Belastung in Deutschland bis Mitte und Ende des Jahrhunderts gegenwärtig noch nicht belastbar vorhersagen.

3. Veränderung der individuellen UV-Belastung und Auswirkungen auf UV-bedingte Erkrankungen

Die zuvor beschriebenen klimawandelbedingten Veränderungen der Einflussfaktoren auf die bodennahe UV-Bestrahlungsstärke und die UV-Jahresdosis können die individuelle UV-Belastung verändern und wirken sich somit auf das direkt durch UV-Strahlung bedingte Erkrankungsrisiko aus [1, 2, 17, 18]. Indirekt bedingte Gesundheitsfolgen durch UV-Strahlung sind beispielweise die Auswirkungen erhöhten bodennahen Ozons (s. [Breitner-Busch et al.](#) [19] in diesem Sachstandsbericht) oder die negative Beeinflussung

UV-bedingte Hautkrebsinzidenzen steigen seit Jahrzehnten an.

von Neurodermitis durch UV-Strahlung (s. Bergmann et al. [20] in diesem Sachstandsbericht), auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Bei Betrachtungen des gesundheitlichen Risikos durch UV-Strahlung sind aufgrund der Tatsache, dass UV-Strahlung sofort gesundheitsrelevante Schäden verursachen kann und diese sich über das Leben hinweg aufsummieren können [1, 2], sowohl die einzelnen UV-Bestrahlungsmomente als auch die über das Leben akkumulierte UV-Dosis, die Lebenszeitdosis, zu berücksichtigen. In Bezug auf gesundheitliche Folgen einer veränderten bodennahen UV-Belastung sind entsprechend die über die letzten Jahrzehnte beobachtete Erhöhung der erdbodennahen UV-Bestrahlungsstärke [7], eine längerfristig erhöhte UV-Jahresdosis [8] und Niedrigozonereignisse [21–24] einzeln zu betrachten.

Zur Beschreibung des UV-bedingten Krankheitsgeschehens wird der UV-bedingte Hautkrebs (Infobox 1) herangezogen, da es hierzu Daten gibt, die eine Quantifizierung der Krankheitsgeschehens erlauben.

Weltweit wird seit Jahrzehnten eine ansteigende Hautkrebsinzidenz verzeichnet. In Deutschland hat sich die Inzidenz für den hellen Hautkrebs in den letzten 30 Jahren vervierfacht (Männer) bis verfünffacht (Frauen) [2, 25]. Für den schwarzen Hautkrebs hat sich die Inzidenz seit den 1970er-Jahren etwa vervierfacht [2, 25]. Seit 2012 ist die Erkrankungsrate für den schwarzen Hautkrebs bei Frauen leicht rückläufig und bei Männern etwa konstant geblieben [26]. Derzeit erkranken entsprechend den Hochrechnungen aus den Daten des Hautkrebsregisters Schleswig-Holstein, die im Gegensatz zu den Daten des Robert Koch-Instituts auch in-situ Melanome und in-situ

Infobox 1 Hautkrebs

Man unterscheidet beim Hautkrebs den sogenannten hellen oder weißen Hautkrebs vom schwarzen Hautkrebs. Zum hellen Hautkrebs zählen das Basalzellkarzinom (Basaliom) und das Plattenepithelkarzinom (Spinaliom oder auch Stachelzellkrebs). Beim hellen Hautkrebs vermehren sich melaninlose Hautzellen (Melanin=farbgebendes Pigment der Haut und der Haare) unkontrolliert. Dem hellen Hautkrebs können Hautveränderungen vorausgehen, die sogenannten Präkanzerosen, wie die aktinische Keratose oder der Morbus Bowen. Der schwarze Hautkrebs wird als malignes Melanom bzw. Melanom bezeichnet. Hier entarten melaninhaltige Hautzellen. Sowohl das Plattenepithelkarzinom, als auch das Melanom können streuen und Metastasen bilden.

Plattenepithelkarzinom beinhalten, rund 300.000 Menschen pro Jahr neu an Hautkrebs [27]. Die Krankenhausbehandlungen UV-bedingter Hautkrebserkrankungen stiegen zwischen 2001 und 2021 um 75 %, die Todesfälle mit rund 4.100 Verstorbenen in 2021 im selben Zeitraum um 55 % [28]. Zwischen 2001 und 2021 sind rund 72.000 Menschen in Deutschland aufgrund von Hautkrebs (Melanom und sonstige bösartige Neubildungen der Haut) gestorben [29].

Modellrechnungen entsprechend könnte ein um 1 % verringertes stratosphärisches Ozon einen Anstieg der Inzidenz für den schwarzen Hautkrebs (Melanom) um 1–2 % [30, 31], für das Plattenepithelkarzinom um 3–4,6 % und für das Basalzellkarzinom um 2,7 % bedeuten [32–34]. Bei dem über Deutschland eingetretenen Abbau um 3 % würde das rein theoretisch einen geschätzten Anstieg für den schwarzen Hautkrebs (Melanom) um 3–6 %, für das Plattenepithelkarzinom um 9–15 % und für das Basalzellkarzinom um 9 % bedeuten. Bei Annahme der vollständi-

Die Auswirkung der Klimawandel-beeinflussten Veränderungen auf das individuelle Hautkrebsrisiko lässt sich derzeit nur mit erheblichen Unsicherheiten vorhersagen.

gen Einhaltung des Montrealer Protokolls und unter Berücksichtigung des Hauttyps ergaben Modellierungen, dass aufgrund stratosphärischen Ozonverlusts bis zum Ende des 21. Jahrhunderts für Westeuropa mit drei bis vier zusätzlichen Hautkrebsfällen pro 100.000 Einwohner und Jahr zu rechnen ist [35]. Das wären in Deutschland bei einer Einwohnerzahl von rund 83 Millionen etwa 2.500 bis 3.300 zusätzliche Hautkrebsfälle pro Jahr.

Die in Deutschland beobachteten Niedrigozonereignisse führen zu unerwartet hohen UV-Bestrahlungsstärken, welche insbesondere im Frühjahr nicht erwartet und Sonnenschutzmaßnahmen entsprechend nicht bedacht werden. Ein damit verbundenes höheres Risiko für Sonnenbrände und in der Folge für Hautkrebskrankungen kann angenommen werden. Eine Quantifizierung ist jedoch auch aufgrund einer fehlenden Beschreibung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung von individueller UV-Dosis und Hautkrebskrankungsgeschehen derzeit nicht möglich. Eben solches gilt für die Quantifizierung der gesundheitlichen Konsequenzen einer erhöhten UV-Jahresdosis in sonnenreichen Jahren.

Die mit dem Klimawandel einhergehende Temperaturerhöhung wird ebenfalls als Einflussfaktor auf das Hautkrebsgeschehen diskutiert. Studien zeigen, dass Hitze stress den programmierten Zelltod UV-geschädigter Zellen hemmen kann und sich bei einer Temperaturerhöhung um 2 °C die Inzidenz für den hellen Hautkrebs um etwa 11% erhöhen könnte [36–38]. Die bisherigen Studien zur Auswirkung höherer Temperaturen auf die Entstehung von UV-bedingtem Hautkrebs lassen Fragen offen, so dass es zur Klärung und zur Festigung der Erkenntnisse weiterer Untersuchungen bedarf [2].

Die in der Literatur zu findenden Abschätzungen der Inzidenzerhöhung betrachten nicht das Verhalten der Menschen, sich im Freien aufzuhalten – also der Art, wie lange man sich welchen UV-Bestrahlungsstärken unter Anwendung welcher UV-Schutzmaßnahmen aussetzt. Dieses sogenannte UV-Expositionsmuster ist aber ein wesentlicher Risikofaktor für Hautkrebskrankungen [2]. Sonnenbrände als Konsequenz einer zu intensiven UV-Bestrahlung beispielsweise verdoppeln das Risiko, an schwarzem Hautkrebs zu erkranken – bei Kindern wird von einer Verdreifachung gesprochen [2, 4].

Klimawandelbedingte Veränderungen im menschlichen Sonnenexpositionsverhalten können einen wichtigen Einfluss auf zukünftige Gesundheitsrisiken durch UV-Strahlung haben. Bisher veröffentlichte wissenschaftliche Untersuchungen stützen die Theorie, dass Menschen sich bei angenehmen Wetterverhältnissen und Temperaturen häufiger und leicht bekleidet im Freien aufhalten und so insbesondere bei geringer Bewölkung (Strahlungswetterlage) ihre individuelle UV-Belastung erhöhen. In einer aktuellen Übersichtsarbeit werden die bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu klimabedingten Veränderungen im menschlichen Sonnenexpositionsverhalten zusammengefasst [39]. Demnach bestehen insbesondere bei Freizeitaktivitäten und bei der aktiven Freizeitmobilität mehr Möglichkeiten, sich wetterabhängig zu verhalten, als bei Routinetätigkeiten, auch wenn die Richtung und das Ausmaß der Auswirkungen variieren. Es zeigt sich zudem, dass es ist nicht gerechtfertigt ist, Ergebnisse und Schlussfolgerungen zwischen unterschiedlichen Klimazonen und Jahreszeiten zu übertragen und zwischen verschiedenen Freizeitaktivitäten und Formen aktiver Mobilität zu verallge-

Das richtige UV-Schutz-Verhalten zu erlernen und auszuüben beginnt von klein auf und ist bis ins hohe Alter eine Notwendigkeit.

meinern. Außerdem ist zu beachten, dass sich Verhaltensänderungen je nach individuellen Merkmalen des Menschen wie Wärmeaffinität, Freizeittyp, Alter und Geschlecht unterschiedlich entwickeln können. Für ein gemäßigtes Klima, wie es in Deutschland herrscht, liefern die vorliegenden Studien Hinweise darauf, dass eine mögliche Erhöhung der UV-Exposition in erster Linie aus einer Reduzierung der Kleidung und erst in zweiter Linie aus einer veränderten Aufenthaltsdauer im Freien resultieren würde. Bei starker Wärmebelastung besteht die Tendenz, Aufenthalte im Freien oder in der Sonne zu vermeiden. Für Deutschland lassen die Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) eine deutliche Zunahme der Temperatur, der Anzahl der sogenannten „Sommertage“ (Temperaturmaximum mindestens 25 °C) und der „Heißen Tage“ (Temperaturmaximum mindestens 30 °C) gegenüber dem Referenzzeitraum 1961–1990 erkennen [40]. Zur Temperaturentwicklung und der Hitzeproblematik in Deutschland gibt ein weiterer Beitrag dieses Sachstandsberichts von [Winklmayr et al.](#) [41] ausführliche Informationen. Letztendlich sind aber zum jetzigen Zeitpunkt keine quantitativen Aussagen über die aus dem wetterabhängigen Verhalten resultierende individuelle UV-Belastung möglich [2, 39].

4. Handlungsempfehlungen zur Senkung des Risikos für UV-bedingte Gesundheitsschädigungen

Eine deutschlandweite, zielgruppenorientierte und nachhaltige Etablierung geeigneter Maßnahmen ist aufgrund der bestehenden Situation mit hoher und aktuell weiter steigender Anzahl UV-bedingter Erkrankungen in Deutschland und der damit einhergehenden Belastung des Gesund-

heitswesens und des Allgemeinwohls dringend geboten [2, 4, 42]. Hinzu kommt der Einfluss des Klimawandels. Im Rahmen der Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 wurde für die Klimawirkung UV-bedingte Gesundheitsschädigungen ein mittleres bis hohes Klimarisiko mit mittlerer Gewissheit für die Zeit bis 2060 und ein insbesondere wegen des langen zeitlichen Vorlaufs sehr dringendes Handlungserfordernis attestiert [43]. Anpassungsstrategien an die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels sollen dementsprechend Präventionsmaßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen im Fokus haben [2]. Dabei ist zu betonen, dass diese Maßnahmen nicht bedeuten, UV-Strahlung und damit die Sonne komplett zu meiden. Es geht darum, die Voraussetzungen für einen bewussten Umgang mit Sonne und UV-Strahlung zu schaffen und einen lebbaren UV-Schutz zu ermöglichen.

Geeignete Maßnahmen sind primärpräventive Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen [2]. Primärprävention umfasst Maßnahmen, die zum einen ein risikobewusstes und gesundheitsorientiertes Verhalten fördern (Verhaltensprävention) und zum anderen die Lebens-, Arbeits- und Umweltbedingungen der Menschen derart gestalten, dass hohe UV-Belastungen weitgehend vermieden werden können (Verhältnisprävention). Verhaltenspräventive und verhältnispräventive Maßnahmen haben dabei sinnvoll ineinander zu greifen [44].

Das Risiko für UV-bedingte Erkrankungen wirkungsvoll zu senken, ist eine gesellschaftspolitische Aufgabe und umfasst vorbeugende Maßnahmen von Geburt an. Vor allem ein wirkungsvoller Schutz der Kinder ist geboten, da Kinder eine gegenüber Erwachsenen deutlich höhere Empfindlichkeit der Augen und der Haut für UV-Strahlung aufweisen [1].

Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen bergen Synergieeffekte zum Hitzeschutz.

Einige Maßnahmen, wie zum Beispiel die Schaffung effektiver Schattenplätze, können gleichzeitig zur Vorbeugung gesundheitsschädlicher Hitzebelastungen im Freien dienen [45]. Allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass gesundheitsrelevante UV-Bestrahlungsstärken auch dann herrschen können, wenn das Aufsuchen von Schatten unnötig ist, z. B. wenn es kühl ist oder der Himmel bewölkt ist. Darum könnte es beispielweise an Orten, die allgemein eher kühl sind und an denen sich Kinder wie Erwachsene länger aufhalten (Freigelände in Kindergärten und Schulen, Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrs, etc.), angebracht sein, Überdachungen mit Materialien wie Polycarbonat zu errichten, die die UV-Strahlung, aber nicht die Wärme abhalten. Bei Beschattungsmaßnahmen ist zu beachten, dass die sonnenschützende Wirkung durch Größe, Form und Position der schattenspendenden Struktur sowie durch die Umgebung und die Wetterbedingungen beeinflusst wird [46]. Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass die Beschattung von Außenbereichen die Nutzung des Schattens erhöhen kann [2]. Bei Nutzung von Pflanzungen zur Schattengenerierung sind allergieauslösende Begrünungen zu vermeiden [43].

Eine wichtige Maßnahme neben der Schaffung von Schattenplätzen und dem gesicherten UV-Schutz für Kinder ist, die herrschende UV-Bestrahlungsstärke öffentlich anzuzeigen, denn UV-Strahlung ist für den Menschen nicht wahrnehmbar und entsprechende Fehleinschätzungen des UV-bedingten Gesundheitsrisikos sind allgegenwärtig. Die sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärke wird vom Bundesamt für Strahlenschutz gemessen bzw. vom Deutschen Wetterdienst modelliert und als UV-Index, ein weltweit einheitliches Maß, veröffentlicht [47, 48]. Die UVI-Wer-

te sind in Bereiche unterteilt, für die unterschiedliche Schutzempfehlungen gelten. Der UVI ist somit nicht nur eine Orientierungshilfe für die zu erwartende sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärke, sondern gibt auch Empfehlungen, ab welchen UVI-Werten welche Sonnenschutzmaßnahmen ergriffen werden sollten.

Handlungsempfehlungen richten sich mit Blick auf Surveillance und Implikationen für ein resilientes Public-Health-System an Wissenschaft und Politik (Bund/Länder). Im Hinblick auf deren wirkungsvolle Etablierung und Umsetzung sind weitere Akteurinnen und Akteure mit einzubinden [42]. Die in [Tabelle 1](#) aufgeführten Handlungsempfehlungen sind den Empfehlungen der onkologischen S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ [2] und der Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021, Teilbericht 5 [43] entsprechend formuliert und um weiterführende Hinweise sowie um konkrete Maßnahmen für Kommunen ergänzt. Ihre Reihenfolge stellt keine Gewichtung bzgl. Effektivität oder Dringlichkeit dar. Ausführliche Informationen zu den empfohlenen Maßnahmen sind, wenn nicht anders angegeben, der S3-Leitlinie zu entnehmen.

Für eine effektive Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen bedarf es auch der Akzeptanz und Motivation. Grundlage hierfür bietet zum einen, dass medizinische, wissenschaftliche und behördliche Institutionen umfassende Informationen bezüglich UV-Strahlung, Wirkung von UV-Strahlung, Schutz vor UV-Strahlung, Präventionsmaßnahmen und UV-Schutz als Klimaanpassungsmaßnahme zur Verfügung stellen. Zum anderen werden Fördermittel bereitgestellt ([Infobox 2](#)).

Tabelle 1

Handlungsempfehlungen für Wissenschaft und Politik zur Reduzierung der UV-Belastung und zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen

Quelle: Eigene Darstellung nach S3-Leitlinie [2] und Klimawirkungs- und Risikoanalyse [43]

Handlungsebene	Handlungsempfehlungen
Wissenschaft	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Quantifizierung der Auswirkungen des Klimawandels (Treibhausgase – Ozonschicht – Niedrigozonereignisse, Bewölkung und Aerosole) auf die UV-Belastung ▶ Wissenschaftliche Auswertungen und Analyse der aktuellen und der in den letzten Jahrzehnten in Deutschland gemessenen UV-Bestrahlungsstärken ▶ Entwicklung geeigneter Indikatoren für UV-Monitoring ▶ Erarbeitung von Projektionen der UV-Strahlungssituation für Deutschland/Europa in Bezug auf die für mögliche zukünftige Klimawandelentwicklungen modellierten Szenarien unter Berücksichtigung der Bewölkung, der Aerosolkonzentration und des Rückstrahlvermögens (Albedo) ▶ Weiterführende Forschung zu Langzeitwirkung der UV-Strahlung auf die Augen ▶ Etablierung von Registrierungsverfahren anderer UV-bedingter Erkrankungen als Hautkrebs und Optimierung bestehender Registrierungsverfahren für alle Hautkrebsentitäten ▶ Beschreibung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung UV-Strahlung/Hautkrebs ▶ Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Wirkungen von UV-Strahlung ▶ Untersuchung einer möglicherweise kombinierten gesundheitlichen Wirkung von UV-Strahlung, Luftschadstoffen und meteorologischen Faktoren ▶ Quantifizierung wetterabhängiger Verhaltensgewohnheiten und Klärung des Einflusses klimawandelbedingter Wetter- und Temperaturveränderungen auf Verhaltensgewohnheiten und individuelle UV-Belastung ▶ Evaluierung der Umsetzung und Wirksamkeit von Handlungsempfehlungen und Präventionsmaßnahmen ▶ Entwicklung von Geoinformationssystem (GIS)-basierten Modellierungsprogrammen zur Visualisierung der UV-Belastung für Stadt- und Gebäudeplanung sowie Landschaftsarchitektur zur Schaffung sinnvoll UV-reduzierter Außenbereiche
Arbeitsschutz	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Prüfung, Evaluation und Optimierung bestehender Vorschriften und staatlicher Regeln zum Arbeitsschutz (Schutz vor arbeitsbedingten Gefährdungen durch UV-Strahlung [49]) und zur Arbeitsmedizin (Vorsorgeuntersuchung für Berufskrankheit BK 5103) gemäß der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) [50]
Bevölkerungsschutz Verhaltenspräventive Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Finanzielle Förderung der flächendeckenden Etablierung verhaltenspräventiver Maßnahmen ▶ Pädagogisch begleitete Information und Aufklärung über UV-Schutzmaßnahmen (z. B. [51]) und deren Notwendigkeit von Kindern und Jugendlichen in Kita und Schule unter Einbeziehung der Eltern. Beispiele: „Clever in Sonne und Schatten“ [52], SunPass-Projekt [53] ▶ Iterative, multimediale, interaktiv gestaltete, sich aus mehreren Komponenten zusammensetzende und mehrere Kommunikationskanäle nutzende Interventionen für Jugendliche ▶ Individualisierte Interventionen wie beispielsweise im Rahmen von ärztlichen Beratungsgesprächen für Jugendliche und Erwachsene ▶ Integration des Themas „Schutz vor UV-Strahlung“ in Lehr-, Erziehungs- und Bildungspläne der frühkindlichen Erziehung und des Schulunterrichts auf Basis eines Grundlagenkatalogs sowie in Lehr-, Studien- und Ausbildungspläne und Weiter- und Fortbildungen anzusprechender Berufsbilder ▶ Entwicklung, Evaluation und Optimierung von Informations- und Schulungsangeboten ▶ Erstellen und bedarfsorientierte Verbreitung von zielgruppenorientierten Informationsmaterialien für vulnerable Bevölkerungsgruppen ▶ Unterstützung der Aktivitäten von Fortbildungseinrichtungen bei Konzeption von Weiterbildungsmaßnahmen im Sozial-, Gesundheits- und Pflegebereich

Tabelle 1 Fortsetzung nächste Seite

Handlungsebene	Handlungsempfehlungen
Bevölkerungsschutz Verhältnispräventive Maßnahmen Bund-Länderebene	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Politische und programmatische Verankerung verhaltens- und verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen. Die gesetzlichen Voraussetzungen hierfür sind durch das Präventionsgesetz, das Krebsfrüherkennungs- und -registriergesetz, das Patientenrechtegesetz, ergänzt durch eine gesetzliche Verpflichtung aus dem Baugesetzbuch (§ 1, Abs. 6, Nr. 1 und 7c; Berücksichtigung der allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie der umweltbezogenen Auswirkungen auf den Menschen und seine Gesundheit) gegeben. ▶ Aufnahme verhältnispräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen in den Lebenswelten der Menschen in Förderprogramme für Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels und Städtebauförderung ▶ Berücksichtigung der UV-Strahlung als gesundheitsrelevanter Umweltfaktor bei Einrichtung eines integrierten Umwelt- und Gesundheitsbeobachtungssystems auf Bundesebene ▶ Etablierung präventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen im Rahmen von Hitzeaktionsplänen [54] ▶ Integration von UV-Belastung in Frühwarnsysteme (z. B. Hitzewarnsystem) ▶ Informationen zu Eigenschaften verschiedener Baumarten und zu Standortfaktoren hinsichtlich Schatten und Transpirationsprozessen für die effektive Reduzierung der Wärme- und UV-Belastung ▶ Förderung der flächendeckenden Etablierung verhältnispräventiver Maßnahmen auf kommunaler Ebene
Bevölkerungsschutz Verhältnispräventive Maßnahmen Kommunen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Eruiieren und Etablieren von Schnittstellen und Andockpunkten für Verhältnispräventionsmaßnahmen zur Reduzierung der UV-Belastung im Freien bei (Planungs-)Prozessen für Städtebau, Stadt- und Gebäudeplanung. Einbettung gebietsbezogener Aktivitäten zur Reduzierung gesundheitsrelevanter UV-Belastungen in eine gebietsübergreifende Entwicklungspolitik ▶ Aufnahme verhältnispräventiver Maßnahmen inklusive der Forderung nach Umsetzung in kommunale Ausschreibungen für Städtebau, Stadt- und Gebäudeplanung sowie Landschaftsbau (Neubauten, Sanierungsmaßnahmen bestehender Freiflächen und Gebäude) ▶ Die Förderung und die kommunalseitige Umsetzung folgender Maßnahmen werden empfohlen: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Anzeige des UV-Index im öffentlichen Raum (Freibäder, Badestellen, Stadtplätze, etc.) ▶ Schaffung von Schattenplätzen mittels baulich-technischer Maßnahmen (Überdachungen, Sonnensegel, Sonnenschirme, Markisen, etc.) [55] sowie Baumpflanzung (s. hierzu die Straßenbaumliste der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz e. V. [56]) in der Kommune, in Wartezonen des öffentlichen Nahverkehrs sowie in Kitas und Schulen ▶ Verwendung nicht reflektierender Oberflächen für Gebäudewände zur Reduzierung des Rückstrahlvermögens (Albedo) ▶ Aufbau von Fassadenbegrünung (s. hierzu Publikation des Bundesamts für Naturschutz [57]) ▶ Entsiegelung und Begrünung von Freiflächen

Tabelle 1 Fortsetzung

Handlungsempfehlungen für Wissenschaft und Politik zur Reduzierung der UV-Belastung und zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen

Quelle: Eigene Darstellung nach S3-Leitlinie [2] und Klimawirkungs- und Risikoanalyse [43]

5. Diskussion und Fazit

Die als erforderlich angesehenen wissenschaftlichen Maßnahmen stellen eine große Herausforderung dar – vor allem die Beschreibung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung UV-Strahlung/Hautkrebs und die Projektion der zukünftigen erdbodennahen UV-Belastung. Sowohl die Dosis-Wirkungs-Beziehung als auch die UV-Projektion sind für eine verlässliche Abschätzung der Auswirkungen zukünftiger

klimawandelbedingter Veränderungen der UV-Belastung von großer Bedeutung.

Die hinsichtlich Arbeits- und Bevölkerungsschutz empfohlenen Maßnahmen zur Verringerung der individuellen UV-Belastung befinden sich bereits teilweise in Umsetzung. Treibende Kraft ist hier die Tatsache, dass 2015 aufgrund der eindeutigen Assoziation mit beruflicher UV-Belastung die helle Hautkrebsentität, das Plattenepithelkarzinom, und seine Vorstufen, die aktinischen Keratosen, als Berufskrank-

heit eingestuft wurde [58]. Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer mit Außentätigkeiten haben auch ein erhöhtes Risiko für Basalzellkarzinome [59]. Arbeitgeberinnen und

Arbeitgeber sind entsprechend zu einer Gefährdungsbeurteilung von Tätigkeiten im Freien verpflichtet, müssen erforderlichenfalls geeignete Schutzmaßnahmen [60] ergreifen und diese dokumentieren. Dies gilt für die in Deutschland etwa 2 bis 3 Millionen Beschäftigten, die vorwiegend oder ausschließlich im Freien tätig sind [61], als auch für die über die Unfallversicherungen versicherten Kinder in Kindertagesstätten und Schulen.

Für eine effektive Reduzierung der UV-Belastung aller sind vor allem die auf Kommunalebene empfohlenen Maßnahmen ausschlaggebend, die auch im Zusammenhang mit Handlungsempfehlungen in anderen Artikeln dieses Sachstandsberichts zu sehen sind, insbesondere denjenigen zu Hitze von [Winklmayr et al.](#) [41]. Bestenfalls entsprechen oder ergänzen sich die empfohlenen Maßnahmen. In Bezug auf die Empfehlungen zur Anpassung an Hitze zeigt sich jedoch ein Widerspruch: Für den Schutz vor UV-Strahlung sollten Oberflächen von Gebäuden eine möglichst geringe bis keine Albedo aufweisen [2], aber zur Hitzereduzierung in Innenräumen wird empfohlen, das Rückstrahlvermögen (Albedo) von Gebäudeaußenflächen zu erhöhen [43]. Die Empfehlung für eine geringe Albedo begründet sich darin, dass aufgrund von Rückstrahlung die UV-Belastung in der Nähe solcher Gebäude intensiviert werden kann. Eine reduzierte Oberflächenalbedo wäre auch in Bezug auf den Hitzeschutz positiv, denn auch die Temperatur kann sich aufgrund eines hohen Rückstrahlvermögens von Gebäudeaußenflächen in der Nähe dieser Gebäude erhöhen. Eine Lösung dieses Widerspruchs wäre, eine effektive Hitzereduktion in Innenräumen mittels einer entsprechenden Gebäudedämmung und Belüftung zu erreichen.

Infobox 2

Informationsangebote, Empfehlungen und Förderungen für einen wirkungsvollen UV-Schutz in Deutschland

- ▶ [Strahlenschutzkommission](#)
- ▶ [Leitlinienprogramm Onkologie](#) (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF): S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“
- ▶ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Hintergrundinformationen und Unterrichtsmaterialien zu [UV-Strahlung](#), UV-Strahlung und Klimawandel, [UV-Index](#), Wirkung von und Schutz vor UV-Strahlung sowie zur [UV-Kampagne „UV-sicher“](#) mit Maßnahmepaketen für Kommunen, Kindergärten, Schulen und Sportvereinen
- ▶ Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA): [Kindergesundheit – Sonnenschutz für Kinder](#) und [Klima-Mensch-Gesundheit](#) (Webseite der BZgA, u. a. auch zu UV-Strahlung und UV-Schutz (2022))
- ▶ Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA) für Deutschland 2021, [Teilbericht 5, Cluster „Gesundheit“](#), Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschäden“
- ▶ [Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen](#) inklusive Thematisierung UV-Strahlung
- ▶ [Stiftung Deutsche Krebshilfe](#) informiert eingehend auf ihren Internetseiten über UV-Strahlung und Hautkrebs
- ▶ [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin](#) (BAuA), [Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung](#) und Landesunfallkassen
- ▶ Förderung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) [insbesondere für Kommunen und kommunale Einrichtungen](#) sowie [in sozialen Einrichtungen](#)

Diese Zusammenstellung ist eine Auswahl und hat nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

Allein aufgrund der stetig steigenden UV-bedingten Hautkrebsinzidenzen ist es geboten, jetzt zu handeln, zumal die Etablierung effektiver Präventionsmaßnahmen Jahre in Anspruch nimmt.

Die verhaltens- und verhältnispräventiven Maßnahmen zur Vorbeugung des UV-bedingten Erkrankungsrisikos sind einfach umzusetzen, können jedoch kostenintensiv sein. International werden derartige Maßnahmen aus gesundheitsökonomischer Sicht positiv bewertet, da entsprechende Analysen eindeutig einen hohen ökonomischen und gesundheitsbezogenen Nutzen zeigten. Durch die Investition können das Gesundheitssystem besonders stark belastende Hautkrebserkrankungen und Todesfälle deutlich reduziert werden und im Gesundheitssektor wie auch in der Wirtschaft, hier aufgrund verhüteter Produktivitätsverluste, das Doppelte bis Vierfache der in Präventionsmaßnahmen investierten Kosten eingespart werden [2].

Die Integration präventiver Maßnahmen in Kommunen inklusive Kindertagesstätten, Schulen und Vereinen erfordert einen multidisziplinären Ansatz. Eine auf Kommunal-ebene etablierte Beschattungspolitik wird empfohlen [46].

Korrespondenzadresse

Dr. Cornelia Baldermann
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachgebiet WR4 – Optische Strahlung
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: cbaldermann@bfs.de

Zitierweise

Baldermann C, Laschewski G, Groß JU (2023)
Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare
Erkrankungen durch veränderte UV-Strahlung.
J Health Monit 8(S4): 61–81.
DOI 10.25646/11647

Die englische Version des Artikels ist verfügbar unter:
www.rki.de/jhealthmonit-en

Datenschutz und Ethik

Bei Erstellung der im Beitrag erwähnten nicht publizierten Studienergebnisse wurden weder datenschutzrelevante noch ethische Aspekte berührt, da es sich nicht um Studien handelt, an denen Teilnehmerinnen und Teilnehmer beteiligt waren.

Förderungshinweis

Die Koordination der Publikation erfolgte im Rahmen des Projekts KlimGesundAkt, das durch das Bundesministerium für Gesundheit gefördert wird (Kapitel 1504; Titel 54401 HJ2021; Laufzeit 07/2021–06/2024).

Interessenkonflikt

Die Autorinnen und der Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Danksagung

Die Autorinnen und der Autor dieses Berichts danken Daniela Weiskopf, Sebastian Lorenz und Andreas Matzarakis für die fachliche Unterstützung. Das RKI-Koordinations-team des Projekts KlimGesundAkt dankt Sophie Gepp, Elke Hertig, Claudia Hornberg, Tanja-Maria Kessel, Andreas Matzarakis, Odile Mekel, Susanne Moebus, Jonas Schmidt-Chanasit, Alexandra Schneider, Klaus Stark, Wolfgang Straff und Maike Voss für die beratende Tätigkeit in der projektbegleitenden Fachgruppe.

Literatur

1. Strahlenschutzkommission (SSK) (2016) Schutz des Menschen vor den Gefahren solarer UV-Strahlung und UV-Strahlung in Solarien. Empfehlung der Strahlenschutzkommission mit wissenschaftlicher Begründung. SSK, Bonn.
www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2016/2016-02-11_Empf_UV-Schutz%20BA.pdf?__blob=publicationFile (Stand: 03.07.2023)
2. Leitlinienprogramm Onkologie (2021). Leitlinienreport der S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 2.0. Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaft e.V.
www.leitlinienprogramm-onkologie.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Leitlinien/Hautkrebspraeventationsleitlinie_1.1/Version_2/LL_Pr%C3%A4vention_von_Hautkrebs_Leitlinienreport_2.0.pdf (Stand: 03.07.2023)
3. El Ghissassi F, Baan R, Straif K et al. (2009) A review of human carcinogens – Part D: Radiation. *Lancet Oncol* 10(8):751–752
4. Leitlinienprogramm Onkologie (2014) S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.1. Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaft e.V.
www.leitlinienprogramm-onkologie.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Leitlinien/Hautkrebspraeventationsleitlinie_1.1/LL_PraeventationHK_OL_Langversion_1.1.pdf (Stand: 03.07.2023)
5. World Meteorological Organization (WMO) (2022) Scientific assessment of ozone depletion: 2022. WMO, Geneva.
https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22231 (Stand: 03.07.2023)
6. World Health Organization (WHO), World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2022) Global solar UV index: A practical guide. WHO, Geneva.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/42459> (Stand: 03.07.2023)
7. Vitt R, Laschewski G, Bais AF et al. (2020) UV-Index climatology for Europe based on satellite data. *Atmosphere* 11(7):727
8. Baldermann C, Lorenz S (2019) UV-Strahlung in Deutschland: Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. *Bundesgesundheitsbl* 62(5):639–645
9. Fountoulakis I, Diémoz H, Siani AM et al. (2019) Solar UV irradiance in a changing climate: Trends in Europe and the significance of spectral monitoring in Italy. *Environments* 7(1):1
10. Neale RE, Barnes PW, Robson TM et al. (2021) Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. *Photochem Photobiol Sci*. 20(1):1–67
11. Wild M, Wacker S, Yang S et al. (2021) Evidence for clear-sky dimming and brightening in Central Europe. *Geophys Res Lett* 48(6):e2020GL092216
12. Laschewski G, Matzarakis A (2023) Long-term changes of positive anomalies of erythema-effective UV irradiance associated with low ozone events in Germany 1983–2019. *Environments* 10(2):31
13. Hertig E, Hunger I, Kaspar-Ott I et al (2023) Klimawandel und Public Health in Deutschland – Eine Einführung in den Sachstandsbericht Klimawandel und Gesundheit 2023. *J Health Monit* 8(S3):7–35.
<https://edoc.rki.de/handle/176904/11074> (Stand: 28.06.2023)
14. Kreienkamp F, Früh B, Kotlarski S et al. (Hrsg) (2022) Empfehlungen für die Charakterisierung ausgewählter IPCC Klimaszenarien. Deutscher Wetterdienst, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Internationales Institut für Angewandte Systemanalyse, Landesamt für Umwelt Brandenburg, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, Umweltbundesamt, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/szenariennamen-stand_20220315.pdf (Stand: 30.06.2023)
15. Eleftheratos K, Kapsomenakis J, Zerefos CS et al. (2020) Possible effects of greenhouse gases to ozone profiles and DNA active UV-B irradiance at ground level. *Atmosphere* 11(3):228
16. von der Gathen P, Kivi R, Wohltmann I et al. (2021) Climate change favours large seasonal loss of Arctic ozone. *Nat Commun* 12(1):3886
17. Augustin J, Sauerborn R, Burkart K et al. (2017) Gesundheit. In: Brasseur GP, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg) *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Springer, Berlin, Heidelberg. S. 137–149

18. Bais AF, Lucas RM, Bornman JF et al. (2018) Environmental effects of ozone depletion, UV radiation and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, update 2017. *Photochem Photobiol Sci* 17(2):127–179
19. Breitner-Busch S, Mücke HG, Schneider A et al. (2023) Auswirkungen des Klimawandels auf nicht-übertragbare Erkrankungen durch erhöhte Luftschadstoffbelastungen der Außenluft. *J Health Monit* 8(S4):111–131. www.rki.de/jhealthmonit (Stand: 06.09.2023)
20. Bergmann KC, Brehler R, Endler C et al. (2023) Auswirkungen des Klimawandels auf allergische Erkrankungen in Deutschland. *J Health Monit* 8(S4):82–110. www.rki.de/jhealthmonit (Stand: 06.09.2023)
21. Brönnimann S, Hood LL (2003) Frequency of low-ozone events over northwestern Europe in 1952–1963 and 1990–2000. *Geophys Res Lett* 30(21)
22. Knudsen BM, Jørnch-Sørensen H, Eriksen P et al. (2005) UV radiation below an Arctic vortex with severe ozone depletion. *Atmos Chem Phys* 5(11):2981–2987
23. Manney GL, Livesey NJ, Santee ML et al. (2020) Record-low Arctic stratospheric ozone in 2020: MLS observations of chemical processes and comparisons with previous extreme winters. *Geophys Res Lett* 47(16):e2020GL089063
24. National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2020) NASA reports Arctic stratospheric ozone depletion hit record low in March. www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-reports-arctic-stratospheric-ozone-depletion-hit-record-low-in-march (Stand: 30.06.2023)
25. Zentrum für Krebsregisterdaten im Robert Koch-Institut (2022) Datenbankabfrage mit Schätzung der Inzidenz, Prävalenz und des Überlebens von Krebs in Deutschland auf Basis der epidemiologischen Landeskrebsregisterdaten 2022. www.krebsdaten.de/abfrage (Stand: 04.07.2023)
26. Zentrum für Krebsregisterdaten im Robert Koch-Institut (2022) Malignes Melanom der Haut. www.krebsdaten.de/melanom (Stand: 04.07.2023)
27. Katalinic A (2022) Update – Prognose und Zahlen zu Hautkrebs in Deutschland. Institut für Krebs Epidemiologie e.V., Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e.V. www.krebsregister-sh.de/wp-content/uploads/2022/04/Zahlen_Hautkrebs_2022-1.pdf (Stand: 30.06.2023)
28. Statistisches Bundesamt (Destatis) (2023) Zahl der stationären Hautkrebsbehandlungen binnen 20 Jahren um 75 % gestiegen. Pressemitteilung vom 23.05.2023. www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2023/PD23_21_p002.html (Stand: 30.06.2023)
29. Statistisches Bundesamt (Destatis) (2023) Todesursachenstatistik – Todesursachen: Melanom und sonstige bösartige Neubildungen der Haut. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (Stand: 14.07.2023)
30. Lautenschlager S, Wulf HC, Pittelkow MR (2007) Photoprotection. *Lancet* 370(9586):528–37
31. Garland CF, Garland FC, Gorham ED (2003) Epidemiologic evidence for different roles of ultraviolet A and B radiation in melanoma mortality rates. *Ann Epidemiol* 13(6):395–404
32. Lopez Figueroa F (2011) Climate change and the thinning of the ozone layer: Implications for dermatology. *Actas Dermosifiliogr* 102:311–315
33. de Gruijl FR, Longstreth J, Norval M et al. (2003) Health effects from stratospheric ozone depletion and interactions with climate change. *Photochem Photobiol Sci* 2(1):16–28
34. Armstrong BK (1994) Stratospheric ozone and health. *Int J Epidemiol* 23(5):873–885
35. van Dijk A, Slaper H, den Outer PN et al. (2013) Skin cancer risks avoided by the Montreal Protocol – Worldwide modeling integrating coupled climate-chemistry models with a risk model for UV. *Photochem Photobiol* 89(1):234–246
36. van der Leun J, de Gruijl F (2002) Climate change and skin cancer. *Photochem Photobiol Sci* 1(5):324–326
37. van der Leun JC, Piacentini RD, de Gruijl FR (2008) Climate change and human skin cancer. *Photochem Photobiol Sci* 7(6):730–733
38. Calapre L, Gray ES, Kurdykowski S et al. (2016) Heat-mediated reduction of apoptosis in UVB-damaged keratinocytes in vitro and in human skin ex vivo. *BMC Dermatol* 16(1):6
39. Laschewski G, Matzarakis A (2022) Weather-related human outdoor behavior with respect to solar ultraviolet radiation exposure in a changing climate. *Atmosphere* 13(8):1183

40. Deutscher Wetterdienst (2023) Zeitreihen und Trends. www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html (Stand: 30.06.2023)
41. Winklmayr C, Matthies-Wiesler F, Muthers S et al. (2023) Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention. *J Health Monit* 8(S4):3–34. www.rki.de/jhealthmonit (Stand: 06.09.2023)
42. UV-Schutz-Bündnis, Bundesamt für Strahlenschutz (2017) Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne – Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land: Grundsatzpapier des UV-Schutz-Bündnisses. *Bundesgesundheitsbl* 60(10):1153–1160
43. Wolf M, Ölmez C, Schönthaler K et al. (2021) Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021, Teilbericht 5: Klimarisiken in den Clustern Wirtschaft und Gesundheit. Umweltbundesamt (Hrsg) *Climate Change* 24/2021. www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_5_cluster_wirtschaft_gesundheit_bf_211027_0.pdf (Stand: 28.06.2023)
44. Baldermann C, Weiskopf D (2020) Verhaltens- und Verhältnisprävention Hautkrebs. *Hautarzt* 71(8):572–579
45. Matzarakis A (2013) Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Gefahrst Reinhalt Luft* 73:115–118
46. Holman DM, Kapelos GT, Shoemaker M et al. (2018) Shade as an environmental design tool for skin cancer prevention. *Am J Public Health* 108(12):1607–1612
47. Bundesamt für Strahlenschutz (2023) UV-Index. www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-index_node.html (Stand: 30.06.2023)
48. Deutscher Wetterdienst (2023) Vorhersagen des UV-Index und der UV-Dosis für wolkenlosen und für bewölkten Himmel. https://kunden.dwd.de/uvi_de (Stand: 30.06.2023)
49. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2023) Schutz vor UV-Strahlung der Sonne. www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physikalische-Faktoren-und-Arbeitsumgebung/Optische-Strahlung/Sonnenstrahlung.html (Stand: 30.06.2023)
50. Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) vom 18. Dezember 2008 (2008) (BGBl. I S. 2768), zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Juli 2019 (BGBl. I S. 1082) geändert (2019). www.gesetze-im-internet.de/arbmedvv/BjNR276810008.html (Stand: 04.07.2023)
51. Bundesamt für Strahlenschutz (2023). Schutz vor UV-Strahlung. www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/schutz/schutz_node.html (Stand: 30.06.2023)
52. Stiftung Deutsche Krebshilfe, Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention e.V., Uniklinik und Universität zu Köln, Universitäts KrebsCentrum Dresden (2023) Clever in Sonne und Schatten – Gelebter UV-Schutz in Kitas, Schulen und Vereinen. www.unserehaut.de/de/Lebenswelten/Clever-in-Sonne-und-Schatten-projekt.php (Stand: 30.06.2023)
53. European Skin Cancer Foundation (2023) SunPass – Gesunder Sonnenspaß für Kinder. www.escf-network.eu/de/willkommen/projekte/sunpass.html (Stand: 30.06.2023)
54. Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (2017) Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. *Bundesgesundheitsbl* 60(6):662–672
55. Parisi AV, Turnbull DJ (2014) Shade provision for UV minimization: A review. *Photochem Photobiol* 90(3):479–490
56. Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz e.V. (2023) Straßenbaumliste. <https://galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste> (Stand: 30.06.2023)
57. Schmauck S (2019) Dach- und Fassadenbegrünung – Neue Lebensräume im Siedlungsbereich. Fakten, Argumente und Empfehlungen. Bundesamt für Naturschutz, Bonn. www.bfn.de/sites/default/files/BfN/service/Dokumente/skripten/skript538.pdf (Stand: 03.07.2023)
58. Bundesrat (2014) Dritte Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung. www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksach/en/2014/0501-0600/534-14.pdf (Stand: 03.07.2023)

59. Bauer A, Haufe E, Heinrich L et al. (2020) Basal cell carcinoma risk and solar UV exposure in occupationally relevant anatomic sites: Do histological subtype, tumor localization and Fitzpatrick phototype play a role? A population-based case-control study. *J Occup Med Toxicol* 15:28

60. Bauer S, Wojtysiak A, Romanus E et al. (2022) Arbeitsschutz im Klimawandel – Solare UV-Belastung bei Arbeit im Freien. Ergebnisse eines Fachgesprächs. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/Arbeitsschutz-Klimawandel.html (Stand: 03.07.2023)

61. Diepgen TL (2013) Hautkrebs als Berufserkrankung. *Forum* 28(5):321–328

Impressum

Journal of Health Monitoring

www.rki.de/jhealthmonit

Herausgeber

Robert Koch-Institut
Nordufer 20
13353 Berlin

Redaktion

Abteilung für Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring
Fachgebiet Gesundheitsberichterstattung
General-Pape-Str. 62–66
12101 Berlin
Tel.: 030-18 754-3400
E-Mail: healthmonitoring@rki.de

Verantwortlicher Redakteur

Dr. Thomas Ziese
Stellvertretung: Dr. Anke-Christine Saß

Redakteurinnen

Johanna Gutsche, Dr. Birte Hintzpeter, Dr. Kirsten Kelleher,
Dr. Livia Ryl, Simone Stimm

Satz

WEBERSUPIRAN.berlin, Alexander Krönke

Bildnachweis

Illustration auf Titel und Marginalspalte:
© elenabsl – stock.adobe.com

ISSN 2511-2708

Hinweis

Inhalte externer Beiträge spiegeln nicht notwendigerweise die
Meinung des Robert Koch-Instituts wider.



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung 4.0
International Lizenz.



**Das Robert Koch-Institut ist ein Bundesinstitut im
Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Gesundheit**