UV-Strahlung in Deutschland: Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung

Einleitung

Der Klimawandel stellt die Gesellschaft vor große Herausforderungen. Zum einen sind Anstrengungen notwendig, das Fortschreiten des Klimawandels einzudämmen. Zum anderen erfordern die Folgen des Klimawandels wirkungsvolle Anpassungsstrategien – vor allem auch im Hinblick auf die Gesundheit und eine intakte Umwelt. In diesem Zusammenhang sind auch mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Belastung durch ultraviolette Strahlung (UV-Exposition) zu betrachten, da diese Einfluss auf die Gesundheit des Menschen und auf die Umwelt (Landwirtschaft, biologische Vielfalt und Wasserqualität) hat. Die Auswirkungen von UV-Strahlung auf die Umwelt werden hier nicht näher betrachtet.

Gesundheitliche Konsequenzen hoher UV-Exposition

UV-Strahlung führt zu zahlreichen sofortigen sowie später im Leben auftretenden Erkrankungen an Haut und Auge [1]. Neben diesen negativen Wirkungen hat die UV-Strahlung auch eine gesundheitsfördernde Wirkung: Durch UV-B-Strahlung wird die körpereigene Vitamin-D-Synthese angestoßen. Diese Wirkung wird bereits bei sehr geringen UV-B-Bestrahlungsintensitäten weit vor Ausbildung eines Sonnenbrandes erreicht [2, 3]. Bei Betrachtung der Wirkung hoher UV-Exposition und den dafür zu errei-

chenden Schutzmaßnahmen spielt dementsprechend die Thematik „Vitamin D“ keine Rolle.

UV-Strahlung ist krebserregend [4] und Hauptursache für Hautkreberkrankungen [1]. Maligne Neubildungen der Haut zählen zu den weltweit am häufigsten auftretenden Krebsarten. Unter dem Begriff Hautkrebs werden verschiedene Krebserkrankungen – das Basalzellkarzinom und das Plattenepithelkarzinom (helle Hautkrebsentitäten) sowie der schwarze Hautkrebs (malignes Melanom) – zusammengefasst.

Auch am Auge können UV-bedingte Krebserkrankungen auftreten. Dies sind in erster Linie Hautkreberkrankungen der Augenlider und Plattenepithelkarzinome der Bindehaut. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse weisen darauf hin, dass UV-Strahlung auch das Risiko für schwarzen Hautkrebs (Melanom) der Augenbindehaut erhöht [5]. Bei Betrachtung der gesundheitlichen Belastung durch UV-bedingte Erkrankungen spielt bei den Augen aber die UV-bedingte Kataraktbildung (grauer Star) eine bedeutendere Rolle [1].

UV-bedingter Hautkrebs in Deutschland

Die Anzahl an Hautkrebsneuerkrankungen (Inzidenz) in Deutschland stieg in den letzten Jahrzehnten um ein Vielfaches. Hochrechnungen auf Basis der Daten des Krebsregisters Schleswig-Holstein von 2018 [6] zeigen, dass 2015 in

Deutschland 293.285 Menschen neu an Hautkrebs erkrankten, davon 257.790 an Hautkrebs vom „hellen“ Typ (158.840 an einem Basalzellkarzinom, 98.950 an einem Plattenepithelkarzinom) und 35.495 am „schwarzen“ Hautkrebs, dem Melanom. Damit lag die Anzahl an Neuerkrankungen in Deutschland 2015 um 10 % höher als in 2013. Insgesamt hat sich seit dem Jahr 2000 die Hautkrebsneuerkrankungszahl in Deutschland mehr als verdoppelt [7].

Die metastasierenden Hautkrebsarten, der schwarze Hautkrebs und teilweise auch das Plattenepithelkarzinom können tödlich verlaufen. Statistische Hochrechnungen für Deutschland zeigen, dass in Deutschland die altersstandardisierte Mortalitätsrate 2015 für den schwarzen Hautkrebs bei 2,8 für Männer und bei 1,6 für Frauen pro 100.000 Einwohner und für helle Hautkrebserkrankungen bei 0,7 für Männer und 0,3 für Frauen pro 100.000 Einwohner lag. Demnach versterben jährlich insgesamt knapp 4000 Menschen in Deutschland an den Folgen UV-induzierter Hautkrebserkrankungen, davon rund 3100 Menschen am schwarzen Hautkrebs und 800 Menschen an hellen Hautkrebserkrankungen [7].

Ein möglicher und den bisherigen Erkenntnissen entsprechend sehr wahrscheinlicher Grund für die stetig steigende Zahl von Hautkrebsneuerkrankungen wird vor allem auch in einer zu hohen UV-Exposition des Menschen in seiner Freizeit und am Arbeitsplatz gesehen.

Heller Hautkrebs (BZK, PEK)	Schwarzer Hautkrebs (MM)
Angeborene Risikofaktoren^{a)}: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Hauttyp 	Angeborene Risikofaktoren^{a)}: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Hauttyp ➤ (große) kongenitale Nävi
Erworbene Risikofaktoren^{a)}: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Aktinische Keratose ➤ Nicht-melanozytärer Hautkrebs ➤ Immunsuppression ➤ Röntgenkombinationsschaden 	Erworbene Risikofaktoren^{a)}: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Melanom in der Vorgeschichte ➤ Melanom in der Familienanamnese ➤ Anzahl erworbener Nävi ➤ klinisch atypische Pigmentmale
UV-Expositionsmuster^{a)}: <ul style="list-style-type: none"> PEK: kumulative UV-Exposition BZK: intermittierende UV-Exposition, Sonnenbrände 	UV-Expositionsmuster^{a)}: <ul style="list-style-type: none"> ➤ intermittierende UV-Exposition ➤ Sonnenbrände (in jedem Alter)

Abb. 1 ◀ Risikofaktoren für Hautkrebs.

^{a)}Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF; [39]); BZK Basalzellkarzinom, PEK Plattenepithelkarzinom, MM Malignes Melanom

Zu lange Aufenthalte in der Sonne ohne entsprechenden Sonnenschutz bedeuten eine übermäßige, gesundheitsschädliche UV-Exposition. Kinder sind dabei besonders gefährdet [1].

Risikofaktoren für UV-bedingte Hautkrebserkrankungen

Bei der Betrachtung der möglichen Konsequenzen des Klimawandels auf die UV-Exposition und des damit verbundenen Erkrankungsrisikos der Bevölkerung ist es wichtig, sich auch Gedanken über die Risikofaktoren zu machen, die zur Entstehung einer UV-bedingten Hautkrebserkrankung beitragen. Die Risikofaktoren für den Hautkrebs sind in der onkologischen S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ detailliert beschrieben ([8]; **Abb. 1**).

Hinsichtlich der Überlegungen zu Klimawandel, UV-Strahlung und möglichen gesundheitlichen Konsequenzen ist der evidenzbasiert ermittelte Risikofaktor „UV-Expositionsmuster“, also wie lange und auf welche Weise man sich UV-Strahlung aussetzt, bedeutend. Laut S3-Leitlinie korreliert die Wahrscheinlichkeit, an einem Plattenepithelkarzinom zu erkranken, mit der UV-Dosis, der ein Mensch während seines Lebens ausgesetzt war (kumulative Dosis). Für das Basalzellkarzinom scheint die kumulative UV-Exposition von untergeordneter Bedeutung zu sein. Hier sind intermittierende UV-Expositionen, also zeitweilige, mit Unterbrechungen erfolgende UV-Belastung nicht an UV-Strahlung gewöhnter Haut, und Sonnenbrände ausschlaggebend. Für das

maligne Melanom sind intermittierende UV-Expositionen und Sonnenbrände von großer Bedeutung. Sonnenbrände in jedem Alter erhöhen das Risiko für ein malignes Melanom um das ca. 2-Fache. Schwere Sonnenbrände in der Kindheit erhöhen das Risiko für das maligne Melanom um das 2- bis 3-Fache. Das Expositionsmuster hängt stark vom individuellen Verhalten ab. Das individuelle Verhalten wiederum wird unter anderem durch äußere Umstände, wie beispielsweise die Lufttemperatur, beeinflusst.

UV-Bestrahlungsstärken und -Exposition in Deutschland

Die Intensität der UV-Strahlung an der Erdoberfläche hängt von unterschiedlichen Faktoren wie stratosphärischem Ozon, Sonnenstand, Bewölkung, Höhenlage, Aerosolen und Albedo-Eigenschaften von Oberflächen (z. B. Schnee) ab [5, 9]. Die Modellierung der UV-Bestrahlungsstärke am Erdboden ist darum sehr komplex. Für aussagekräftige Daten zur UV-Exposition der Bevölkerung sind neben Modellen daher auch Messungen der erdbodennahen UV-Bestrahlungsstärke unerlässlich [9].

In Deutschland wird im Rahmen des solaren UV-Messnetzes [10] die erdbodennahe UV-Bestrahlungsstärke kontinuierlich von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang spektral aufgelöst gemessen. Aus den erfassten UV-Spektren wird der UV-Index (UVI; [11]) abgeleitet und veröffentlicht [12]. Er ist das weltweit einheitliche Maß für den Tageshöchstwert (30-Minuten-Mittelwert) der

sonnenbrandwirksamen (erythemwirksamen) UV-Bestrahlungsstärke bezogen auf eine horizontale Fläche [13].

In Deutschland liegt der UV-Index von April bis Oktober im Durchschnitt über UVI 3 – ein Wert, ab dem die erythemwirksame UV-Bestrahlungsstärke bereits so hoch ist, dass Sonnenschutzmaßnahmen erforderlich sind [13]. In den Sommermonaten Juni, Juli und August werden in Deutschland die höchsten UV-Index-Werte erreicht. Diese liegen im Tal oder Flachland abhängig vom Standort bei UVI 6 bis UVI 9, in hohen Gebirgslagen bis zu UVI 11 (beispielsweise 2018 am Schneefernerhaus (2666 m ü. N.N.) unterhalb der Zugspitze [14]). Laut den Messergebnissen des UV-Messnetzes liegen an wolkenlosen Tagen in den Sommermonaten die UV-Index-Werte auf der Zugspitze insgesamt um etwa 30 % höher als in München/Neuherberg (495 m ü. N.N.).

Die individuelle UV-Exposition lässt sich nicht direkt vom UV-Index ableiten, da unter anderem das individuelle Verhalten (das Expositionsmuster) die Höhe der UV-Dosis für ein Individuum beeinflusst. Daher weisen Angaben zur UV-Exposition bzw. zur erhaltenen UV-Dosis eine große Variationsbreite auf. Für den durchschnittlichen Jahresmittelwert der UV-Dosis der deutschen Bevölkerung geben Studien Werte zwischen 130 SED (standardisierte erythemwirksame UV-Dosis; [15]) und 200 SED [16] an. Die UV-Exposition von Menschen, die im Freien tätig sind, kann die durchschnittlichen Expositionswerte der deutschen Bevölkerung um ein Vielfaches übersteigen [17].

Änderung der UV-Exposition aufgrund von Ozonabbau und globaler Erwärmung

Der Ozonabbau und die globale Erwärmung (Klimawandel) können auf unterschiedliche Weise die UV-Exposition der Bevölkerung beeinflussen:

Ozonabbau

Das stratosphärische Ozon filtert die von der Sonne emittierte UV-Strahlung, sodass die sehr energiereichen Anteile

der UV-Strahlung die Erde entweder gar nicht erreichen (UV-C-Strahlung) bzw. nur zu einem kleinen Teil (UV-B-Strahlung). Eine Verringerung der stratosphärischen Ozonschicht, verursacht durch chlor- und bromhaltige Chemikalien (Fluorchlorkohlenwasserstoff [FCKW], Halone), wie sie seit den 1960er-Jahren beobachtet wurde, bewirkt einen Anstieg der erythemwirksamen UV-B-Bestrahlungsstärke auf der Erdoberfläche, was zu relevanten Schäden an lebenden Organismen führen kann [18].

Die größten Auswirkungen zeigen sich in den Polargebieten. Über der Arktis kann in sehr kalten Wintern ein signifikanter Ozonabbau erfolgen, der sich auf die erythemwirksame UV-Bestrahlungsstärke der nördlichen Hemisphäre und damit auch auf Deutschland auswirkt [5]: Durch die Auflösung des Polarwirbels im Frühjahr kann polare Luft mit geringem Ozongehalt in die gemäßigten Breiten der nördlichen Hemisphäre transportiert werden und bis nach Mitteleuropa driften. In Ländern der nördlichen Hemisphäre werden dann sogenannte Niedrigozonereignisse („low ozone events“), auch „Miniozonlöcher“ genannt, registriert. „Miniozonlöcher“ können zu kurzfristigen und unerwartet hohen UV-Expositionen führen. Dies wiederum würde die Gefahr einer UV-Überbelastung mit den damit einhergehenden gesundheitlich negativen Folgen erhöhen. Das beschriebene Phänomen scheint mit der globalen Erwärmung in Zusammenhang zu stehen: Steigende Treibhausgaskonzentrationen halten die Wärmestrahlung der Erde in tieferen Luftschichten zurück, wodurch diese erwärmt werden. Aufgrund dessen hat die Häufigkeit kalter Winter an den Polen seit Mitte des letzten Jahrhunderts eher etwas abgenommen. Allerdings gelangt dadurch aber weniger wärmende Strahlung in die darüber gelegene Stratosphäre, wodurch es dort zu einer stärkeren Abkühlung kommt, die den Ozonabbau fördert [19]. Die komplizierten Details der Wechselwirkungen zwischen der Ozonschicht und den Treibhausgasen, die die globale Erwärmung verursachen, sind jedoch noch nicht vollständig verstanden und deshalb Gegenstand der

Bundesgesundheitsbl 2019 · 62:639–645 <https://doi.org/10.1007/s00103-019-02934-w>
© Der/die Autor(en) 2019

C. Baldermann · S. Lorenz

UV-Strahlung in Deutschland: Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung

Zusammenfassung

Ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung) kann zu zahlreichen sofortigen sowie später im Leben auftretenden Erkrankungen an Haut und Auge führen. Die schwerwiegendste Folge sind Hautkrebserkrankungen, deren Risiko mit zunehmender UV-Bestrahlungsstärke und längeren Aufenthaltszeiten im Freien zunimmt. Aufgrund der Tatsache, dass UV-Strahlung kanzerogen ist, ist der Schutz der Bevölkerung vor gesundheitsschädlichen UV-Belastungen ein wichtiges Strahlenschutz- und Gesundheitsziel. Ozonabbau und Klimawandel können auch in Deutschland die UV-Bestrahlungsstärke und die Aufenthaltszeiten im Freien derart beeinflussen, dass sich die UV-Belastung (UV-Exposition) der Bevölkerung und damit das Hautkrebsrisiko noch erhöhen. Darum kommt dem Schutz vor gesundheitsschädlichen UV-Belastungen eine noch größere Bedeutung

zu. Die Anpassungsstrategien eines Staates an die gesundheitlichen Folgen des Ozonabbaus und des Klimawandels sollten auch Strategien zur Reduzierung der UV-Belastung beinhalten. In diesem Übersichtsbeitrag werden zunächst die gesundheitlichen Auswirkungen der UV-Strahlung und die Risikofaktoren für UV-bedingte Hautkrebserkrankungen dargestellt. Die Messung der UV-Bestrahlungsstärke und -Exposition in Deutschland wird erläutert. Anschließend werden die Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels auf die UV-Exposition erklärt und Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vorgestellt.

Schlüsselwörter

Globale Erwärmung · Stratosphärisches Ozon · Solare UV-Strahlung · Gesundheit · Präventionsmaßnahmen

UV radiation in Germany: influences of ozone depletion and climate change and measures to protect the population

Abstract

Ultraviolet radiation (UV radiation) can lead to numerous skin and eye diseases, both immediately and later in life. The most serious consequence is skin cancer. The risk of skin cancer increases, among other things, with increasing UV irradiance and/or with increasing outdoor exposure times. Due to the fact that UV radiation is carcinogenic, protection of the population against harmful UV exposure is an important radiation protection and health objective. In Germany, ozone depletion and climate change can also influence the UV irradiance and outdoor exposure times to such an extent that the UV exposure of the population and thus the skin cancer risk can increase. This is why protection against harmful UV exposure is even more important. Since ozone depletion and climate change can

further increase the UV exposure of humans, protection against high UV exposure is even more important. A country's adaptation strategies to the health consequences of ozone depletion and climate change should therefore also include strategies to reduce UV exposure.

In this review, the health effects of UV radiation and the risk factors for UV-related skin cancer are first presented. The measurement of UV irradiance and exposure in Germany is explained. The effects of ozone depletion and climate change on UV exposure are then described and measures to protect the population are presented.

Keywords

Global warming · Stratospheric ozone · Solar UV radiation · Health · Prevention measures

Forschung (wie beispielsweise im Projekt RECONCILE [20]).

Aufgrund globaler Abkommen (Montrealer Protokoll und dessen Ergänzungen [21]) kann inzwischen eine beginnende Erholung der stratosphärischen Ozonschicht verzeichnet werden. Laut

dem UN-Report „Scientific Assessment of Ozone Depletion 2018“ werden die Veränderungen der Ozonschicht in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts komplex und regional unterschiedlich sein. Für Deutschland interessant: Es wird erwartet, dass die Ozonschichtdicke über

den mittleren Breitengraden der nördlichen Hemisphäre in den 2030er-Jahren zu den niedrigeren Werten der 1980er-Jahre zurückkehrt [22]. Wechselwirkungen zwischen der globalen Erwärmung und dem Ozonabbau könnten die Ozonerholung aber um mehrere Jahre verzögern [9]. Laut dem UN-Report von 2018 stellt die große Bandbreite der zukünftig möglichen Treibhausgaskonzentrationen (CO_2 -, CH_4 - und N_2O) eine wichtige Einschränkung für genaue Prognosen der Ozonschichtdicke dar.

Globale Erwärmung

Neben Veränderungen der stratosphärischen Ozonschicht wirkt auch die globale Erwärmung an sich auf die UV-Exposition der Bevölkerung. Aufgrund des Treibhauseffekts steigt die globale und regionale Lufttemperatur [23]. Hierdurch kann sich unter anderem das temperaturabhängige Verhalten der Menschen derart verändern, dass die Wahrscheinlichkeit einer UV-Exposition im Freien zunimmt. Hintergrund ist, dass möglicherweise an mehr Tagen im Jahr der thermische Komfortbereich vorherrscht und der Aufenthalt im Freien damit häufiger wird. Eine Studie in Deutschland zeigte beispielsweise, dass sonnenreiche Tage mit angenehm empfundenen Temperaturen zu einer deutlich erhöhten UV-Exposition führen, weil Menschen unter anderem mehr im Garten arbeiten oder sich im Schwimmbad aufhalten [24]. Eine englische Studie von 1996 zeigte zudem, dass Kinder an Wochenenden im wärmeren Südosten Englands eine größere UV-Dosis erhielten als Kinder im kälteren Nordosten. Laut den Autoren dieser Studie kann dies nicht alleine mit unterschiedlichen UV-Bestrahlungsstärken erklärt werden. Sie vermuten, dass hier weitere Faktoren wie das herrschende Klima und die Temperatur involviert sein dürften [25].

Die globale Erwärmung kann sich auch auf die Bewölkungssituation auswirken – ein weiterer, in Bezug auf die UV-Strahlung relevanter Aspekt [26]. In der Regel reduzieren Wolken über längere Zeiträume (z. B. im Laufe eines Tages) die Gesamtdosis der UV-Strahlung. Es gibt aber auch Bewölkungs-

situationen, in denen die Sonne nicht verdeckt wird. Durch eine Streuung der Strahlung an den Wolken können dann die am Erdboden gemessenen UV-Bestrahlungsstärken im UV-A- und UV-B-Bereich höher sein als bei wolkenlosem Himmel [5]. Solche Ereignisse können die UV-Exposition für kurze Zeiträume erheblich erhöhen. Darüber hinaus kann die Bewölkungssituation derart verändert sein, dass sich die Anzahl sonniger Tage, und damit die Sonnenscheindauer, über das Jahr hinweg über die normalen Schwankungen hinaus erhöht.

Sowohl durch ein durch die globale Erwärmung beeinflusstes temperaturabhängiges Verhalten als auch durch eine klimawandelbedingt erhöhte Anzahl an sonnigen Tagen kann das Risiko für Hautkrebserkrankungen steigen [27].

Auswirkungen auf die UV-Exposition in Deutschland

Für die UV-Exposition in Deutschland sind die Vorgänge in der stratosphärischen Ozonschicht der mittleren Breitengrade der nördlichen Hemisphäre und der Arktis von Bedeutung. Der durch den Ozonabbau verursachte Anstieg der erythemwirksamen UV-Strahlung (UV-B-Strahlung) wurde Ende der 1990er-Jahre für die mittleren Breitengrade der nördlichen Hemisphäre auf ca. 7 % im Winter/Frühling und ca. 4 % im Sommer/Herbst, für die Arktis ein Anstieg um ca. 22 % im Frühjahr geschätzt [28]. Sowohl Modellierungen als auch Messungen der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke bestätigten diese Annahmen [9].

Laut dem UN-Report „Scientific Assessment of Ozone Depletion 2018“ liegt die Gesamtozonsäule zum heutigen Zeitpunkt (2014–2017) in den mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre (35°N – 60°N) etwa 3 % niedriger als im Zeitraum von 1964 bis 1980, was aus boden- und weltraumgestützten Beobachtungen geschlossen wird [22]. In den mittleren Breitengraden fallen die Auswirkungen des Rückgangs des stratosphärischen Ozons dementsprechend schwach aus.

Wie bereits beschrieben können aber in Deutschland und anderen Ländern der nördlichen Hemisphäre als Folge

des Ozonabbaus über der Arktis Niedrigozonereignisse registriert werden. Ein solches wurde beispielweise 2011 verzeichnet [29, 30]. Laut den Messdaten des solaren UV-Messnetzes wurde als Folge davon am 02.04.2011 in München der UV-Index-Wert 6 erreicht, und dies nur 8 Tage nachdem der bis dahin maximal ermittelte Tageshöchstwert des UV-Index an diesem Standort noch bei UVI 4 lag. Solche Ereignisse sind von gesundheitlicher Bedeutung, da die nicht an diese UV-Bestrahlungsstärken adaptierte Haut des Menschen plötzlich hoch belastet wird.

Klimawandelbedingte, durch die globale Erwärmung hervorgerufene Veränderungen der UV-Strahlung über den mittleren Breitengraden der nördlichen Hemisphäre scheinen hauptsächlich durch Veränderungen der Bewölkungsszenarien hervorgerufen zu werden [5]. In Deutschland treten vermehrt wolkenlose, sonnige Tage auf. Laut den Auswertungen durch den Deutschen Wetterdienst hat sich die Sonnenscheindauer von 1951 bis 2018 um ca. 96 h erhöht (■ Abb. 2).

Eine Erhöhung der Sonnenscheindauer bedeutet in der Regel eine Erhöhung der Tagessummen der erythemwirksamen UV-Bestrahlungsstärke. Dies zeigen erste Auswertungen der Daten des UV-Messnetzes von 1999 bis einschließlich 2018 der Messstation Dortmund (■ Abb. 3) durch das Bundesamt für Strahlenschutz. Diese Messstation wird von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) betrieben. Es wurden Messwerte von 1,5 h nach Sonnenaufgang bis 1,5 h vor Sonnenuntergang in die Auswertung integriert. Deutlich ist zu erkennen, dass die aufsummierten Tagessummen für 2018 – ebenso wie für das Jahr 2003, das auch auffallend sonnig und heiß war [23] – deutlich höher als die Summen aller anderen Jahre liegen. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass eine steigende Anzahl an sonnigen Tagen und damit der Sonnenscheindauer über das Jahr direkt mit einem Anstieg der erythemwirksamen UV-Jahresdosis korreliert ist.

Abb. 2 ◀ Abweichung der jährlichen Sonnenscheindauer für Deutschland (1951–2018) vom vieljährigen Mittelwert (1961–1990). (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Abb. 3 ▲ Normierte Darstellung der über das Jahr aufsummierten Tagessummen der gemessenen erythemgewichteten Bestrahlungsstärken in Dortmund der Jahre 1999–2018 (a.u. „arbitrary unit“; willkürliche Einheit)

UV-Schutz als Anpassungsstrategie an den Klimawandel

UV-bedingte Erkrankungen und die Vorbeugung solcher Erkrankungen sind an sich bereits ein wichtiges Gesundheitsthema. Aufgrund der Tatsache, dass der Klimawandel die UV-Exposition der Menschen und damit die Erkrankungshäufigkeit sowie Belastung des Gesundheitssystems und des Allgemeinwohls der Menschen noch weiter erhöhen kann, kommt dem Schutz vor hohen UV-Belastungen eine noch größere Bedeutung zu. Die Anpassungsstrategien eines Staates an die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels sollten darum auch Strategien zur Reduzierung der UV-Exposition der Menschen beinhalten.

Allgemein umfassen Anpassungsstrategien an die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels Instrumente, die zum einen auf eine gesundheitsorientierende Veränderung des Verhaltens und zum anderen auf die Anpassung der äußeren Gegebenheiten abzielen. In Bezug auf die Prävention UV-bedingter Erkrankungen ergaben Evaluierungen von verhaltensbezogenen Präventionskampagnen oder -interventionen, dass Bildungs- und Politikmaßnahmen in Grundschulen und Programme für Erwachsene in Freizeit- oder Tourismuseinrichtungen im Freien erfolgreich sind und nachhaltig gestaltet zu einer Verbesserung des risikobewussten Verhaltens führen können. Des Weiteren werden Multikomponentenprogramme, die unterschiedliche Aktivitäten wie Multiplikatorenschulungen,

Training vor Ort, Einsatz von Multimedia etc. kombinieren, empfohlen. Dies alles immer unter der Prämisse, dass die jeweiligen Gegebenheiten vor Ort wie Anzahl hellhäutiger Personen, Hautkrebsinzidenz und -mortalität, vorherrschendes Klima oder die UV-Belastung die Ausrichtung der Kampagnen bestimmen [31].

Verhaltenspräventive Maßnahmen, wie zum Beispiel Informationskampagnen, Fortbildungen oder Arbeit mit Kindern und Jugendlichen, dienen dazu, das Bewusstsein des gesundheitlichen Risikos durch UV-Strahlung zu schärfen und ein gesundheitsförderliches Verhalten nachhaltig zu generieren. Solche Maßnahmen werden seit Jahrzehnten in Deutschland von unterschiedlichen Akteuren durchgeführt. Der Erfolg dieser Maßnahmen ist zum einen von der individuellen Bereitschaft zur Veränderung der eigenen Haltung, zum anderen aber auch von den gegebenen Lebensumständen abhängig. Verhaltenspräventive Ansätze laufen gezwungenermaßen ins Leere, wenn die äußeren Umstände, also die Verhältnisse, nicht stimmen – beispielsweise wenn man Schatten aufsuchen sollte, aber kein Schatten gegeben ist.

Bei verhältnispräventiven Maßnahmen handelt es sich um so einfache Dinge wie die Einrichtung von UV-reduzierenden Schattenplätzen, zum Beispiel durch Bepflanzungen oder durch Aufspannen geeigneter Sonnensegel. Einmal eingerichtet, werden solche Maßnahmen auch angenommen. Beispielsweise liegt eine klare Evidenz für die Akzeptanz von Schattenplätzen bei Kindern und Jugendlichen vor, die sonst nur schwer durch verhaltenspräventive Maßnahmen erreicht werden [32]. Gerade die Einrichtung von Schattenplätzen in Kitas, Kindergärten und Schulen wird in der 2014 veröffentlichten S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ [8] mit höchster Priorität empfohlen. Verhältnisprävention bedeutet auch, dass Tagesabläufe bzw. die Arbeitsorganisation in den Lebenswelten der Menschen derart gestaltet werden, dass belastender UV-Strahlung aus dem Weg gegangen werden kann. Hierzu ist es wichtig, die erythemwirksame UV-Bestrahlungsstärke zu kennen. Eine

entsprechende Maßnahme ist darum die öffentliche Anzeige des UV-Index und die regelmäßige Berichterstattung darüber (siehe zum Beispiel [12] und [33]). Um das Thema Prävention UV-bedingter Erkrankungen, insbesondere des Hautkrebses, nachhaltig zu etablieren, ist auch die Verankerung des Themas „UV-Wirkungen und -Schutz“ in Schule, Lehre und Beruf durch Erweiterung und Anpassung der Ausbildungs- und Lehrpläne ein weiterer wichtiger Meilenstein. Eine Zusammenstellung dieser und weiterer Maßnahmen zur Etablierung verhältnispräventiver Maßnahmen findet sich in dem Grundsatzpapier des UV-Schutz-Bündnisses „Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne – Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land“ [34].

Fazit und Ausblick

Hohe UV-Exposition kann ernste gesundheitliche Probleme nach sich ziehen. Der Rückgang des stratosphärischen Ozons und der Klimawandel (globale Erwärmung) können nachgewiesenermaßen zu einer Erhöhung der UV-Belastung auch in Deutschland beitragen. Anpassungsstrategien an die Folgen des Ozonabbaus und des Klimawandels sollten daher auch Maßnahmen zur Reduzierung der UV-Exposition beinhalten. In Deutschland wurde dahingehend bereits reagiert. Anpassungsstrategien werden in Deutschland durch die im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) verankerte „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS; [35]) und das die DAS unterstützende „Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung“ (KomPass; [36]) erarbeitet. Hierzu gehört auch die Erstellung handlungsfeldübergreifender Vulnerabilitätsanalysen. Die nächste Analyse dieser Art wird 2021 erscheinen [37] und nun auch die gesundheitliche Belastung durch UV-Strahlung betrachten. Die zur Senkung der UV-Exposition der Bevölkerung anzuwendenden Anpassungsstrategien sollten sich auf verhältnispräventive Maßnahmen fokussieren, die verhaltenspräventive Maßnahmen sinnvoll ergänzen. Ein gewünschter Ne-

benefekt verhältnispräventiver Maßnahmen zur Reduzierung der UV-Exposition der Bevölkerung ist, dass einige davon, wie zum Beispiel die Schaffung effektiver Schattenplätze, gleichzeitig zur Vorbeugung gesundheitsschädlicher Hitzebelastungen im Freien beitragen können [38]. Verhältnisprävention zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen hat darum auch das Potenzial, die gesundheitlichen Folgen einer sehr ernst zu nehmenden klimawandelbedingten Extremwittersituation, die eklatant erhöhte Hitzebelastung der Bevölkerung im Freien, zu lindern.

Korrespondenzadresse

Dr. Cornelia Baldermann

Bundesamt für Strahlenschutz
Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Neuherberg,
Deutschland
cbaldermann@bfs.de

Dr. Sebastian Lorenz

Bundesamt für Strahlenschutz
Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Neuherberg,
Deutschland
slorenz@bfs.de

Danksagung. Besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Met. Klaus-Jürgen Schreiber, Leiter der Abteilung Klimaüberwachung des Deutschen Wetterdienstes, der die Grafik „Anomalie der Sonnenscheindauer“ zur Verfügung stellte und ein wertvoller Diskussionspartner war. Des Weiteren wird dem assoziierten UV-Messnetz-Partner Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) für Messung und Bereitstellung der UV-Daten gedankt.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C. Baldermann und S. Lorenz sind als wissenschaftliche Fachreferenten im Bundesamt für Strahlenschutz im Fachgebiet WR4 „Optische Strahlung“ tätig. C. Baldermann und S. Lorenz geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

- SSK – Strahlenschutzkommission (2016) Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Schutz des Menschen vor den Gefahren der UV-Strahlung in Solarien“. http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2001/Schutz_vor_UV_Strahlung_in_Solarien.pdf?__blob=publicationFile. Zugriffen: 18. März 2019 (verabschiedet in der 172. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 8. Juni 2001)
- Rhodes LE, Webb AR, Fraser HI et al (2010) Recommended summer sunlight exposure levels can produce sufficient (≥ 20 ng/ml) but not the proposed optimal (≥ 25 ng/ml) 25(OH)D levels at UK latitudes. *J Invest Dermatol* 130(5):1411–1418
- Webb AR, Kift R, Berry JL, Rhodes LE (2011) The vitamin D debate: Translating controlled experiments into reality for human sun exposure times. *Photochem Photobiol* 87(3):741–745
- El Ghissassi F, Baan R, Straif K et al (2009) A review of human carcinogens—Part D: Radiation. *Lancet Oncol* 10(8):751–752
- 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
- Katalinic A (2018a) Update – Zahlen zu Hautkrebs in Deutschland. http://www.cancer-sh.de/aktuelles/Zahlen_Hautkrebs_2018a.pdf. Zugriffen: 18. März 2019
- Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland e. V. (2019) Atlas der Krebsinzidenz und -mortalität in Deutschland (GEKID-Atlas). Datenlieferung: Juli 2017, Lübeck. <http://www.gekid.de>. Zugriffen: 18. März 2019
- Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF) (2014) S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.0. <http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Hautkrebs-Praevention.56.0.html>. Zugriffen: 18. März 2019 (AWMF Registernummer: 032/052OL)
- McKenzie RL, Björn LO, Bais A, Ilyas M (2003) Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Photochem Photobiol Sci* 2:5–15
- Bundesamt für Strahlenschutz (2018) Was ist das UV-Messnetz? http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-messnetz/uv-messnetz_node.html. Zugriffen: 18. März 2019
- Matthes R, Sliney D (Hrsg) (1998) Measurements of optical radiation hazards – A reference book based on presentations given by health and safety experts on optical radiation hazards. ICNIRP, Gaithersburg, S 1–3. ISBN 3-9804789-5-5
- Bundesamt für Strahlenschutz (2018) Was ist der UV-Index? www.bfs.de/uv-index. Zugriffen: 18. März 2019
- World Health Organization (2002) Global solar UV index—A practical guide. WHO, Genf
- Bundesamt für Strahlenschutz (2019) BFS-Geoportal. <https://www.imis.bfs.de/geoportal>. Zugriffen: 18. März 2019
- Knuschke P (2011) Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der beruflichen solaren UV-Expositionen. *Dermatol Beruf Umwelt* 59:78–83
- Diffey BL (1999) Human exposure to ultraviolet radiation. In: Hawk JLM (Hrsg) *Photodermatology*. Arnold, London, Sydney, Auckland, S 5–24
- Schmitt J, Diepgen T, Bauer A (2010) Occupational exposure to non-artificial UV-light and non-melanocytic skin cancer—A systematic review

- concerning a new occupational disease. *J Dtsch Dermatol Ges* 8(4):250–263
18. Lucas RM, Norval M, Neale RE, Young AR, de Grujij FR, Takizawa Y, van der Leun JC (2015) The consequences for human health of stratospheric ozone depletion in association with other environmental factors. *Photochem Photobiol Sci* 14:53–87
 19. von Hobe M, Bekki S, Borrmann S, Cairo F, D'Amato F et al (2013) Reconciliation of essential process parameters for an enhanced predictability of Arctic stratospheric ozone loss and its climate interactions (RECONCILE): Activities and results. *Atmos Chem Phys* 13:9233–9268
 20. RECONCILE (2013) Through dedicated laboratory and field measurements, RECONCILE has improved model representations of key processes dominating chemistry, microphysics and dynamics of Arctic stratospheric ozone loss. <https://www.fp7-reconcile.eu>. Zugegriffen: 18. März 2019
 21. Baumann S, Elsner C, de Graaf D et al (2017) 1987–2017: 30 Jahre Montrealer Protokoll – Vom Ausstieg aus den FCKW zum Ausstieg aus teilfluorierten Kohlenwasserstoffen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
 22. World Meteorological Organization (WMO) (2018) Executive summary: Scientific assessment of ozone depletion: 2018. Global ozone research and monitoring project, Bd. 58. WMO, Genf
 23. Kandarr J, Reckert H, Mücke HG (2014) Anpassung an die gesundheitlichen Risiken des Klimawandels als Aufgabe des umweltbezogenen Gesundheitsschutzes. Analyse einer bundesweiten Recherche und Erhebung des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz. <https://doi.org/10.1007/s00103-014-2056-7>
 24. Knuschke P, Kurpiers M, Koch R, Kuhlisch W, Witte K (2004) Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung. <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb06/511831935.pdf>. Zugegriffen: 18. März 2019
 25. Diffey BL, Gibson CJ, Haylock R, McKinlay AF (1996) Outdoor ultraviolet exposure of children and adolescents. *Br J Dermatol* 134:1030–1034
 26. Brasseur G, Jacob D, Schuck-Zöller S (Hrsg) (2017) Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer, Berlin, Heidelberg, S 225–234 <https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3>
 27. Bharath AK, Turner RJ (2009) Impact of climate change on skin cancer. *J R Soc Med* 102(6):215–218
 28. van der Leun JC, Tevini M, Tang X, Worrest RC (1998) Environmental effects of ozone depletion; 1998 assessment. United Nations Environment Programme, Nairobi, S 192
 29. Schwarz M, Baumgartner DJ, Pietsch H, Blumthaler M, Weihs P, Rieder HE (2017) Influence of low ozone episodes on erythral UV-B radiation in Austria. *Theor Appl Climatol* 133(1/2):319–329. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2170-1>
 30. Petkov BH, Vitale V, Tomasi C et al (2014) Response of the ozone column over Europe to the 2011 Arctic ozone depletion event according to ground-based observations and assessment of the consequent variations in surface UV irradiance. *Atmos Environ* 85:169–178
 31. Saraiya M, Glanz K, Briss PA et al (2004) Interventions to prevent skin cancer by reducing exposure to ultraviolet radiation: A systematic review. *Am J Prev Med* 27(5):422–466
 32. Dobbins SJ et al (2009) Adolescents' use of purpose built shade in secondary schools: Cluster randomised controlled trial. *BMJ* 338:b95. <https://doi.org/10.1136/bmj.b95>
 33. Deutscher Wetterdienst (DWD) (2019) Vorhersagen des UV Index und der UV Dosis für wolkenlosen und für bewölkten Himmel. https://kunden.dwd.de/uvj_de. Zugegriffen: 18. März 2019
 34. UV-Schutz-Bündnis (2017) Vorbeugung gesundheitlicher Schäden durch die Sonne – Verhältnisprävention in der Stadt und auf dem Land: Grundsatzpapier des UV-Schutz-Bündnisses. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 60(10):1153–1160. <https://doi.org/10.1007/s00103-017-2619-5>
 35. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2008) Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. <https://www.bmu.de/download/deutsche-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel>. Zugegriffen: 18. März 2019
 36. Kompetenzzentrum KompPass. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/kompetenzzentrum-kompass-0>. Zugegriffen: 18. März 2019
 37. Umweltbundesamt (2017) Vulnerabilitätsanalyse 2021. <https://www.umweltbundesamt.de/vulnerabilitaetsanalyse-2021>. Zugegriffen: 18. März 2019
 38. Matzarakis A (2013) Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Gefahrst Reinhalt Luft* 73:115–118
 39. Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF) (2014) S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.0. <http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Leitlinien.7.0.html>. Zugegriffen: 18. März 2019. (AWMF Registernummer: 032/052OL)