

Wie der Klimawandel die UV-Strahlungsbelastung beeinflusst und was dies für Konsequenzen nach sich zieht

How climate change affects UV radiation exposure and what the consequences will be

ZUSAMMENFASSUNG

Der Klimawandel hat ernste Folgen für Mensch und Umwelt. Katastrophen wie Überschwemmungen oder Hitzewellen, die die Gesundheit des Menschen und die Umwelt extrem belasten, sind offensichtlich und zwingen zu Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen. Nicht so offensichtlich sind Auswirkungen, die Menschen und Natur unbemerkt betreffen. Eine davon ist die klimawandelbedingte Veränderung der UV-Strahlungsbelastung. Der Klimawandel beeinflusst auch in Deutschland die UV-Strahlung, sodass das Risiko für UV-bedingte Erkrankungen wie Krebserkrankungen an Augen und Haut noch weiter steigen kann. Die Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 attestierte entsprechend den „UV-bedingten Gesundheitsschädigungen“ ein hohes Klimarisiko. Dieser Beitrag beschreibt die aktuellen Erkenntnisse bezüglich des Einflusses des Klimawandels auf die UV-Strahlungsbelastung und effektive Maßnahmen zur Anpassung an diese gesundheitliche Folge des Klimawandels.

CORNELIA
BALDERMANN,
SEBASTIAN LORENZ,
DANIELA WEISKOPF

ABSTRACT

Climate change has serious consequences for people and the environment. Catastrophes such as floods or heat waves, which have an extreme impact on human health and the environment, are obvious and force climate protection and climate adaptation measures. Not so obvious are impacts that go unnoticed on people and nature. One of them is the climate change-induced modification of UV radiation exposure. Also, in Germany, climate change affects UV radiation, so that the risk for UV-related diseases such as eye and skin cancer may increase even further. Accordingly, the Climate Impact and Risk Analysis for Germany 2021 attested a high climate risk to “UV-related health damage”. This paper describes the current findings regarding the influence of climate change on UV radiation exposure and effective measures to adapt to this health consequence of climate change.

EINLEITUNG

Durch den Klimawandel werden Umweltfaktoren wie Strahlungsverhältnisse, Luft- und Bodentemperatur, Niederschlag oder Winde beeinflusst. Auch ultraviolette (UV-)Strahlung ist einer dieser Faktoren.

UV-Strahlung ist der energiereichste Teil der optischen Strahlung (Strahlenschutz-

kommission, 2016). Sie ist für den Menschen nicht sichtbar und kann auch nicht mit anderen Sinnesorganen wahrgenommen werden. Der Mensch kann also nicht bemerken, wenn sich die Intensität der UV-Strahlung erhöht oder reduziert oder wie viel UV-Strahlung auf Augen und Haut einwirkt. Das ist fatal, denn UV-Strahlung ist zwar auf der einen Seite Initiator der körpereigenen Vitamin-D-Bildung,



Quelle: @nt/Stock.
adobe.com.

führt aber gleichzeitig zu ernsten sofort und später im Leben auftretenden Erkrankungen der Augen und der Haut und ist Hauptursache für Hautkrebs (Strahlenschutzkommission, 2016). UV-Strahlung schädigt das Erbgut und ist durch die Internationale Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer, IARC) in die höchste Risikogruppe 1 als „krebserregend für den Menschen“ eingestuft – wie zum Beispiel auch Asbest oder ionisierende Strahlung (El Ghissassi et al., 2009). Vor allem UV-bedingte Krebserkrankungen belasten das Wohl der Allgemeinheit und verursachen hohe Kosten für das Gesundheitswesen (Leitlinienprogramm Onkologie, 2014). UV-bedingte Gesundheitsschäden können jeden treffen. Vor allem Kinder sind besonders empfindlich gegenüber UV-Strahlung (Strahlenschutzkommission, 2016).

Die fehlende Wahrnehmung und das damit verbundene fehlende Risikobewusstsein äußert sich unter anderem in seit Jahrzehnten steigenden UV-bedingten Hautkrebserkrankungen (Leitlinienprogramm Onkologie, 2021). Der Klimawandel droht diese Situation noch zu verschlimmern. Dieser für die Gesundheit der Menschen wichtige Umstand wurde in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 erstmals ausführlich beschrieben. Im Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“ wurde der entsprechenden Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschädigungen“ ein hohes Klimarisiko und ein dringendes Handlungserfordernis attestiert (Wolf et al., 2021). Anpassungsstrategien an die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels sollen darum Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen beinhalten (Leitlinienprogramm Onkologie, 2021; Wolf et al., 2021).

EINFLUSS DES KLIMAWANDELS AUF UV-STRAHLUNG IN DEUTSCHLAND

Bis UV-Strahlung der Sonne den Erdboden erreicht, beeinflussen unterschiedliche Faktoren welche Art der natürlichen UV-Strahlung (UV-A-, UV-B-, UV-C-Strahlung) und in welcher Intensität (UV-Bestrahlungsstärke) diese den Erdboden erreicht. Erdatmosphäre und Ozonschicht filtern die UV-Strahlung, sodass keine UV-C-Strahlung und nur circa 10 Prozent der UV-B-Strahlung den Erdboden erreichen können. UV-A-Strahlung erreicht den Erdboden bei wolkenlosem Himmel ungehindert. Eine Änderung der stratosphärischen Ozonschicht erhöht oder reduziert UV-B-Strahlung und damit die erdbodennahe UV-Bestrahlungsstärke insgesamt. Weitere Einflussfaktoren sind der Breitengrad, der Sonnenstand im Jahr und am Tag, die Bewölkung, die Aerosolarten und -konzentrationen, die Höhe des Aufenthaltsortes und das Rückstrahlvermögen (Albedo) von Oberflächen (Schnee, Fassaden, etc.).

DIREKTER EINFLUSS DES KLIMAWANDELS AUF DIE UV-STRAHLUNG

Aufgrund des Klimawandels verändern sich einige dieser Einflussfaktoren – hauptsächlich an den meisten Orten außerhalb der Polarregionen die Bewölkung, die Aerosole und das Reflexionsvermögen des Bodens (Neale et al., 2021). Für Deutschland sind dies derzeitigen Analysen zufolge vornehmlich der Zustand des stratosphärischen Ozons über geographisch begrenzten Regionen und die Bewölkung. Dies hat direkten Einfluss auf die Intensität der erdbodennahen UV-Bestrahlungsstärke, auf die UV-Jahresdosis und auf die individuelle UV-Strahlungsbelastung.

OZON

Durch den anthropogenen Ozonabbau erhöhte sich in den mittleren Breitengraden der nördlichen Hemisphäre und damit auch über Deutschland die UV-Bestrahlungsstärke um etwa 7 Prozent im Winter/Frühling sowie um etwa 4 Prozent in Sommer und Herbst (UNEP, 1998). Mit dem Verbot ozonabbauender Stoffe (Montrealer Protokoll) erholt sich die Ozonschicht wieder, jedoch kann bis heute für die mittleren Breitengrade (60 S – 60 N) kein deutlicher Anstieg des Gesamt Ozons festgestellt werden. Untersuchungen sehen zwar eine Erholung in der oberen Stratosphäre aber einen Ozonabbau in der unteren Stratosphäre (WMO, 2022). Die Gründe hierfür sind noch nicht abschließend geklärt, aber Treibhausgase werden als mögliche Ursache diskutiert (Ball et al., 2018). Konsequenz für den Menschen wäre, dass die UV-Bestrahlungsstärke und damit die UV-Strahlungsbelastung auf dem seit Beginn der Ozonproblematik erhöhten Niveau bleiben würde.

Der globale Zustand der stratosphärischen Ozonschicht dürfte jedoch insgesamt für die UV-Strahlungsbelastung in Deutschland nur eine geringfügige Rolle spielen. Ganz im Gegensatz zu sogenannten Niedrigozonereignissen – ozonarme Luftmassen, die über geographisch begrenzten Regionen für wenige Tage auftreten und unerwartet hohe UV-Bestrahlungsstärken verursachen (Leitlinienprogramm Onkologie, 2021). Von besonderer gesundheitlicher Relevanz sind vor allem Niedrigozonereignisse Ende März/Anfang April, die ihren Ursprung in winterlichen Ozonverlusten über der Arktis haben. 2020 stieg beispielweise Ende März/Anfang April aufgrund eines solchen Niedrigozonereignisses in Kombination mit den damals herrschenden Wetterbedingungen der UV-Index im Süden Deutschlands (München) von 3 auf 6 (Mitteilung aus dem deutschlandweiten UV-Messnetz, Messzentrale München / Neuherberg (Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)), **ABBILDUNG 1**.

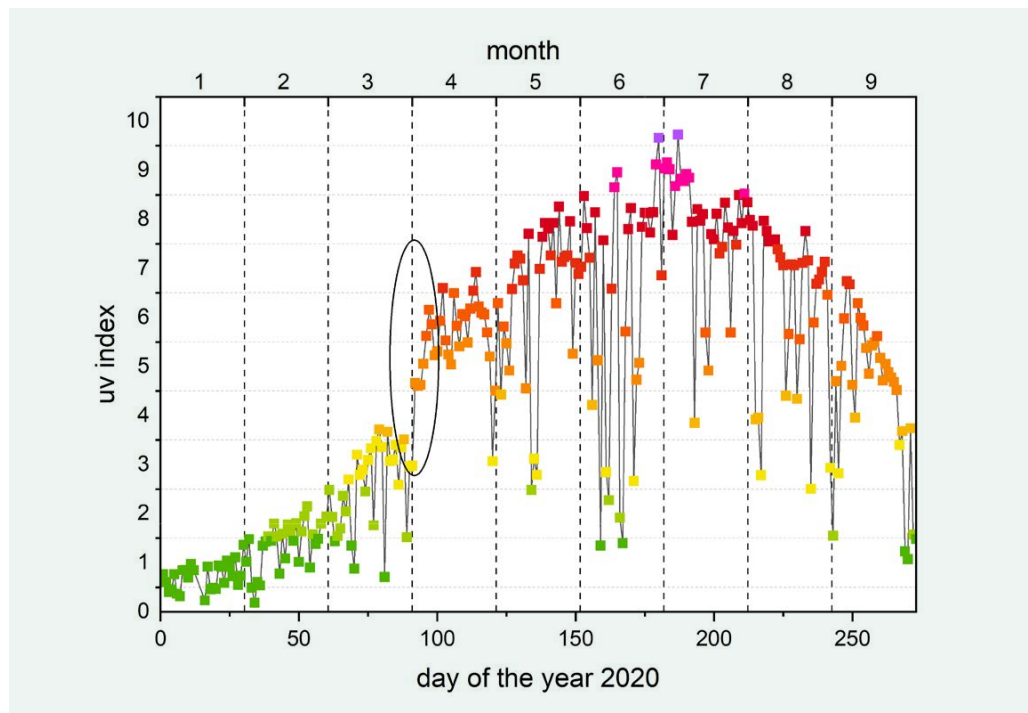


ABBILDUNG 1
Anstieg des UV-Index
in München, April 2020
(UV-Messnetz Deutsch-
land; Auswertung durch
das BFS).

Derart erhöhte UV-Bestrahlungsstärken, die eigentlich für den Frühsommer typisch sind, werden so kurz nach dem Winter nicht erwartet und Sonnenschutzmaßnahmen nicht bedacht. Die Häufigkeit dieser winterlichen, arktischen Ozonverluste und damit die Wahrscheinlichkeit für Niedrigozonereignisse Ende März/Anfang April haben in den letzten zwei Jahrzehnten zugenommen. Aktuelle Studien zufolge spielen Treibhausgase hierbei eine wichtige Rolle. Es wird prognostiziert, dass sich der Ozonabbau über der Arktis bis zum Ende des Jahrhunderts noch intensivieren könnte, wenn die globalen Treibhausgasemissionen nicht schnell und konsequent reduziert werden (von der Gathen et al., 2021).

BEWÖLKUNG

In den letzten zwei Jahrzehnten häufen sich die Jahre, in denen die Sonnenscheindauer über die normalen Schwankungen hinaus erhöht ist (ABBILDUNG 2; DWD, 2023). Dies deutet darauf hin, dass sich die Bewölkungssituation über Deutschland aufgrund des Klimawandels verändert. Der lineare Trend

für die Anzahl an jährlichen Sonnenscheinstunden liegt derzeit bei rund +162 Stunden in den Jahren 1951 bis 2022 im Vergleich zum vieljährigen Mittelwert (Referenzzeitraum 1961 bis 1990).

Mehr Sonnenscheinstunden bedeuten mehr Zeit, in der UV-Strahlung ungehindert die Erdoberfläche erreichen kann und in der sich Menschen UV-Strahlung aussetzen können. Auswertungen der Daten des deutschlandweiten UV-Messnetzes lassen erkennen, dass sich in sonnenreichen Jahren, wie beispielweise 2003 und 2018, die Jahressumme der UV-Bestrahlungsstärke, sprich die UV-Jahresdosis, erhöht und deutlich über dem 20-jährigen Mittel liegt (Baldermann & Lorenz, 2019).

Hat sich die UV-Bestrahlungsstärke in den letzten Jahrzehnten nun geändert? Satellitengestützte Modellierungen des UV-Index, das Maß für den Tagesspitzenwert der sonnenbrandwirksamen UV-Bestrahlungsstärke (WHO, 2002), zeigen einen statistisch signifikanten Anstieg von bis zu +3,6 Prozent pro Jahrzehnt des mittleren jährlichen UV-Index. Diese modellierten Ergebnisse werden durch

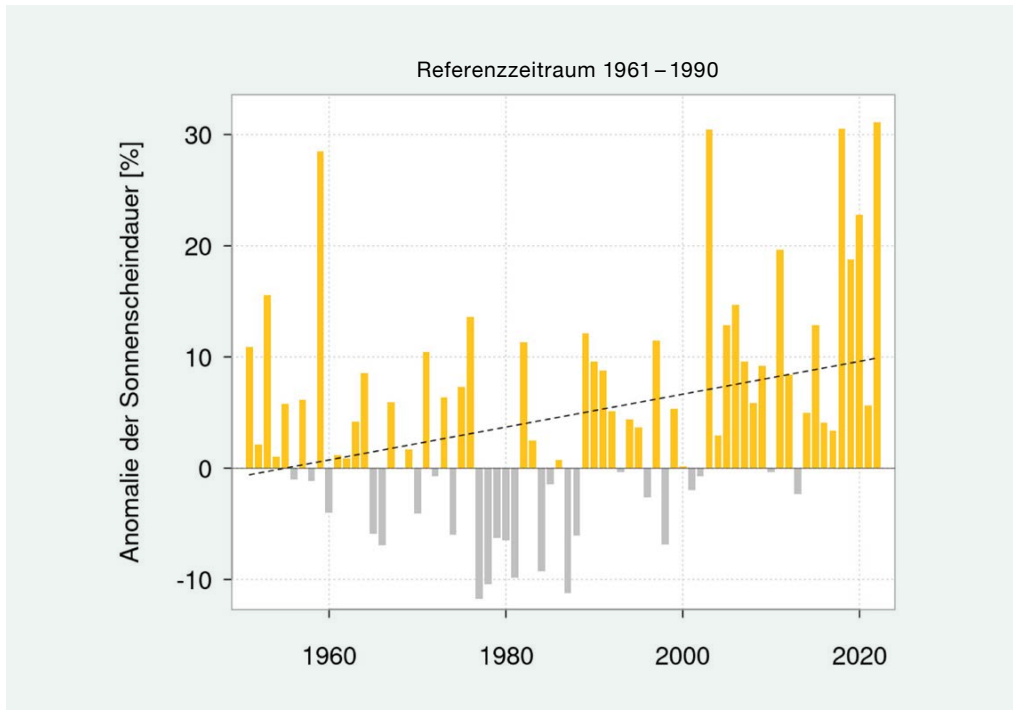


ABBILDUNG 2
Anomalie der Sonnenscheindauer (DWD, 2023).

Messungen der bodennahen UV-Strahlung gestützt (Fountoulakis et al., 2019). Analysen der Daten einer Messstation in Belgien zeigen in den letzten 22 Jahren (1996–2017) Veränderungen der UV-Strahlung von bis zu +5 Prozent pro Jahrzehnt. In Deutschland hat der UV-Index vor allem in den Frühlings- und Frühsommermonaten zugenommen (Vitt et al., 2020).

INDIREKTER EINFLUSS DES KLIMAWANDELS AUF DIE INDIVIDUELLE UV- STRAHLUNGSBELASTUNG

UV-Bestrahlungsstärke und UV-Jahresdosis sind mess- beziehungsweise berechenbare Parameter, die eine Veränderung der UV-Strahlungsbelastung anzeigen. Ein weiterer, nicht messbarer Aspekt ist das menschliche Verhalten – also wie sich der Mensch welcher intensiver UV-Strahlung aussetzt, sein sogenanntes UV-Expositionsverhalten. Dies hängt maßgeblich von den herrschenden Wetterverhältnissen und der Temperatur beziehungsweise von der gefühlten Temperatur

ab, also von Parametern, die gravierend durch den Klimawandel beeinflusst werden. Laut Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) über die letzten Jahrzehnte liegt in Deutschland der lineare Trend der Temperatur bei +1,7 °C (betrachteter Zeitraum 1951 bis 2022 im Vergleich zum vieljährigen Mittelwert (Referenzzeitraum 1961 bis 1990)). Wissenschaftliche Untersuchungen stützen die Theorie, dass die Menschen sich wegen klimawandelbedingt veränderter Wetterverhältnisse und erhöhter Temperaturen zunehmend im Freien aufhalten und so ihre individuelle UV-Belastung erhöhen können (Leitlinienprogramm Onkologie, 2021). Sehr hohe Temperaturen könnten dagegen zu einer Reduzierung der individuellen UV-Strahlungsbelastung führen, da der Aufenthalt im Freien eher vermieden wird. Hierbei ist aber zu bedenken, dass Verhaltensänderungen durch individuelle Faktoren wie Wärmeaffinität, Freizeitgestaltung, Alter und Geschlecht unterschiedlich ausfallen können.

GESUNDHEITLICHE AUSWIRKUNGEN

In den letzten 30 Jahren hat sich in Deutschland die Inzidenz für den hellen Hautkrebs vervier- (Männer) bis verfünffacht (Frauen), für den schwarzen Hautkrebs (Melanom) seit den 1970er Jahren verfünffacht (Leitlinienprogramm Onkologie, 2021). Derzeit erkranken in Deutschland rund 300.000 Menschen neu an Hautkrebs (Katalinic, 2022). Die Krankenhausbehandlungen UV-bedingter Hautkrebserkrankungen stiegen zwischen 2000 und 2020 um 81 Prozent, die Todesfälle mit derzeit rund 4.000 Verstorbenen pro Jahr im selben Zeitraum um 53 Prozent (Statistisches Bundesamt, 2022b). Zwischen 2000 und 2020 sind rund 70.000 Menschen in Deutschland aufgrund UV-bedingtem Hautkrebs (Melanom und sonstigen bösartigen Neubildungen der Haut) gestorben (Statistisches Bundesamt, 2022a).

Inwieweit dieses Krankheitsgeschehen mit dem Einfluss des Klimawandels assoziiert ist, ist derzeit nicht eindeutig zuordenbar, aber es existieren Modellrechnungen bezüglich der Auswirkung reduzierten stratosphärischen Ozons und erhöhter Temperaturen auf das Hautkrebsgeschehen: 1 Prozent reduziertes stratosphärisches Ozon könnte demnach Inzidenzanstiege für Hautkrebserkrankungen bis 4,6 Prozent bedeuten (Lopez Figueroa, 2011). Werden die vollständige Einhaltung des Montrealer Protokolls und der Hauttyp berücksichtigt, deuten Modellierungen auf ein Plus von drei bis vier zusätzlichen Hautkrebsfällen pro 100.000 Einwohner und Jahr bis zum Ende des 21. Jahrhunderts für Westeuropa hin (van Dijk et al., 2013). Die mit dem Klimawandel einhergehende Temperaturerhöhung könnte ebenfalls Einfluss auf das Hautkrebsgeschehen haben. Hitzestress kann den programmierten Zelltod UV-geschädigter Zellen hemmen (Calapre et al., 2016), und eine Erhöhung der Umgebungstemperatur könnte die Inzidenz für den hellen Hautkrebs ansteigen lassen (van der Leun et al., 2008). Dies ist jedoch noch nicht abschließend geklärt. Zellstudien

und Tierexperimente zeigen nämlich auch, dass eine UV-induzierte DNA-Schädigung nach Vorbehandlung mit Wärme deutlich geringer ausfallen und eine verzögerte und geringere Tumorbildung (heller Hautkrebs) auftreten kann (Lan et al., 2017).

Für das individuelle UV-bedingte Krankheitsgeschehen ist die Art, wie sich der Mensch welcher starker UV-Strahlung aussetzt, ausschlaggebend. Dies ist ein wesentlicher Risikofaktor für Hautkrebserkrankungen. Ein Plattenepithelkarzinom (helle Hautkrebsart) zu entwickeln, hängt beispielweise von der UV-Dosis ab, der ein Mensch während seines Lebens ausgesetzt war (kumulative Dosis). Intermittierende UV-Expositionen und Sonnenbrände verdoppeln das Risiko, an schwarzem Hautkrebs (Melanom) zu erkranken – bei Kindern wird von einer Verdreifachung gesprochen (Leitlinienprogramm Onkologie, 2014; Leitlinienprogramm Onkologie, 2021).

GESUNDHEITSFÖRDERNDE PRÄVENTIONSMASS- NAHMEN

Geeignete Maßnahmen sind primärpräventive 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). Verhaltens- und verhältnispräventive Maßnahmen sollten sinnvoll ineinander greifen (Baldermann & Weiskopf, 2020; Leitlinienprogramm Onkologie, 2021). Zu den verhaltenspräventiven Maßnahmen gehören die Information über und die Anwendung von Schutzmaßnahmen entsprechend dem UV-Index. Verhältnispräventive Maßnahmen lassen sich grob in technische (z. B. Anzeige des UV-Index, Schaffung von Schattenoasen) und organisatorische Maßnahmen (z. B. Verschiebung der Aktivitäten im Freien auf Tageszeiten mit reduzierter UV-Belastung) unterteilen. Insgesamt sollen mit den

Maßnahmen die Voraussetzungen für einen bewussten Umgang mit Sonne und UV-Strahlung geschaffen und ein lebbarer UV-Schutz ermöglicht werden.

TABELLE I gibt einen Überblick über Maßnahmen, die in Kommunen, Gemeinden, Orten zum Schutz der Bevölkerung umgesetzt werden sollten. Weitere Maßnahmen und Handlungsempfehlungen sind unter anderem in der onkologischen S3-Leitlinie „Prävention von Hautkrebs“ (Leitlinienprogramm Onkologie, 2021) und in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland, Teilbericht 5 (Wolf et al., 2021) aufgeführt.

Eine sehr wichtige Maßnahme ist die Visualisierung der herrschenden UV-Bestrahlungsstärke in Form des UV-Index (BfS, 2023), da die UV-Strahlung für den Menschen nicht

wahrnehmbar ist und entsprechende Fehleinschätzungen des Gesundheitsrisikos allgegenwärtig sind. Der UV-Index ist nicht nur eine Orientierungshilfe für die zu erwartende sonnenbrandwirksame UV-Bestrahlungsstärke, sondern gibt auch Empfehlungen, ab welchen UV-Index-Werten welche Sonnenschutzmaßnahmen ergriffen werden sollten.

Einige Maßnahmen, wie zum Beispiel die Schaffung effektiver Schattenplätze, können gleichzeitig gesundheitsschädlichen Hitzebelastungen vorbeugen (Leitlinienprogramm Onkologie, 2021). Allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass gesundheitsrelevante UV-Bestrahlungsstärken auch dann herrschen können, wenn es kühl oder der Himmel bewölkt ist.

MASSNAHME	UMSETZUNG
Anzeige des UV-Index im öffentlichen Raum	<ul style="list-style-type: none"> ○ Anzeige des UV-Index im öffentlichen Raum (Freibäder, Badestellen, Stadtplätze, etc.): mittels Anzeigetafeln, auf denen der vorhergesagte UV-Index oder der sich über den Tag ändernde UV-Index eingetragen oder digital angezeigt wird.
Schaffung von Schattenplätzen überall dort, wo sich Menschen länger aufhalten (Kindertagesstätten, Schulen, Arbeitsplätze im Freien, Haltestellen des öffentlichen Verkehrs, Stadtparks, Freibäder, Sportplätze, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> ○ mittels baulich-technischer Maßnahmen: Überdachungen, Sonnensegel, Sonnenschirme, Markisen, etc. (Parisi & Turnbull, 2014) ○ mittels Baumpflanzung (s. hierzu die Straßenbaumliste der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) e. V.) in der Kommune, in Wartezonen des öffentlichen Nahverkehrs sowie in Kitas und Schulen. Bei Nutzung von Pflanzungen zur Schattengenerierung sind allergieauslösende Begrünungen zu vermeiden (Wolf et al., 2021).
Reduzierung UV-reflektierender Oberflächen	<ul style="list-style-type: none"> ○ Verwendung nicht reflektierender Oberflächen für Gebäudewände zur Reduzierung des Rückstrahlvermögens (Albedo) ○ Aufbau von Fassadenbegrünung ○ Entsigelung und Begrünung von Freiflächen
Zeiten für Aktivitäten unter freiem Himmel an UV-Strahlungsbelastung anpassen	<ul style="list-style-type: none"> ○ Veranstaltungen im Freien für den Nachmittag terminieren ○ Anpassung von Arbeitsabläufen (bei Arbeiten im Freien) und Tagesabläufen (z. B. für Kinder in Kindergärten und Schulen): ab einem UV-Index 3 zwischen 11 und 15 Uhr möglichst im Schatten und ab einem UV-Index 8 möglichst in Gebäuden sein ○ Sporttrainingszeiten / Sportveranstaltungen im Sommer auf Spätnachmittag / Abend verlegen ○ Ausflüge im Frühjahr oder Herbst planen

TABELLE I
 Konkrete verhältnispräventive Maßnahmen in Kommunen.

DISKUSSION UND FAZIT

Die bisherigen Erkenntnisse zeigen, dass der Klimawandel auch in Deutschland die UV-Strahlungsbelastung beeinflusst. Plötzlich hohe UV-Strahlungsintensitäten aufgrund von Niedrigozonereignissen, kaum Bewölkung und damit steigende Anzahl an Sonnenstunden und viele warme Tage, an denen man gerne draußen ist – das alles kann das UV-bedingte Erkrankungsrisiko eines jeden Einzelnen erhöhen. Es besteht dringender Handlungsbedarf.

Umfragen verdeutlichen dies zusätzlich. So zeigen vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in Auftrag gegebene Umfragen, dass verhältnispräventive Maßnahmen wie das Einrichten von Schattenplätzen immer weniger vorgefunden werden, je älter die Kinder in den Einrichtungen sind (Hanewinkel et al., 2022). Und obwohl das Risiko durch UV-Strahlung sowie mögliche Schutzmaßnahmen bekannt sind, wird oft nicht danach gehandelt (Huber et al., 2022).

Es ist darum geboten, jetzt zu handeln, zumal die deutschlandweite Etablierung effektiver und nachhaltiger verhaltens- und verhältnispräventiver Maßnahmen Zeit in Anspruch nimmt. Dies kann auf den ersten Blick kostspielig erscheinen, aber internationale gesundheitsökonomische Studien zeigen, dass das Doppelte bis Vierfache der in Präventionsmaßnahmen investierten Kosten eingespart werden kann (Leitlinienprogramm Onkologie, 2021).

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 (Strahlenschutzkommission, 2016).

Eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen für die effektive und nachhaltige Etablierung primärpräventiver Maßnahmen zur Vorbeugung UV-bedingter Erkrankungen ist die politische und programmatische

Verankerung. Anbieten würde sich hier das Präventionsgesetz. Bemühungen zur Umsetzung einer solchen politischen Verankerung zeigten bisher jedoch nicht den erwünschten Erfolg. Hier ist noch ein weiter Weg zu gehen, damit UV-Schutz in den Lebenswelten der Menschen eine Selbstverständlichkeit wird.

LITERATUR

- Baldermann, C., & Lorenz, S. (2019). UV-Strahlung in Deutschland: Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 62(5), 639–645. <https://doi.org/10.1007/s00103-019-02934-w>
- Baldermann, C., & Weiskopf, D. (2020). Verhaltens- und Verhältnisprävention Hautkrebs. *Der Hautarzt*, 71(8), 572–579. <https://doi.org/10.1007/s00105-020-04613-3>
- Ball, W. T., Alsing, J., Mortlock, D. J. et al. (2018). Evidence for a continuous decline in lower stratospheric ozone offsetting ozone layer recovery. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(2), 1379–1394. <https://doi.org/10.5194/acp-18-1379-2018>
- BfS – Bundesamt für Strahlenschutz. (2023). *UV-Index*. Abgerufen am 20. Februar 2023 von https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-index_node.html
- Calapre, L., Gray, E. S., Kurdykowski, S. et al. (2016). Heat-mediated reduction of apoptosis in UVB-damaged keratinocytes in vitro and in human skin ex vivo. *BMC Dermatology*, 16(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s12895-016-0043-4>
- DWD – Deutscher Wetterdienst. (2023). *Zeitreihen und Trends*. Abgerufen am 20. Februar 2023 von <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>
- El Ghissassi, F., Baan, R., Straif, K. et al. (2009). A review of human carcinogens – part D: radiation. *Lancet Oncol*, 10(8), 751–752. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(09\)70213-x](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(09)70213-x)
- Fountoulakis, I., Diémoz, H., Siani, A.-M. et al. (2019). Solar UV Irradiance in a Changing Climate: Trends in Europe and the Significance of Spectral Monitoring in Italy. *Environments*, 7. <https://doi.org/10.3390/environments7010001>
- Hanewinkel, R., Janssen, J., Hübner, I.-M. et al. (2022). Schattenplätze zur Hautkrebsprävention in Kindertagesstätten und Schulen. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 65, 1324–1333. <https://doi.org/10.1007/s00103-022-03616-w>

- Huber, L., Jerkovic, T., Marczuk, L. et al. (2022). *Was denkt Deutschland über Strahlung? Vorhaben 3621572210* (BFS-RESFOR-201/22). (Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz ; 201/22, Issue. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2022081833825>
- Katalinic, A. (2022). *Update – Prognose und Zahlen zu Hautkrebs in Deutschland*. https://www.krebsregister-sh.de/wp-content/uploads/2022/04/Zahlen_Hautkrebs_2022-1.pdf
- Lan, C. E., Wang, Y. T., Lu, C. Y. et al. (2017). The effect of interaction of heat and UVB on human keratinocyte: Novel insights on UVB-induced carcinogenesis of the skin. *J Dermatol Sci*, 88(2), 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2017.06.015>
- Leitlinienprogramm Onkologie. (2021). S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 2.0. In (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF) (Ed.). Abgerufen am 20.02.2023 von <https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebs-praevention/>
- Leitlinienprogramm Onkologie. (2014). S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 1.1. In (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF) (Ed.). Abgerufen am 20. Februar 2023 von <http://leitlinienprogramm-onkologie.de/Leitlinien.7.0.html>
- Lopez Figueroa, F. (2011). Climate Change and the Thinning of the Ozone Layer: Implications for Dermatology. *Actas dermo-sifiliográficas*, 102, 311-315. [https://doi.org/10.1016/S1578-2190\(11\)70813-7](https://doi.org/10.1016/S1578-2190(11)70813-7)
- Neale, R. E., Barnes, P. W., Robson, T. M. 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. <https://doi.org/10.1007/s43630-020-00001-x>
- Parisi, A. V., & Turnbull, D. J. (2014). Shade provision for UV minimization: a review. *Photochem Photobiol*, 90(3), 479–490. <https://doi.org/10.1111/php.12237>
- Statistisches Bundesamt. (2022a). *Genesis-Datenbank – Todesursachenstatistik. 23211-0001: Gestorbene: Deutschland, Jahre, Todesursachen; Melanom und sonstige bösartige Neubildungen der Haut*. Statistisches Bundesamt. Abgerufen am 12. August 2022 von <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>
- Statistisches Bundesamt. (2022b). *Hautkrebs führte im Jahr 2020 zu 81 % mehr Krankenhausbehandlungen und 53 % mehr Todesfällen als im Jahr 2000*. Statistisches Bundesamt. Abgerufen am 6. April 2022 von https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/04/PD22_N018_231.html
- Strahlenschutzkommission. (2016). Empfehlung der Strahlenschutzkommission „Schutz des Menschen vor den Gefahren solarer UV-Strahlung und UV-Strahlung in Solarien“. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2016/2016-02-11%20Empf_UV-Schutz_KT.html?nn=2241510
- UNEP – United Nations Environment Programme. (1998). Environmental effects of ozone depletion: 1998 assessment. UNEP.
- van der Leun, J. C., Piacentini, R. D., & de Gruijl, F. R. (2008). Climate change and human skin cancer. *Photochem Photobiol Sci*, 7(6), 730–733. <https://doi.org/10.1039/b719302e>
- van Dijk, A., Slaper, H., den Outer, P. N. 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. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2012.01223.x>
- Vitt, R., Laschewski, G., Bais, A. F. et al. (2020). UV-Index Climatology for Europe Based on Satellite Data. *Atmosphere*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/atmos11070727>
- von der Gathen, P., Kivi, R., Wohltmann, I. et al. (2021). Climate change favours large seasonal loss of Arctic ozone. *Nature Communications*, 12(1), 3886. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24089-6>
- 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. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-5-Wirtschaft-Gesundheit>
- WHO – World Health Organization, W. M. O., United Nations Environment, Programme, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2002). Global solar UV index : a practical guide. Geneva. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42459>
- WMO – World Meteorological Organization. (2022). Executive Summary - Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022. GAW Report No. 278, 56 pp. <https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>, <https://www.csl.noaa.gov/assessments/ozone/2022>

KONTAKT

Dr. Cornelia Baldermann
Bundesamt für Strahlenschutz
Fachgebiet WR 4 Optische Strahlung
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim
E-Mail: cbaldermann@bfs.de

[BFS]

