



Bundesamt
für Strahlenschutz

UV-Strahlung Klimawandel – Gesundheitsfolgen – Präventionsmaßnahmen –

Dr. Cornelia Baldermann

UV-Tagung 2024, Krebsliga Schweiz, Schweizerisches Bundesamt für Gesundheit BAG

25. April 2024, Bern



Inhaltsübersicht

UV-Strahlung – Gesundheitliche Wirkungen – Kurzüberblick

Klimawandel: UV-beeinflussende Faktoren

Prävention UV-bedingter Erkrankungen

Handlungsempfehlungen



Inhaltsübersicht

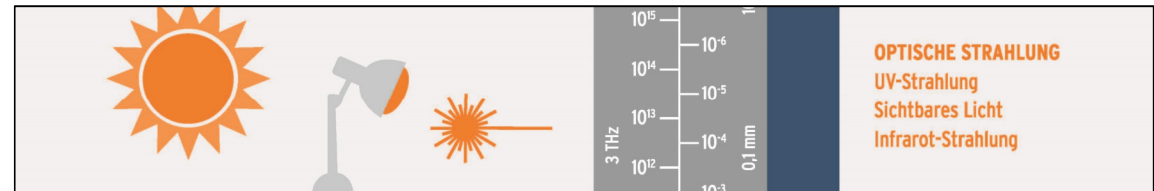
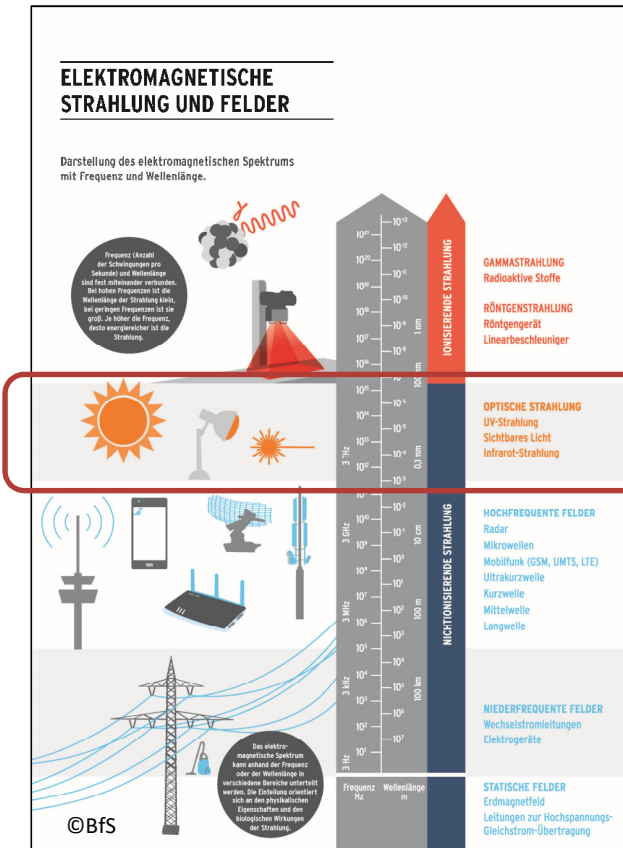
UV-Strahlung – Gesundheitliche Wirkungen – Kurzüberblick

Klimawandel: UV-beeinflussende Faktoren

Prävention UV-bedingter Erkrankungen

Handlungsempfehlungen

Optische Strahlung im Elektromagnetischen Spektrum



Optische Strahlung

- ist Teil des elektromagnetischen Spektrums.
- liegt zwischen den Energiebereichen der elektromagnetischen Felder und der ionisierenden Strahlung.
- ist unterteilt in:
 - ultraviolette Strahlung (UV),
 - sichtbares Licht (VIS), und
 - Infrarotstrahlung (IR).

Die natürliche Quelle optischer Strahlung ist die Sonne.



Überblick über Wirkungen der UV-Strahlung

	Akute, sofortige Wirkungen	Langzeitwirkungen / Spätfolgen
Haut	<ul style="list-style-type: none">• DNA-Schäden• Zelltod/Apoptose• Erytheme (Sonnenbrand)• Selbstschutz der Haut (Bräunung, Lichtschwiele)• Immunsuppression• Fotoallergische / Fototoxische Reaktionen• Vitamin D Bildung	<ul style="list-style-type: none">• vorzeitige Hautalterung• Hautkrebs (BCC, SCC, malignes Melanom)
Auge	<ul style="list-style-type: none">• Horn- oder Bindehautentzündungen (Fotokeratitis, -konjunktivitis)• Schäden an der Netzhaut (UV-A)	<ul style="list-style-type: none">• Katarakt („grauer Star“)• Tumore am Augenlid (BCC, SCC)• Zubildungen an der Hornhaut (Pterygium)• Degenerative Netzhauterkrankungen?



Klassifizierung durch Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC)

Group	Classification	Example	Number of the classified agents																																																
1	Carcinogenic to humans	Arsenic, asbestos, ionising radiation, radionuclides, ... UV radiation 100nm – 400 nm (UVA,UVB,UVC) UV radiation emitting tanning devices	108																																																
2A	Probably carcinogenic to humans	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tobacco, smokeless</td> <td>1</td> <td>89, 100E</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>Tobacco smoke, second-hand</td> <td>1</td> <td>83, 100E</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>Tobacco smoking</td> <td>1</td> <td>83, 100E</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>000095-53-4 <i>ortho</i>-Toluidine</td> <td>1</td> <td>77, 99, 100F</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>000299-75-2 Treosulfan</td> <td>1</td> <td>26, Sup 7, 100A</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>Ultraviolet radiation (wavelengths 100-400 nm, encompassing UVA, UVB, and UVC)</td> <td>1</td> <td>100D</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>Ultraviolet-emitting tanning devices</td> <td>1</td> <td>100D</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>000075-01-4 Vinyl chloride</td> <td>1</td> <td>97, 100F</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>Wood dust</td> <td>1</td> <td>62, 100C</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>X- and Gamma-Radiation</td> <td>1</td> <td>75, 100D</td> <td>2012</td> </tr> <tr> <td>000079-06-1 Acrylamide (NB: Overall evaluation upgraded to Group 2A with supporting evidence from other relevant data)</td> <td>2A</td> <td>60</td> <td>1994</td> </tr> <tr> <td>023214-92-8 Adriamycin</td> <td>2A</td> <td>10, Sup 7</td> <td>1987</td> </tr> </tbody> </table>	Tobacco, smokeless	1	89, 100E	2012	Tobacco smoke, second-hand	1	83, 100E	2012	Tobacco smoking	1	83, 100E	2012	000095-53-4 <i>ortho</i> -Toluidine	1	77, 99, 100F	2012	000299-75-2 Treosulfan	1	26, Sup 7, 100A	2012	Ultraviolet radiation (wavelengths 100-400 nm, encompassing UVA, UVB, and UVC)	1	100D	2012	Ultraviolet-emitting tanning devices	1	100D	2012	000075-01-4 Vinyl chloride	1	97, 100F	2012	Wood dust	1	62, 100C	2012	X- and Gamma-Radiation	1	75, 100D	2012	000079-06-1 Acrylamide (NB: Overall evaluation upgraded to Group 2A with supporting evidence from other relevant data)	2A	60	1994	023214-92-8 Adriamycin	2A	10, Sup 7	1987	
Tobacco, smokeless	1	89, 100E	2012																																																
Tobacco smoke, second-hand	1	83, 100E	2012																																																
Tobacco smoking	1	83, 100E	2012																																																
000095-53-4 <i>ortho</i> -Toluidine	1	77, 99, 100F	2012																																																
000299-75-2 Treosulfan	1	26, Sup 7, 100A	2012																																																
Ultraviolet radiation (wavelengths 100-400 nm, encompassing UVA, UVB, and UVC)	1	100D	2012																																																
Ultraviolet-emitting tanning devices	1	100D	2012																																																
000075-01-4 Vinyl chloride	1	97, 100F	2012																																																
Wood dust	1	62, 100C	2012																																																
X- and Gamma-Radiation	1	75, 100D	2012																																																
000079-06-1 Acrylamide (NB: Overall evaluation upgraded to Group 2A with supporting evidence from other relevant data)	2A	60	1994																																																
023214-92-8 Adriamycin	2A	10, Sup 7	1987																																																
2B	Possible carcinogenic to humans																																																		
3	Unclassifiable as to carcinogenicity in humans																																																		
4	Probably not carcinogenic to humans																																																		



Bisherige Entwicklung gesundheitlicher Folgen in Deutschland - Hautkrebs

- **Inzidenz:**
 - für den hellen Hautkrebs in den letzten 30 Jahren: vervier- (Männer) bis verfünffacht (Frauen),
 - für den Schwarzen Hautkrebs (Melanom) seit den 1970-er Jahren: verfünffacht ¹⁾
- **Derzeitige Neu-Erkrankungsrate:** derzeit rund 300.000 Menschen pro Jahr²⁾.
- **Krankenhausbehandlungen:** zwischen 2001 und 2021 um 75 % gestiegen ³⁾,
- **Todesfälle:** derzeit rund 4.100 pro Jahr; zwischen 2001 und 2021 um 55 % gestiegen ³⁾
- **Tote Hautkrebs** (2000 – 2020): rund 70.000
Tote Hitze (2000 – 2020): rund 65.100 ⁴⁾

1) Leitlinienprogramm Onkologie, 2021; 2) Katalinic 2022; 3) Statistisches Bundesamt, 2023; 4) Winklmayr et al., 2022



Risikofaktoren für Hautkrebs^{*)}

Heller Hautkrebs (BZK, PEK)	Schwarzer Hautkrebs (MM)
Angeborene Risikofaktoren:	Angeborene Risikofaktoren
<ul style="list-style-type: none">• Hauttyp	<ul style="list-style-type: none">• Hauttyp• (große) kongenitale Nävi
Erworbene Risikofaktoren:	Erworbene Risikofaktoren:
<ul style="list-style-type: none">• Aktinische Keratosen• Heller Hautkrebs• Immunsuppression• Röntgenkombinationsschaden	<ul style="list-style-type: none">• Melanome in der Vorgeschichte• Melanom in der Familie• Anzahl erworbener Nävi• klinisch atypische Pigmentmale
UV-Expositionsmuster:	UV-Expositionsmuster:
<ul style="list-style-type: none">• PEK: Lebenszeitdosis• BZK: intermittierende UV-Exposition, Sonnenbrände	<ul style="list-style-type: none">• intermittierende UV-Exposition• Sonnenbrände (in jedem Alter)

Quelle: Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF): S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 2.1, 2021, AWMF Registernummer: 032/052OL, <https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebs-praevention/> (abgerufen am: 04.12.2023)



Inhaltsübersicht

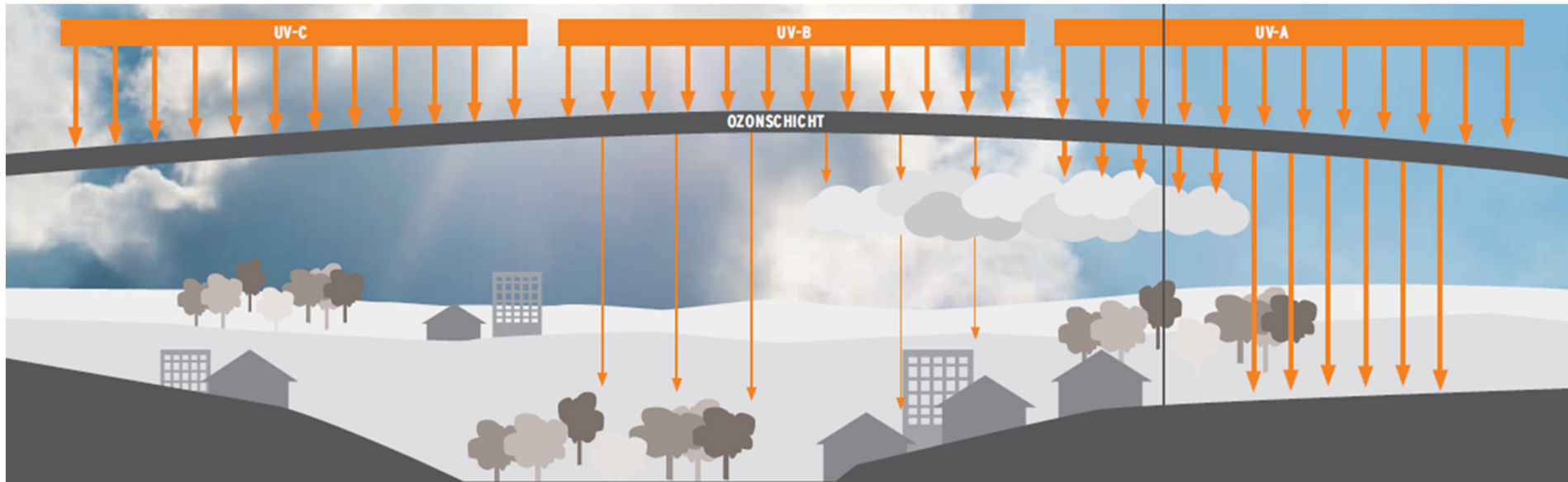
UV-Strahlung – Gesundheitliche Wirkungen – Kurzüberblick

Klimawandel: UV-beeinflussende Faktoren

Prävention UV-bedingter Erkrankungen

Handlungsempfehlungen

Wieviel UV-Strahlung erreicht die Erde?



Bei wolkenlosem Himmel erreicht:

- **UV-C-Strahlung zu 0% die Erdoberfläche.**
- **UV-B-Strahlung zu \approx 9-10% die Erdoberfläche.**
- **UV-A-Strahlung zu 100% die Erdoberfläche.**

=> Ein **Abbau der stratosphärischen Ozonschicht** bedeutet einen **Anstieg der UV-B-Bestrahlungsstärke.**

Abbau stratosphärischen Ozons - global



Anstieg UV¹⁾:

⇒ Mittl. Breitengrade der nördlichen Hemisphäre (35°N-60°N):
≈ 7% im Winter/Frühling ≈ 4% im Sommer/Herbst

1) van der Leun et al., 1998, Vitt et al., 2020

Erholung²⁾:

- Global (außerhalb der Tropen): auf 1960-er Level bis 2100
- Mittl. BG nördl. Hemisphäre: auf 1980-er Level bis 2030

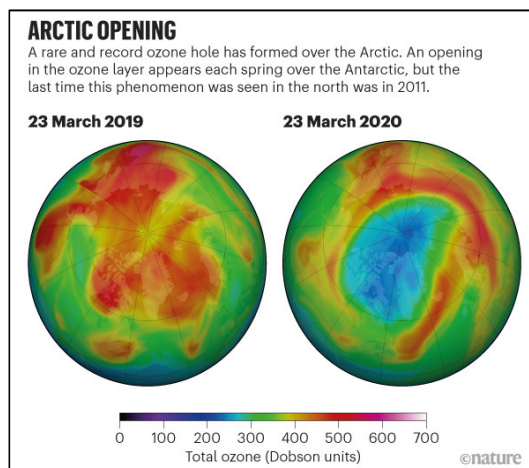
2) Bais et al., 2018; WMO, 2018

Unsicherheiten bzgl. Erholung: Komplexe Wechselwirkungen zwischen Treibhausgasen und der stratosphärischen Ozonschicht könnten einer Erholung der Ozonschicht entgegen wirken.
UV-Bestrahlungsstärke würde auf erhöhtem Niveau bleiben.

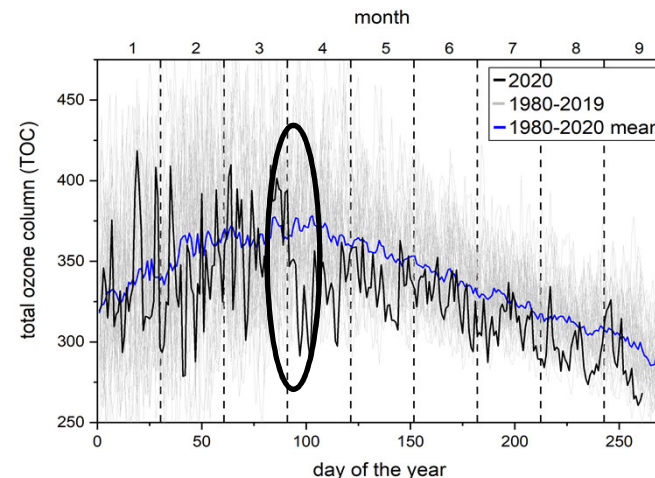
Abbau stratosphärischen Ozons - Arktis -> Niedrigozonereignisse

- 1) Arnone et al., 2012
- 2) Reid et al., 2000; Stenke and Grewe, 2003; Brönnimann and Hood, 2003; Rex et al., 2006
- 3) von der Gathen et al., 2021

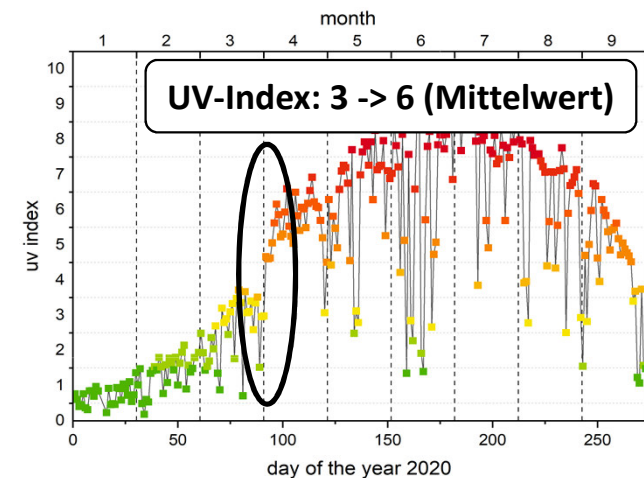
- Lange, kalte arktische Winter begünstigen Bildung stabiler Polarwirbel und damit Ozonabbau über der Arktis¹⁾.
- **Häufigkeit** solch kalter arktischer Winter hat in den letzten zwei Jahrzehnten **zugenommen**²⁾.
- Treibhausgase begünstigen Abkühlung der Stratosphäre und damit große saisonale Ozonverluste über der Arktis³⁾.
- Mit Aufbrechen des Polarwirbels (Ende Winter) => ozonarme Luftmassen trafen nach Süden
- => Niedrig-Ozon-Ereignisse Ende März / Anfang April auch in Deutschland => gesundheitlich relevant!



Quelle: Witze A., 2020



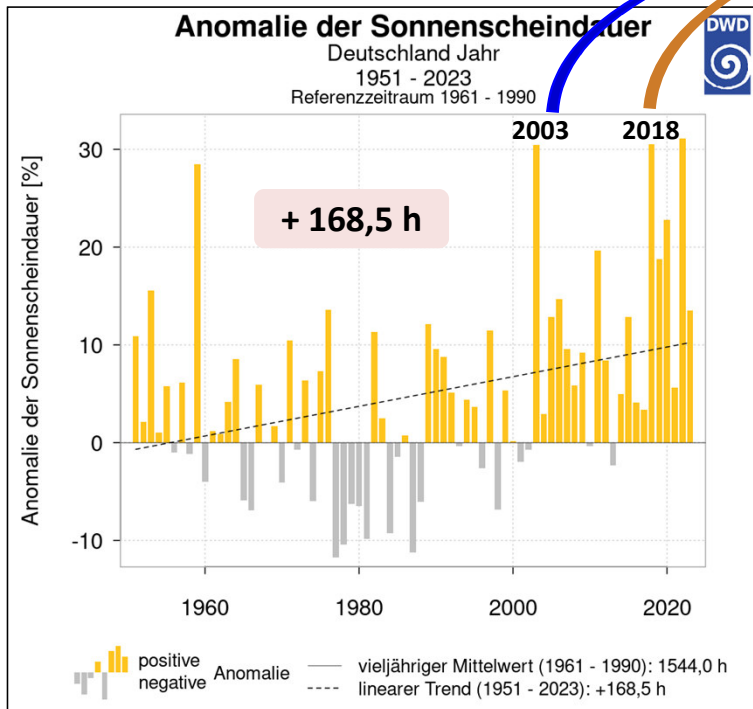
Datenquelle: van Geffen et al., 2017; TOC München; Evaluierung: BfS



Datenquelle: UV Monitoring Netzwerk Deutschland; Auswertung: BfS



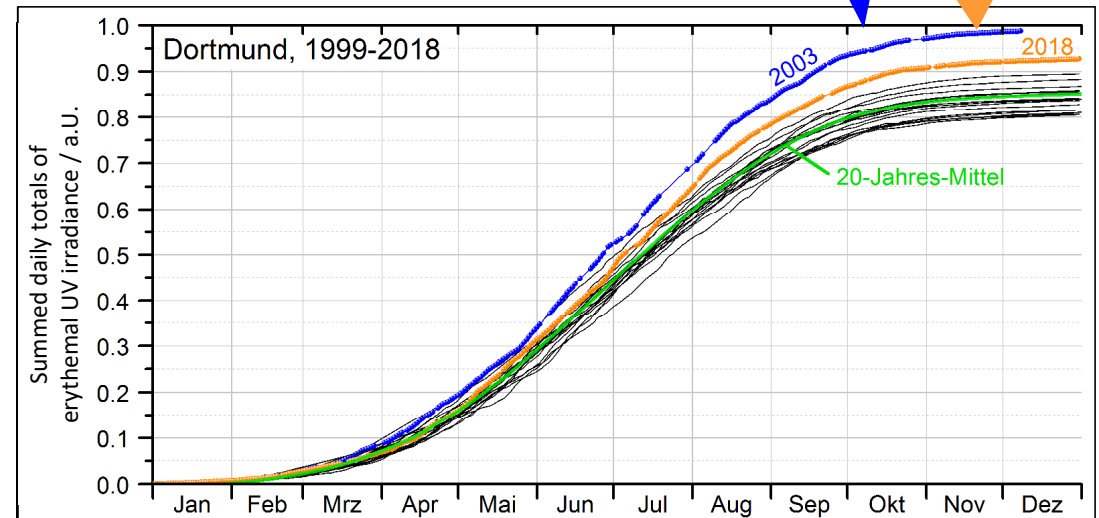
Veränderte Bewölkungssituation



Bildquelle: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>

„ Langfristige Änderung der UV-Strahlung besonders durch Schwankungen der Wolkenbedeckung, der Aerosole und des Oberflächenreflexionsvermögens¹⁾.“

1) Neale et al., 2021



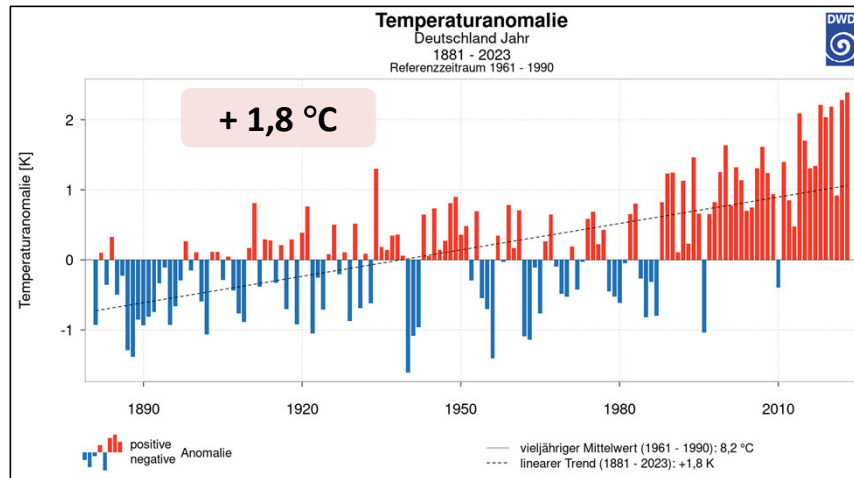
Bildquelle: Baldermann & Lorenz, 2019

Datenquelle: UV Monitoring Netzwerk Deutschland; Auswertung durch das BfS;

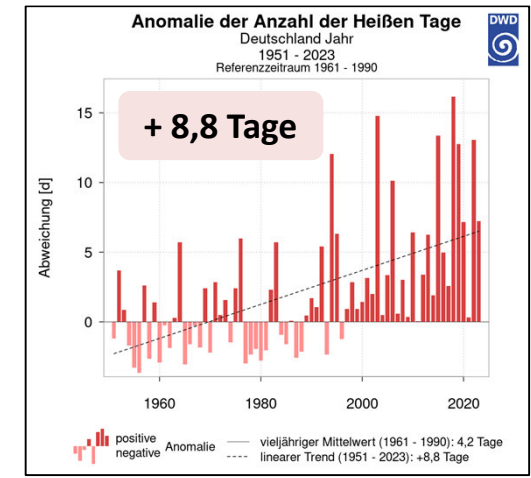
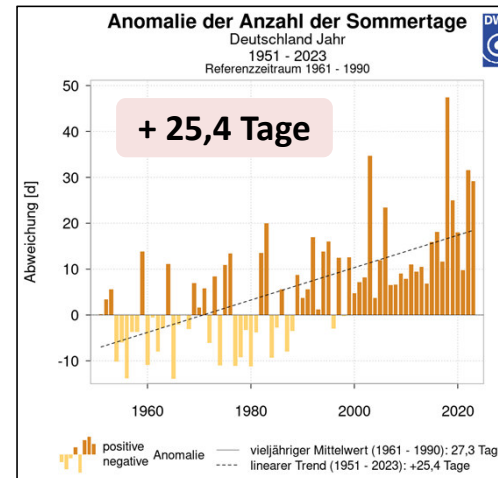
Klimawandel in Deutschland: Zunahme der Sonnenstunden und Abnahme der Wolkenbedeckung. Dies erhöht die potenzielle jährliche UV-Belastung und damit das Risiko für UV-bedingte Erkrankungen.



Deutschland wird wärmer ...



Bildquelle: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>



Temperatur beeinflusst das menschliche Verhalten¹⁾:

- Bei thermischem Komfort bis hin zu leichter Wärmebelastung können Aktivitäten im Freien zunehmen¹⁾.
- Anstieg Aufenthaltszeit im Freien bei wärmerem Wetter dürfte in mittleren und höheren Breitengraden am stärksten sein²⁾³⁾.
- Bei Hitze könnten Aktivitäten im Freien vermieden werden¹⁾.

Höhere Temperaturen könnte Anzahl an UV-bedingten Krebserkrankungen erhöhen.

1) Leitlinienprogramm Onkologie, 2021

2) Elnabawi and Hamza, 2019;

3) Makin, 2011; Bélanger et al., 2009



Gesundheitliche Folgen des Klimawandels - Hautkrebs

Stratosphärischer Ozonabbau	Temperatur
<p>1% Abnahme der Ozonschichtdicke bedeutet :</p> <ul style="list-style-type: none">• Anstieg Melanomainzidenz: 1% -> 2%,• Anstieg Plattenepithelkarzinominzidenz: 3% -> 4.6%,• Anstieg Basalzellkarzinominzidenz: bis zu 2.7%¹⁾	<p>Wissenschaftliche Studien zeigen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Hitzeexposition führt zu einer Verringerung des p53-vermittelten Zellzyklusstopps und der Apoptose in UV-B-exponierten Zellen³⁾.• DNA-geschädigte Zellen überleben besser³⁾.
<p>Simulationen für das späte 21. Jahrhundert zeigen bei Berücksichtigung des Hauttyps²⁾:</p> <ul style="list-style-type: none">• + 200 Fälle pro Million Personen und Jahr in Australia• + 100-150 in Neuseeland• + 30-40 in West-Europa• + 90-100 im Mittelmeerraum	<p>Schätzungen prognostizieren:</p> <p>➤ Anstieg der Umgebungstemperatur um 2°C erhöht Hautkrebsinzidenz bis 2050 weltweit um 11 % ⁴⁾.</p>

1) López Figueroa, 2011; 2) van Dijk et al., 2013

3) Calapre et al., 2016; 4) van der Leun and de Gruij, 2002



Kernaussagen zu Klimawandel und UV-Strahlung

UV-bedingte Hautkrebsinzidenzen steigen seit Jahrzehnten an.

Der Klimawandel beeinflusst in Deutschland die UV-Belastung und verschärft dieses Problem.

Deutschlandweite Etablierung effektiver Präventionsmaßnahmen dringend geboten.

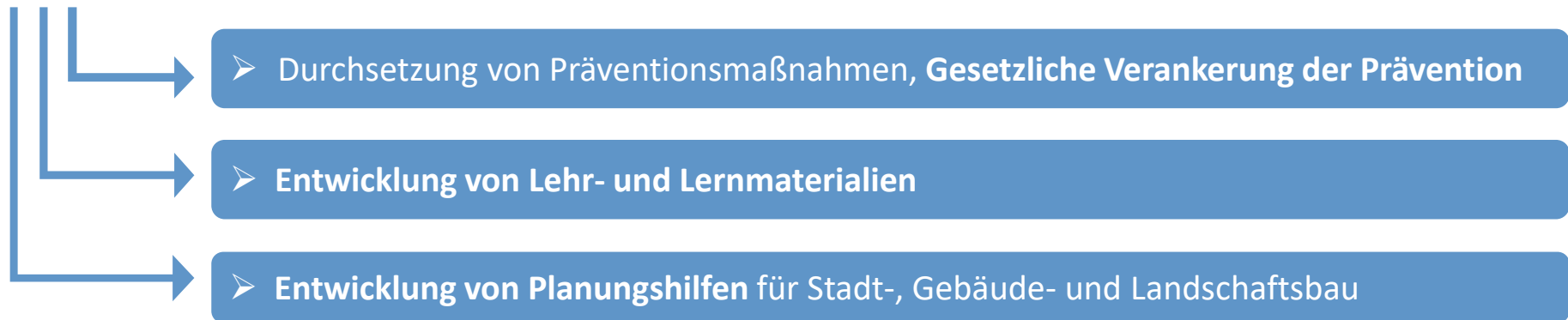
Deutschlandweite Etablierung effektiver Präventionsmaßnahmen nimmt Jahre in Anspruch.

Gemeinschaftliches, überbehördliches Handeln unter Nutzung von Synergien dringend geboten.

Einige Maßnahmen bergen Synergieeffekte zum Hitzeschutz.

Reaktionen auf wissenschaftlicher Ebene (Deutschland)

- Thema „Klimawandel“ im Positionspapier der UV-Schutz-Bündnis¹⁾ (2017) verankert => Forderung nach bundesweiter Etablierung verhältnispräventiver Maßnahmen in Synergie zu verhaltenspräventiven Maßnahmen
- „Klimawandel und UV-Strahlung“ neues Kapitel in der onkologischen S3-Leitlinie "Prävention von Hautkrebs" (2021) ²⁾

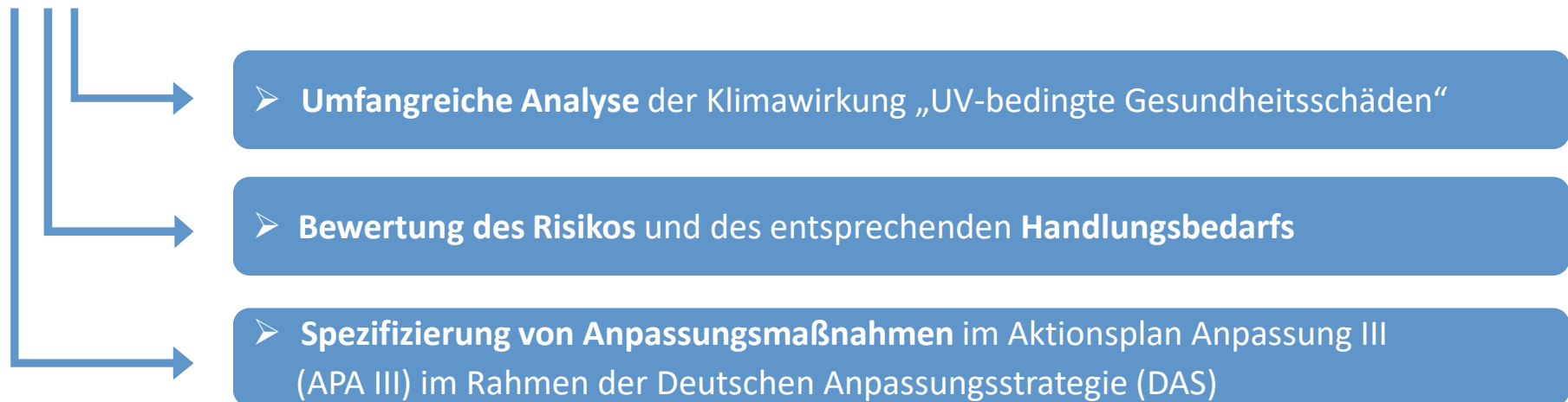


1) https://www.bfs.de/EN/topics/opt/uv/alliance/alliance_node.html

2) Leitlinienprogramm Onkologie, 2021

Reaktionen auf politischer Ebene (Deutschland)

- Klimawirkung „UV-bedingte Gesundheitsschäden“ neu aufgenommen in der **Deutschen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (DAS)**
- Bestandteil der **Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021** für Deutschland





Inhaltsübersicht

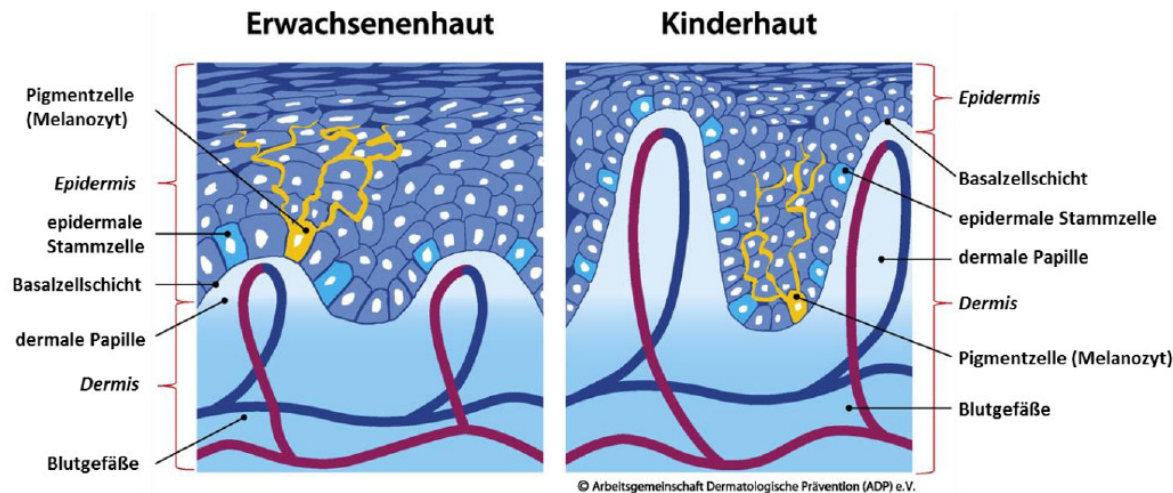
UV-Strahlung – Gesundheitliche Wirkungen – Kurzüberblick

Klimawandel: UV-beeinflussende Faktoren

Prävention UV-bedingter Erkrankungen

Handlungsempfehlungen

Alle, aber insbesondere Kinder, sind zu schützen!



- Teile der Basalzellschicht mit Stammzellen und pigmentbildende Melanozyten (Zielzellen für UV-induzierte Hautkrebsentstehung) sind der eindringenden UV-Strahlung stärker ausgesetzt.
- Zu viel UV => Neubildung Muttermale => erhöhtes Risiko für schwarzen Hautkrebs.
- Lebenslange Schadensakkumulation!
- Schwere Sonnenbrände in der Kindheit erhöhen das Risiko für schwarzen Hautkrebs um das 2 – 3-fache.

Risiko Risikowahrnehmung

Repräsentative Umfragen zeigen: Gesundheitsrisiken durch UV-Strahlung sind allgemein bekannt.
Aber: Das entsprechende Verhalten fehlt!

➔ **Stop des Aufwärtstrends der Hautkrebsneuerkrankungen durch PRÄVENTION!!**

Prävention: Alle Maßnahmen und Verhaltensweisen, die dazu geeignet sind, einer Krankheit vorzubeugen oder ihren Verlauf zu verlangsamen.

➔ **Gesundheitsbewusstes Verhalten fördern!**
-> **Verhaltens**prävention

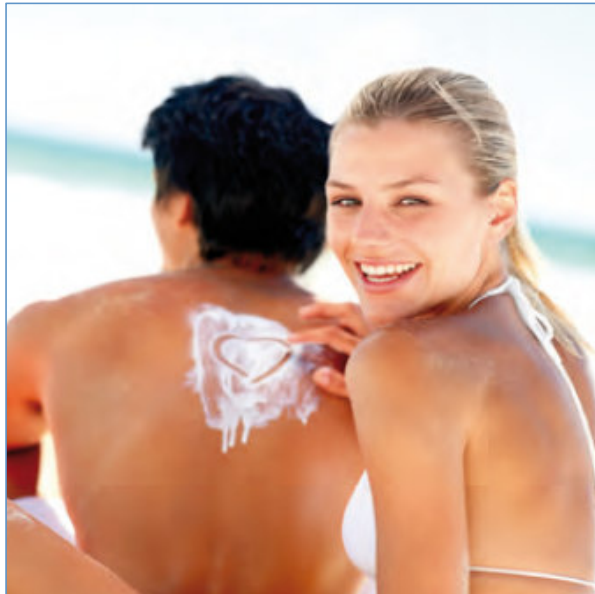
➔ **UV-Schutz in Lebenswelten etablieren!**
-> **Verhältnis**prävention

Verhaltensprävention alleine ist zu wenig

- Verhaltenspräventive Ansätze laufen ins Leere, wenn die äußeren Umstände, die Verhältnisse, nicht stimmen, beispielsweise, wenn man Schatten aufsuchen sollte, aber kein Schatten gegeben ist, oder Tagesabläufe zu einem Aufenthalt in der prallen Sonne zwingen.
- Problematisch ist dies in allen Lebenswelten, vor allem **Kindergarten, Schule, Sportvereine** und **Außenarbeitsplatz**.

Verhaltens- und verhältnispräventive Maßnahmen sind zu ergreifen ...

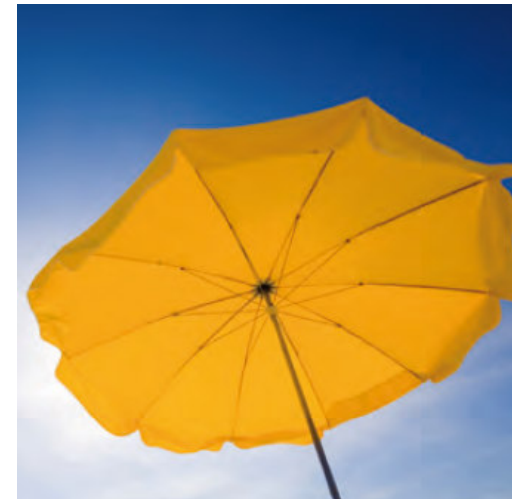
... und landesweit, sozial gerecht zu etablieren.



Verhältnisprävention

Verhältnisprävention zielt auf die Veränderung von technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen des gesellschaftlichen Umfeldes und der Umwelt zur Vorbeugung von Krankheiten.

- **Öffentliche Anzeige des UV-Index**
- **Aufbau geeigneter UV-Schutz-Strukturen**, z.B. Schattenoasen
- **Anpassung der Tagesaktivitäten an UV-Index**
- **Bereitstellung von Mitteln/Werkzeugen** zur Optimierung des UV-Schutzes
- **Gesetzliche Verankerung** der Prävention UV-bedingter Erkrankungen
- **Berücksichtigung in Verordnungen, Vorschriften, Richtlinien und Normen** z.B. für Gebäudeplanung, Städteplanung, Gartenbau, etc.



Ziel: Nachhaltiger UV-Schutz für alle in ihren Lebenswelten.



Inhaltsübersicht

UV-Strahlung – Gesundheitliche Wirkungen – Kurzüberblick

Klimawandel: UV-beeinflussende Faktoren

Prävention UV-bedingter Erkrankungen

Handlungsempfehlungen



Verhaltenspräventive Maßnahmen – Handlungsempfehlungen Länder / Kommunen

Integration des Themas „UV-Schutz“ in:

- **Frühkindliche Erziehung und Schulunterricht:** Entspr. Ergänzung von Lehr-, Erziehungs- und Bildungspläne
- **Ausbildung anzusprechender Berufsbilder:** Entspr. Ergänzung von Lehr-, Studien-, Ausbildungs- und Fortbildungsplänen

Entwicklung, Evaluierung und Optimierung von Informations- und Schulungsangeboten für:

- **Kinder und Jugendliche in Kita und Schule:** Pädagogisch begleitete Information und Aufklärung unter Einbeziehung der Eltern (Beispiele: „Clever in Sonne und Schatten“ (<https://www.unserehaut.de/de/Lebenswelten/Clever-in-Sonne-und-Schatten.php>), SunPass-Projekt (<https://www.krebsgesellschaft.de/deutsche-krebsgesellschaft/praevention/sunpass.html>))
- **Jugendliche in Schule und Beruf:** Iterative, multimediale, interaktiv gestaltete Multikomponenten-Interventionen
- **Vulnerable Bevölkerungsgruppen:** Erstellen / bedarfsorientierte Verbreitung zielgruppenspezifischer Infomaterialien
- **Sozial-, Gesundheits- und Pflegebereich:** Konzeptionierung angepasster Weiterbildungsmaßnahmen



Verhältnispräventive Maßnahmen – Handlungsempfehlungen Länder / Kommunen

- **Verhältnispräventive UV-Schutz-Maßnahmen ...**
 - ... im Rahmen von **Hitzeaktionsplänen** umsetzen
 - ... in **Förderprogramme für Klimawandelanpassungsmaßnahmen und Städtebauförderung** integrieren
 - ... in **kommunale Ausschreibungen für Städtebau, Stadt- / Gebäudeplanung und Landschaftsbau** integrieren
- Eruieren und etablieren von **Schnittstellen und Andockpunkten in (Planungs-) Prozesse für Städtebau, Stadt- und Gebäudeplanung**
- Einbettung gebietsbezogener Aktivitäten zur Reduzierung gesundheitsrelevanter UV-Belastungen in **gebietsübergreifende Entwicklungspolitik**



Verhältnisprävention konkret: Empfohlene Maßnahmen für Kommunen

- ✓ **UV-Index-Anzeige im öffentlichen Raum** (Freibäder, Badestellen, Stadtplätze, etc.)
- ✓ **Schaffung von Schattenplätzen** mittels baulich-technischer Maßnahmen (Überdachungen, Sonnensegel, Sonnenschirme, Markisen, etc.) sowie Baumpflanzung (s. hierzu die Straßenbaumliste der Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz e. V.) in der Kommune, in Wartezonen des öffentlichen Nahverkehrs sowie in Kitas und Schulen
- ✓ **Reduzierung des Rückstrahlvermögens (Albedo)** durch:
 - Aufbau von Fassadenbegrünung
 - Entsiegelung und Begrünung von Freiflächen
 - Verwendung nicht reflektierender Oberflächen für Gebäudewände
- ✓ **Anpassung von Tagesabläufen und Außenaktivitäten an den UV-Index**
- ✓ **Zielgruppenspezifische Information der Bürgerinnen und Bürger**



Weitere Informationen online:

- **RKI Sachstandsbericht II:** Auswirkungen durch veränderte UV-Strahlung; www.rki.de/klimabericht
- **BfS Internet: Klimawandel und UV:** https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/klimawandel-uv/klimawandel-uv_node.html
- **BfS UV-Kampagne:** www.bfs.de/uv-sicher





Referenzen:

- Arnone E, Castelli E, Papandrea E, Carlotti M, Dinelli BM (2012) Extreme ozone depletion in the 2010-2011 Arctic winter stratosphere as observed by MIPAS/ENVISAT using a 2-D tomographic approach. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12:9149-9165.
- 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* 17:127-179.
- Baldermann C, Lorenz S (2019) [UV radiation in Germany: influences of ozone depletion and climate change and measures to protect the population]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 62:639-645.
- 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
- Bélangier M, Gray-Donald K, O’loughlin J, Paradis G, Hanley J (2009) Influence of weather conditions and season on physical activity in adolescents. *Ann Epidemiol* 19:180-186.
- Brönnimann S, Hood LL (2003) Frequency of low-ozone events over northwestern Europe in 1952–1963 and 1990–2000. *Geophysical Research Letters* 30
- 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 Dermatology* 16:6.
- Elnabawi MH, Hamza N (2020) Behavioural Perspectives of Outdoor Thermal Comfort in Urban Areas: A Critical Review. *Atmosphere* 11:51.
- Katalinic, A. (2023). Update – Prognose und Zahlen zu Hautkrebs in Deutschland. <https://www.krebsregister-sh.de/neue-prognose-zu-hautkrebs-in-deutschland-2023> (Stand: 04.12.2024)
- Leitlinienprogramm Onkologie (Deutsche Krebsgesellschaft, Deutsche Krebshilfe, AWMF), (2021) S3-Leitlinie Prävention von Hautkrebs, Langversion 2.0, 2021. In: <https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/leitlinien/hautkrebs-praevention/> (Stand: 04.12.2023)
- Lopez Figueroa F (2011) Climate Change and the Thinning of the Ozone Layer: Implications for Dermatology. *Actas dermo-sifiliográficas* 102:311-315.
- Makin J (2011) Implications of climate change for skin cancer prevention in Australia. *Health promotion journal of Australia : official journal of Australian Association of Health Promotion Professionals* 22 Spec No:S39-41.
- 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* 20:1-67.
- Reid SJ, Tuck AF, Kiladis G (2000) On the changing abundance of ozone minima at northern midlatitudes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 105:12169-12180.
- Rex M, Salawitch RJ, Deckelmann H et al. (2006) Arctic winter 2005: Implications for stratospheric ozone loss and climate change. *Geophysical Research Letters* 33
- Statistisches Bundesamt. (2023). Zahl der stationären Hautkrebsbehandlungen binnen 20 Jahren um 75 % gestiegen https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2023/PD23_21_p002.html (Stand: 04.12.2023)
- Statistisches Bundesamt (2023) Todesursachenstatistik. 23211-0001: Gestorbene: Deutschland, Jahre, Todesursachen; Melanom und sonstige bösartige Neubildungen der Haut <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (Stand: 28.08.2023)
- Stenke A, Grewe V (2003) Impact of ozone mini-holes on the heterogeneous destruction of stratospheric ozone. *Chemosphere* 50:177-190.
- 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. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 60(10):1153-60
- van der Leun J, De Gruijl F (2002) Climate change and skin cancer. *Photochemical & photobiological sciences : Official journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology* 1:324-326.
- van der Leun J, Tang X, Tevini M (1998) Environmental effects of ozone depletion: 1998 assessment. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-biology - J PHOTOCHEM PHOTOBIOLOG B-BIOL* 46
- 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* 89:234-246.
- van Geffen J, van Weele M, Allaart M, Van der A R (2017) TEMIS UV index and UV dose operational data products, version 2. Dataset. In: Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)
- Vitt R, Laschewski G, Bais AF et al. (2020) UV-Index Climatology for Europe Based on Satellite Data. *Atmosphere* 11
- von der Gathen P, Kivi R, Wohltmann I, Salawitch RJ, Rex M (2021) Climate change favours large seasonal loss of Arctic ozone. *Nature Communications* 12:3886.
- Winklmayr C, Muthers S, Niemann H, Mücke HG, an der Heiden M. (2022) Heat-related mortality in Germany from 1992 to 2021. *Dtsch Arztebl Int.*;119:451-7
- Witze A (2020) Rare ozone hole opens over Arctic - and it's big. *Nature* 580:18-19.
- Wolf M, Ölmez C, Schönthaler K, Porst L, Voß M, Linsenmeier M, 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> (Stand: 02.02.2023)
- World Meteorological Organization (WMO). (2022). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022 (ISBN: 978-9914-733-97-6). (GAW Report, Issue. WMO. <https://ozone.unep.org/science/assessment/sap>, <https://www.csl.noaa.gov/assessments/ozone/2022>)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**Bundesamt
für Strahlenschutz**

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Tel.: +49 30 18333-0
Fax: +49 30 18333-1885
E-Mail: ePost@bfs.de
Internet: www.bfs.de

Kontakt für Rückfragen

Dr. Cornelia Baldermann
cbaldermann@bfs.de
+49 (0)30 18333 2141