

Ultraviolette Strahlung

Geringe Dosen an ultravioletter (UV) Strahlung sind gesundheitsfördernd, da sie für die Bildung von Vitamin D in der Haut unabdingbar sind. Einige Erkrankungen (Rachitis, Psoriasis, Ekzeme oder Gelbsucht) lassen sich mit wohldosierter UV-Bestrahlung behandeln. Größere UV-Strahlungsdosen stellen jedoch eine Belastung für das Auge, die Haut und das Immunsystem dar. Hautrötung und Sonnenbrand sind die offensichtlichsten Wirkungen der UV-Strahlung; Hautkrebs und Katarakt sind die weltweit gravierendsten Erkrankungen, die auf das Einwirken von UV-Strahlung zurückgeführt werden können.

Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation WHO treten weltweit jährlich 130.000 Fälle von Melanomen auf, die besonders bei hellhäutigen Menschen häufig tödlich enden. Zwölf bis 15 Millionen Menschen sind weltweit laut WHO an der Katarakt erblindet, wovon bis zu 20 Prozent durch UV-Strahlung bedingt sein sollten. [1] Besonders betroffen sind Menschen im sogenannten „Cataract Belt“ nahe des Äquators, wo die Sonneneinstrahlung über das ganze Jahr hinweg hoch ist. UV-Strahlung gilt als die wichtigste Umweltbelastung am Arbeitsplatz; es rangiert damit in seiner Bedeutung als Umweltbelastung noch vor chemischen Substanzen. Die UV-Belastung ist nicht allein auf Personen beschränkt, die im Freien arbeiten und damit der natürlichen Belastung durch das UV der Sonne ausgesetzt sind. Beim Umgang mit zivilisatorischen UV-Quellen besteht ebenfalls ein Schadensrisiko. Eine zusätzliche Belastung durch UV erfolgt in der Freizeit bei Aktivitäten im Freien. Während eines dreiwöchigen Sommerurlaubs auf Mallorca ist die UV-Belastung nahezu genauso hoch wie während des ganzen Jahres in Köln, sofern man hier keiner Arbeit im Freien nachgeht.

1. Ultraviolette Strahlung

Die UV-Strahlung umfasst die elektromagnetische Strahlung im Wellenbereich von 100 bis 380 nm (im angelsächsischen Raum und zahlreichen EU-Verordnungen wird jedoch überwiegend eine Wellenlänge von 400 nm als langwellige Grenze des UV verwendet). Am langwelligen Ende des Ultravioletts schließt sich die sichtbare optische Strahlung an. Bei Wellenlängen von weniger als 100 nm liegt Röntgenstrahlung vor. Das Ultraviolett wurde aufgrund seiner physiologischen Auswir-

kungen auf den menschlichen Organismus noch einmal in die drei Teilbereiche UV-A, UV-B und UV-C untergliedert. Auf der Erdoberfläche enthält natürliches UV, das von der Sonne stammt, aufgrund der vollständigen Absorption von UV-C in der Ozonschicht nur UV-A und UV-B. UV-C kann jedoch bei Verwendung von technischen UV-Strahlern auftreten.

UV-A

UV-A, das den Spektralbereich von 315 nm bis 380 nm umfasst, hat im Vergleich zu UV-B und UV-C eine große Eindringtiefe in die Haut. Ein großer Teil des auf das Auge auftreffenden UV-A kann auch die Hornhaut ohne Absorption passieren. In der Haut bewirkt UV-A eine Strukturänderung des Melanins, woraus eine nur wenige Stunden andauernde Bräunung der Haut resultiert. UV-A löst aber auch kaum einen Sonnenbrand aus. Die Kollagene der Haut und des Hornhautstromas werden durch UV-A geschädigt. In der Haut führt dies zu einer vorzeitigen Alterung der Haut. UV-A ist, wenn es auf geeignete Sensibilisatoren trifft, zur Bildung freier Radikale fähig. Diese fördern das Melanomrisiko in der Haut.

Ein wichtiger Sensibilisator ist die Aminosäure Tryptophan. Sie wird unter Beteiligung von UV-A zu N-Formylkynurenin umgewandelt. Diese kann die DNA schädigen und Quervernetzungen zwischen Proteinen aufbauen. Diese Prozesse sind an der Entstehung von Linsentrübungen beteiligt.

UV-B

UV-B ist wesentlich schädlicher als UV-A. Es sind 1.000- bis 10.000-mal mehr Photonen im UV-A erforderlich, um dieselbe Wirkung zu entfalten wie UV-B. Das UV-B ist anhand seiner Fähigkeit, die menschliche Haut zu röten, definiert (Erythembildung). Am stärksten ist diese Fähigkeit bei einer Wellenlänge von 297 nm ausgeprägt. Die Grenzen des UV-B bei Wellenlängen von 280 nm und 315 nm sind dadurch festgelegt worden, dass hier die Fähigkeit zur Erythembildung noch ein Prozent des Maximalwertes ausmacht. Der Schwellenwert für ein Erythem wird als minimale Erythemdosis (MED) bezeichnet. Ein MED entspricht der notwendigen Bestrahlungsdosis, um innerhalb von acht Stunden durch UV-Bestrahlung eine Hautrötung hervorzurufen. Diese Dosis kann auch bei Menschen mit gleichem Hauttyp stark variieren. Bei hellhäutigen Menschen entspricht 1 MED etwa 250 J/m².

Das Hornhautepithel absorbiert die auf das Auge auftreffende UV-Strahlung fast vollständig, weshalb unter natürlichen Bedingungen die Belastung des Augeninneren durch UV-B gering ist.

Eine wichtige physiologische Wirkung des UV-B ist sein Beitrag zur Bildung von Vitamin D in der Haut. Durch UV-B werden weiterhin einige Enzyme aktiviert. Die Aktivierung der Tyrosinkinase durch UV-B fördert die Neubildung von Melanin in der Haut, was zu einer dauerhafteren Bräunung der Haut führt als nach UV-A-Bestrahlung. UV-B stimuliert auch das Enzym Xanthinoxidase. Dieses Enzym katalysiert die Umwandlung von Purinen (z.B. Adenin) zu Harnsäure. Bei dieser chemischen Reaktion entstehen auch freie Sauerstoffradikale, die selbst schädigend auf Zellen und Geweben einwirken.

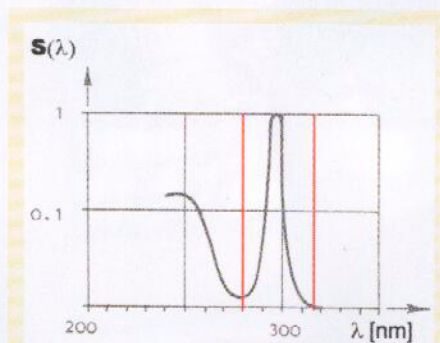


Abb. 1: Frequenzabhängige Wirksamkeit optischer Strahlung für die Entstehung eines Sonnenbrands (Erythemkurve). Bei einer Wellenlänge von 297 nm reagiert die Haut am stärksten auf UV. Die Grenzen des UV-B sind durch die Wellenlängen definiert, bei denen die Wirksamkeit des UV auf weniger als 0,01 Prozent des Maximalwerts abfällt.

UV-C

Der kurzwellige und damit energiereichste Teil des Ultravioletts ist das UV-C. Es umfasst den Wellenlängenbereich zwischen 100 und 280 nm. Ohne die Ozonschicht hätte sich auf der Landoberfläche der Erde kein Leben entwickeln können, da UV-C über ein sehr hohes Schadenspotenzial verfügt. Bei Wellenlängen unter 200 nm spaltet UV-C Sauerstoffmoleküle, weshalb UV-C ozonbildend wirkt. Die Energie von UV-C ist hoch genug, um chemische Verbindungen aufzubrechen. Die UV-C-Strahlung des Excimer-Lasers ($\lambda = 193 \text{ nm}$) wird in der refraktiven Chirurgie zum Abtragen von Hornhautgewebe verwendet. Bei Wellenlängen von 245 nm und 265 nm absorbiert die DNA sehr stark. Die Folge können Schäden am genetischen Material sein, weshalb das Risiko von Tumoren durch UV-C-Strahlung sehr hoch ist. Die Schädigung der DNA durch UV-C wird zur Desinfektion von Oberflächen oder Raumluft ausgenutzt.

2. Strahlungsquellen

Die Sonnenstrahlung ist die wichtigste Quelle für UV-Strahlung, die der Mensch ausgesetzt ist. Das Ausmaß der UV-Einstrahlung hängt sowohl von tages- und jahreszeitlichen, geografischen und klimatischen Faktoren ab. Zivilisatorische Strahlenquellen, die im Gegensatz zur natürlichen Strahlung auch UV-C enthalten, können zusätzliche Belastungen durch UV hervorrufen.

Globalstrahlung

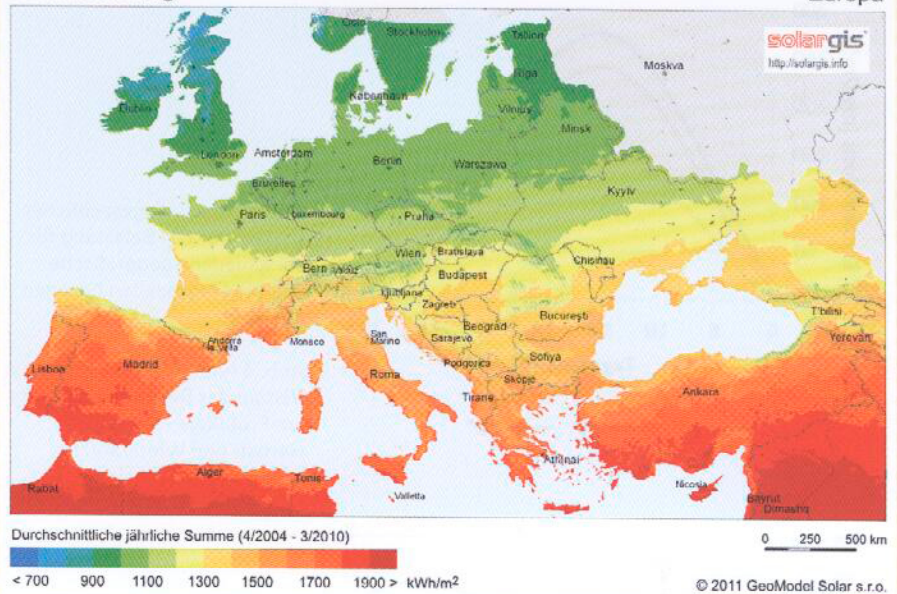


Abb. 2: Durchschnittliche jährliche Globalstrahlung in Europa. Im Mittelmeerraum gelangt im Jahresmittel ungefähr doppelt so viel Sonnenstrahlung zur Erde wie in Nordeuropa (Bild: SolarGIS 2011 GeoModel Solar s.r.o.).

2.1 Natürliche UV-Strahlung

Solar- und Globalstrahlung

Die Solarstrahlung ist die gesamte von der Sonne ausgehende Strahlung; sie umfasst sowohl elektromagnetische Strahlung als auch Teilchenstrahlung. Ein großer Teil dieser Strahlung wird in der Erdatmosphäre absorbiert. Die auf der Erdoberfläche auftreffende Strahlung der Sonne wird als Globalstrahlung bezeichnet. Sie

setzt sich zusammen aus der auf direktem Wege auftreffenden Sonnenstrahlung (Direktstrahlung) und der an Molekülen in der Erdatmosphäre gestreuten Strahlung (Diffusstrahlung). Die Globalstrahlung hängt stark von den Wetterbedingungen ab. Bei starker Bewölkung ist der Anteil der Direktstrahlung stark reduziert. Die Globalstrahlung in Deutschland liegt je nach Wetterlage zwischen 900 und 1200 kWh/m². In Spanien beträgt der Wert der Globalstrahlung etwa 2000 kWh/m². ►

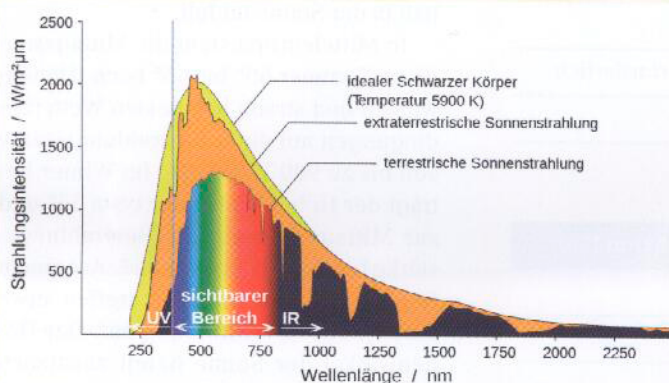


Abb. 3: Strahlungsintensität des Sonnenspektrums. Die äußerste gelbe Fläche stellt die nach dem Planckschen Strahlungsgesetz berechnete, von einem Wärmestrahler bei einer Temperatur von 5900°K abgestrahlte, Strahlungsintensität dar. Auf die äußere Erdatmosphäre trifft die Strahlung entsprechend der orangenen Fläche auf. Durch Absorption und Streuung in der Atmosphäre wird besonders der auf die Erde gelangende UV-Anteil des Sonnenlichts (schwarz) deutlich reduziert.

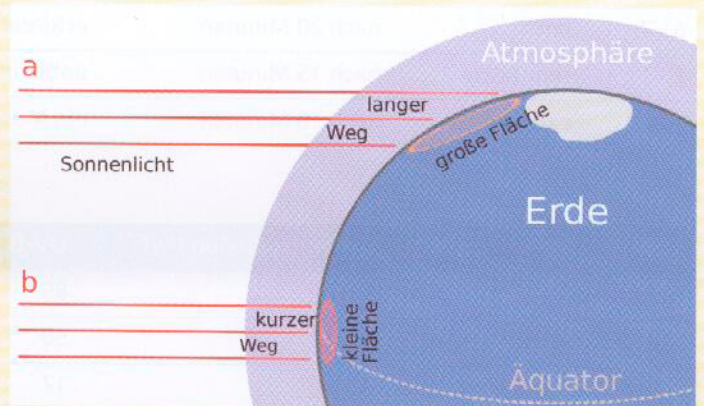


Abb. 4: Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke von der geografischen Breite. Je weiter nördlich das Sonnenlicht durch die Atmosphäre läuft, desto länger ist sein Lichtweg in der Atmosphäre, weshalb hier mehr Sonnenlicht durch Absorption und Lichtstreuung in der Atmosphäre verloren geht als am Äquator. Da das Licht schräg auf der Erdoberfläche auftrifft, verteilt sich ein Lichtbündel über eine größere Fläche als es am Äquator der Fall wäre. Die Folge ist eine geringere Bestrahlungsstärke (Bild: wikipedia).

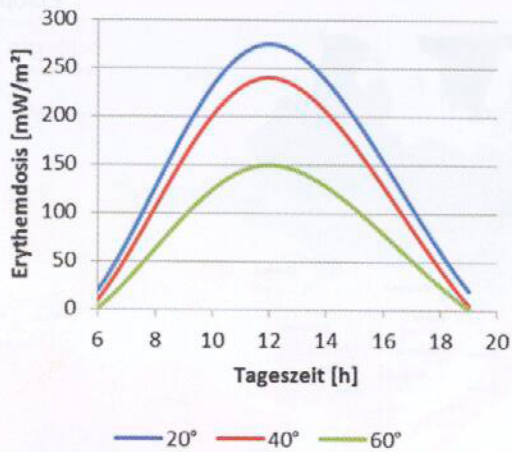
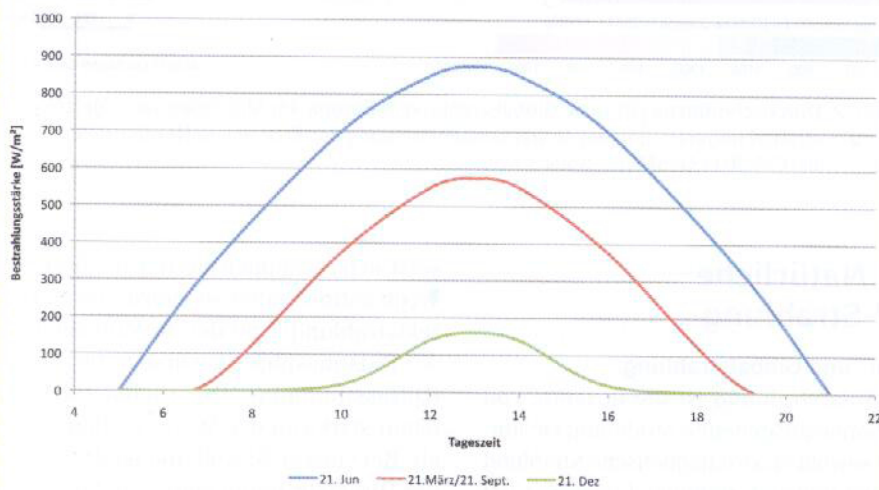


Abb. 5 (links): Tageszeitlicher Verlauf der UV-Belastung für verschiedene geografische Breiten (Tageszeiten bezogen auf MEZ).

Abb. 6 (unten): Tageszeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke am Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Winteranfang.



UVI	Belastung	Sonnenbrand	Schutzmaßnahmen
1 - 2	niedrig	unwahrscheinlich	nicht erforderlich
3 - 5	moderat	nach 30 Minuten	empfehlenswert
6 - 7	hoch	nach 20 Minuten	erforderlich
8 - 11	sehr hoch	nach 15 Minuten	unbedingt erforderlich
11+	extrem	nach 10 Minuten	ein Muss

Tab. 1: UV-Index (UVI).

Material	Gesamtreflexion [%]	UV-B Reflexion [%]
Neuschnee	89	85
alter Schnee	50	50
heller Sand (trocken)	37	17
heller Sand (nass)	24	9
Wiese/Heide	9	2
Wasser (Zenithwinkel 60°)	9	5
Haut	35	1

Tab. 2: Reflexionsvermögen ausgewählter Oberflächen.

Die Sonne ist ein Wärmestrahler, d. h. das abgestrahlte Spektrum hängt von der Temperatur ab. Bei einer Temperatur der Sonne von 6.000 °K strahlt diese die maximale Energie bei einer Wellenlänge von etwa 550 nm ab. Etwa die Hälfte der Sonnenstrahlung, die zur Erde gelangt, liegt im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Nur fünf Prozent der von der Sonne auf die Erde auftreffenden Strahlung ist UV-Strahlung, wobei hier das UV-A überwiegt. Bei Sonnenhöchststand im Sommer beträgt der Anteil des gesamten UV zur Bestrahlungsstärke auf der Erde etwa 1000 W/m², wovon auf das UV-B nur 20 bis 50 mW/m² entfallen. Dies ist weniger als ein Zehntausendstel der gesamten UV-Strahlung.

Geografische und jahreszeitliche Faktoren

Je länger der Weg des Lichts durch die Erdatmosphäre ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Strahlung durch Absorption oder Streuung verloren geht. Daher hängt die zur Erdoberfläche gelangende UV-Strahlung vom Ort auf der Erdoberfläche, der Höhe über dem Meeresspiegel und auch von der Jahreszeit ab. Je weiter ein Ort auf der Erdoberfläche vom Äquator entfernt ist, desto länger ist der Lichtweg durch die Atmosphäre. Daher nimmt auf der Nordhalbkugel die UV-Belastung mit zunehmender geografischer Breite ab (siehe Abb. 4). Im Winter ist in Breiten zwischen 50° und 60° der Sonnenstand so niedrig, dass ein halbstündiges Sonnenbad den gleichen Effekt hätte wie ein nur wenige Sekunden dauernder Aufenthalt in der Sonne im Juli.

In Mitteleuropa steht die Mittagssonne im Sommer 60° bis 65° hoch (Höhenwinkel) und strahlt bei idealen Wetterbedingungen mit einer Bestrahlungsstärke von bis zu 900 W/m² ein. Im Winter beträgt der Höhenwinkel nur etwa 15° und zur Mittagszeit liegt die Bestrahlungsstärke bei maximal 250 W/m². Auf einem Berg von 3.000 m Höhe treffen etwa 1.000 W/m² UV-Strahlung auf. Der Höhenwinkel der Sonne hängt zusätzlich von der Tageszeit ab, was wiederum eine Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke von der Tageszeit zur Folge hat. Zwischen elf und 15 Uhr (MESZ) gelangen mehr als 60 Prozent der gesamten UV-Tagesdosis auf die Erdoberfläche. Ein effizienter Schutz vor einem Sonnenbrand besteht darin, die direkte Sonnenbestrahlung

während dieser Zeit zu meiden. Um 17 Uhr (MESZ) ist es auch im Sommer sehr unwahrscheinlich, in Mitteleuropa noch einen Sonnenbrand zu bekommen.

Mit zunehmender Höhe über dem Meeresspiegel wird die Atmosphäre dünner, weshalb Absorption und Streuung in größeren Höhen weniger wirksam den UV-Anteil abschwächen können als in Meereshöhe. Pro zusätzlicher 1.000 Höhenmeter über dem Meeresspiegel kann von folgender zusätzlicher UV-Belastung ausgegangen werden

- 370 nm: + neun Prozent
- 320 nm: + elf Prozent
- 300 nm: + 24 Prozent

Die Belastung durch UVA steigt pro 1.000 Höhenmeter um etwa zehn Prozent an, die Belastung durch die gefährlichere UVB-Strahlung sogar um bis zu 25 Prozent. Im Hochgebirge bekommt man daher wesentlich eher einen Sonnenbrand als im Mittelgebirge oder im Flachland.

UV-Index

Das Sonnenbrandrisiko lässt sich durch den UV-Index (UVI) abschätzen. Dieser gibt die sonnenbrandwirksame Bestrahlungsstärke an; er variiert mit der Bewölkung, dem Sonnenstand und der Höhe über dem Meeresspiegel. Jeder Punkt der UVI-Skala entspricht einer UV-Bestrahlung von 25 mW/m². Leichte Bewölkung verringert den UVI nur geringfügig, bei einem hohen Anteil von Diffusstrahlung zur Globalstrahlung kann der UVI gegenüber dem UVI bei klarem Himmel erhöht sein. Die Strahlenbelastung auf Schnee-,

Wasser- und hellen Sandflächen ist aufgrund der reflektierten UV-Strahlung oft höher als es der UVI angibt, weshalb hier auf einen besonderen UV-Schutz zu achten ist (Tab. 2).

Von Mai bis August liegt der UVI in Mitteleuropa zur Mittagszeit bei Werten zwischen 5-8. Morgens um zehn Uhr und am späten Nachmittag um 16 Uhr sind die Werte nur noch halb so hoch. Im Winter nimmt der UV-Index im Flachland nur Werte von 1-2 an. So betrug am 18. März 2012 der UVI in Dortmund bei bewölktem Himmel 1, während er in München, wo die Sonne schien, bei 3 lag. In der Nähe des Äquators kann der UVI auch Werte von 12 und mehr erreichen (Abb. 6). Die Höhe über dem Meeresspiegel wirkt sich ebenfalls auf den UVI aus. Am 25. März 2012 war für die Zugspitze in einer Höhe von 2.660 m ein UVI von 6,1 ermittelt worden, während im 530 m hoch gelegenen München ein UVI von 3,9 gemessen wurde. [2]

UV-Belastung im Alltag

Ein Landwirt bekommt in Breiten zwischen 50° und 60° Nord im Jahr ungefähr 6 J/cm² UV-B ab, dies entspricht dem 400-Fachen der minimalen Erythemdosis. Ein Polizist, der sowohl Bürotätigkeiten als auch Streifendienst versieht, ist mit einer Jahresdosis von 2,0 J/cm² dem 130-Fachen der minimalen Erythemdosis ausgesetzt. Bei Berufstätigen, die ausschließlich Bürotätigkeiten verrichten, liegt die jährliche UV-B Dosis von 1,0 J/cm² um das 60-Fache über der minima-

len Erythemdosis. Bei einem dreiwöchigen Urlaub am Mittelmeer (40° Nord) ist der Tourist, wenn er sich ausschließlich am Strand aufhält, mit 1,5 J/cm² dem 100-Fachen der minimalen Erythemdosis ausgesetzt. [3]

2.2 Zivilisatorische UV-Strahlung

In Deutschland arbeiten ca. drei Millionen Beschäftigte überwiegend oder zeitweise im Freien. Dieser Personenkreis ist einer hohen UV-Belastung ausgesetzt. Arbeitsplätze im Innern mit leistungsstarken UV-Strahlungsquellen sind

- Medizin: Strahlungs- und Fototherapie, Härtung von Zahnersatzmaterialien
- Beleuchtung in Theater und Filmstudio
- kosmetische Anwendungen
- UV-Aushärtung von Kunststoffen und Acrylatkleber
- UV-Lampentrocknung für Druckfarben und -lacke
- Desinfektion von Raumluft oder Lebensmittelverpackungen
- Materialprüfung
- Schweißen (Lichtbogen)
- Druckindustrie (Belichtung von Druckplatten, Farbtrocknung)

In der Regel sind Personen, die im Innern arbeiten, durch ihre Kleidung und geeignete Schutzbrillen vor UV-Strahlung geschützt; kommt es zu übermäßiger UV-Belastung, dann ist dies in der Regel die Folge von unzureichenden Schutzmaßnahmen oder unsachgemäßem Umgang mit den UV-Quellen. ►

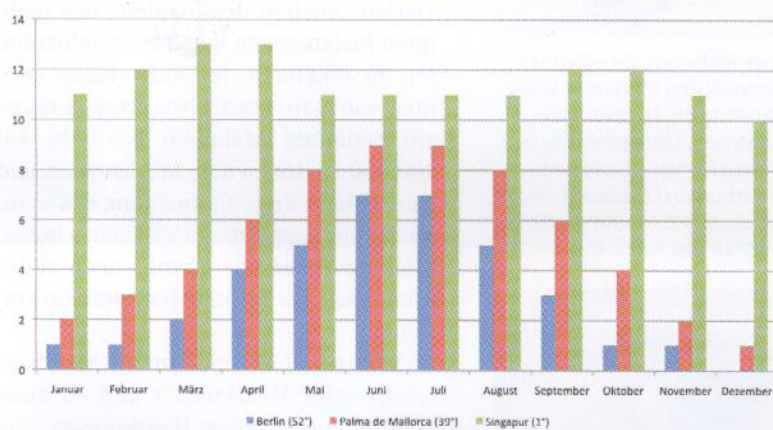


Abb. 7: UV-Index für Berlin (52° Nord), Palma de Mallorca (39° Nord) und Singapur (1° Nord). In Äquatornähe ist der UV-Index über das ganze Jahr hinweg nahezu konstant hoch im Extrembereich von mehr als 11. Mit zunehmender geografischer Breite nimmt die UV-Belastung im Winterhalbjahr ab (Zusammengestellt nach Daten des Bundesamts für Strahlenschutz).

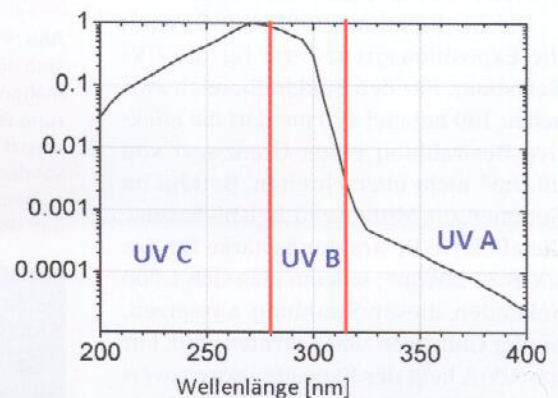


Abb. 8: Relative biologische Wirksamkeit von UV-Strahlung (logarithmische Darstellung [4]). UV-C der Wellenlänge 270 nm hat eine mehr 10.000-fach höhere biologische Wirksamkeit als UV-A der Wellenlänge 370 nm.

Leuchtstoffröhren, die an Arbeitsplätzen oder auch im eigenen Haus als Energiesparlampen verwendet werden, strahlen immer auch geringe Mengen an UV-A und UV-B ab. Besonders der Anteil des austretenden UV-B hängt von der Qualität des Glases ab, das die Leuchtstoffröhre umgibt.

3. Biologische Wirkung von UV-Strahlung

Effektive Bestrahlungsstärke und Bestrahlung

Die biologisch effektive Dosis ist die physikalische Größe zur Beschreibung der Auswirkungen von Strahlung auf den lebenden Organismus. Die Wirkungen der UV-Strahlung sind wellenlängenabhängig. Um dies zu erfassen, wurde das UV-Wirkungsspektrum $S(\lambda)$ definiert, das die relative Wirksamkeit der Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen zur Erzielung eines bestimmten biologischen Effekts beschreibt. Multipliziert man für jede Wellenlänge die Bestrahlungsstärke $E(\lambda)$, der ein Organismus ausgesetzt ist mit dem UV-Wirkungsspektrum, so erhält man die biologisch effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} .

Eine weitere wichtige Größe, die die biologische Wirkung der UV-Strahlung beschreibt, ist die effektive Strahlungsbelastung H_{eff} , die auch als Bestrahlung bezeichnet wird. Man erhält diese, indem man die biologisch effektive Bestrahlungsstärke mit der Expositionszeit multipliziert. Die Bestrahlung wird, wenn die UV-Belastung am Arbeitsplatz betrachtet wird, in den meisten Fällen auf ein Zeitintervall von acht Stunden bezogen.

Die EU-Richtlinie 2006/25/EG regelt die Expositionsgrenzwerte für die UV-Belastung. Für den Spektralbereich zwischen 180 nm und 400 nm darf die effektive Bestrahlung einen Grenzwert von 30 J/m^2 nicht überschreiten. Beträgt im Sommer zur Mittagszeit beispielsweise die effektive Bestrahlungsstärke für das UV-B 30 mW/m^2 , so kann man sich 1.000 Sekunden dieser Strahlung aussetzen, bis der Grenzwert überschritten wird. Für das UV-A liegt der Expositionsgrenzwert bei 10.000 J/m^2 (Tageswert acht Stunden).

UV-Absorption

Nur die Strahlung, die absorbiert wird, ruft eine physikalische, chemische oder

biologische Wirkung hervor (Grotthuss-Drapersche Gesetz). Nahezu alle biologischen Strukturen sind zur UV-Absorption fähig, wobei es jedoch große Unterschiede im Wirkungsspektrum gibt.

Wie tief UV-Strahlung in die Haut oder das Auge dringt, hängt davon ab, wie stark die Strahlung absorbiert wird. Strahlung, die effizient absorbiert wird, vermag nicht sehr tief in die Gewebe einzudringen, während Strahlung, die nur wenig absorbiert wird, tiefer eindringen wird. Das Zielmolekül, auf das die UV-Strahlung einwirkt, wird als Chromophor bezeichnet. Eines der wichtigsten Chromophore lebender Zellen ist die DNA. Sie zeigt ein Absorptionsmaximum bei einer Wellenlänge von 260 nm; zum UV-B fällt die Absorption von UV-Strahlung durch die DNA um mehrere Zehnerpotenzen ab. Im UV-A absorbiert die DNA kaum noch UV-Strahlung. Veränderungen der DNA manifestieren sich in Veränderung des Erbguts der Zelle, wodurch die Entstehung eines Tumors begünstigt werden kann.

Eine weitere Gruppe effizienter UV-Absorber sind aromatische Aminosäure (z.B. Tryptophan). Ihr Absorptionsmaximum liegt im UV-B. Sie absorbieren aber auch UV-A. Tryptophan ist der UV-Absor-

ber, der entscheidend an der Hautrötung, der Schneeblindheit oder der Kataraktentstehung beteiligt ist.

Sauerstoff wird durch UV-Strahlung angeregt, wodurch die Bildung freier Sauerstoffradikale gefördert wird. Die eigentliche schädigende Wirkung geht in diesem Fall von den freien Sauerstoffradikalen aus. Fotosensibilisierende Moleküle absorbieren Strahlung sehr effizient und übertragen die Anregungsenergie auf benachbarte Moleküle, die hierdurch geschädigt werden, weshalb schon geringe Strahlungsdosen ausreichen, um biologische Schäden hervorzurufen.

4. Gesundheitsschäden durch UV

Da nur Strahlung, die absorbiert wird, auch Schäden hervorrufen kann, beschränken sich die Schäden durch UV auf die Haut und das Auge, da dies die einzigen lichtexponierten Partien des Körpers sind. Da aber die Haut aufgrund der vielen in ihr vorhandenen Abwehrzellen auch für Abwehrreaktionen des Körpers wichtig ist, kann auch das Immunsystem durch UV in seiner Wirksamkeit beeinträchtigt werden.

Haut

Wie stark UV zu Schäden der Haut führen kann, hängt eng mit dem Hauttyp zusammen. Wenig pigmentierte Personen erleiden schneller einen Sonnenbrand und sind auch einem höheren Hautkrebsrisiko ausgesetzt als stärker pigmentierte Personen. Welche Rolle UV bei der Entstehung von Hautkrebs hat, ist an dem starken Anstieg der Inzidenz des malignen Melanoms in den letzten Jahrzehnten zu erkennen. In Deutschland geht man von zehn bis 15 Neuerkrankungen am malignen Melanom pro Jahr auf 100.000 Personen aus. In Australien und Neuseeland liegt die Inzidenz des malignen Melanoms um ein Vielfaches höher. Maligne Melanome können auch in der Bindehaut, der Iris und der Aderhaut auftreten.

Neben dem malignen Melanom („schwarzer Hautkrebs“) gibt es auch andere Formen des Hautkrebses, die durch Licht hervorgerufen werden. Eine langjährige intensive Einwirkung von UV ist aktinische Keratose. Diese Hautveränderungen im Bereich der verhornten Oberhaut schreiten zwar nur langsam



Abb. 9: Malignes Melanom. Zu erkennen sind einige der typischen Merkmale eines malignen Melanoms. Die Hautveränderung ist asymmetrisch. Unregelmäßig begrenzt und ist nicht einheitlich pigmentiert, sondern weist Farbunterschiede auf. Nicht zu beurteilen in diesem Bild sind die Größe und die Erhabenheit des Tumors.



Abb. 10: Basaliom der Lidkante.

fort, können aber nach Jahren in einen Hautkrebs übergehen (Plattenepithelkarzinom). Die aktinische Keratose wird daher auch als Präkanzerose bezeichnet. Sie tritt vor allem an Stellen auf, die besonders häufig ungeschützt dem Sonnenlicht ausgesetzt waren (Gesicht, Handrücken, Glatze, Ohr).

Die Hornschicht der Haut (Stratum corneum) absorbiert und reflektiert etwa ein Zehntel der UV-B- und die Hälfte der UV-A-Strahlung. Eine dauerhaft erhöhte UV-Belastung führt zu einer Verdickung der Hornschicht, was als Lichtschwiele bezeichnet wird. Nach einem Sonnenbrand oder bei häufiger Benutzung von Solarien ist diese Veränderung der Haut regelmäßig zu beobachten. UV verändert die Pigmentierung der Haut. UV-A verursacht Strukturveränderungen der Melaninmoleküle, weshalb diese dunkler erscheinen. Diese Sofortbräune hält nur einige Stunden vor. Sie stellt auch keinen wirksamen UV-Schutz dar. Durch UV-B wird mit einer Verzögerung von mehreren Stunden die Bildung von zusätzlichem Melanin stimuliert. Diese Bräunung stellt einen wirksameren UV-Schutz dar als die Sofortbräunung.

UV schädigt die Kollagene und elastischen Fasern der Lederhaut, es bilden sich Falten. Auch die oberflächlichen Blutgefäße der Haut können durch UV verändert werden. Eine dauerhafte Lichtexposition lässt somit die Haut vorzeitig altern.

Von Hauttumoren kann auch die Lidhaut betroffen sein. Das Basaliom ist der

häufigste Tumor im Bereich der Lider. Hierbei handelt es sich um einen Tumor, der zwar keine Metastasen bildet, dessen hochaggressives Wachstum aber zu schwersten, auch lebensbedrohlichen Schäden im Gesicht führen kann. Im Frühstadium besteht eine Verwechslungsmöglichkeit des Basalioms mit einer Entzündung der Meibomschen Drüsen. Der Tumor tritt besonders bei Personen auf, die über viele Jahre hinweg einer hohen Lichtexposition ausgesetzt waren. UV-A gilt als Verursacher dieses Tumors. Ein weiterer, aber wesentlich seltenerer Tumor der Lider, der durch UV hervorgerufen werden kann, ist das bereits erwähnte Plattenzellkarzinom.

Augen

Das Ausmaß von Hautschäden durch UV hängt individuell von der Pigmentierung der Haut und Akklimatisierung an die UV-Strahlung ab. Solche individuellen Unterschiede von UV-Schäden am Auge gibt es nicht.

Die Hornhaut ist für Wellenlänge von weniger als 300 nm nahezu undurchlässig; sie wirkt daher wie ein UV-B-Filter, der das Innere des Auges vor dem energiereichen UV-B schützt. Nur etwa ein Drittel des UV-A, das auf das Auge gelangt, wird in der Hornhaut absorbiert. Vitamin C, das im Kammerwasser in hoher Konzentration vorliegt, absorbiert ein Sechstel der UV-A-Strahlung. Die Linse filtert etwa 50 Prozent des UV-A heraus, sodass der UV-A-Anteil, der zur Netzhaut gelangt, etwa ein Prozent der ursprüng-

Wellenlänge	Schaden	Lichtquelle
UV-C (180 – 280 nm)	Keratitis	Sonne
UV-B (280 – 315 nm)	Konjunktivitis Pterygium Pinguekula Basaliome	Lichtbogen Excimerlaser Speziallampen (Desinfektion)
UV-B (280 – 315 nm)	Keratitis	Sonne
UV-A (315 – 380 nm)	Konjunktivitis Pterygium Pinguekula Katarakt Netzhautschäden (bei Aphakie)	Sonnenbank Laser Speziallampen (Polymerisation)
Kurzwellige sichtbare Strahlung (380 – 510 nm)	Photochemische Netzhautschäden	Sonne Künstliche Lichtquellen

Tab. 3: Strahlenschäden des Auges.

lich auf das Auge aufgetroffenen UV-A-Strahlung ausmacht.

Pinguekula (Lidspaltenfleck) und Pterygium sind Veränderungen der Bindehaut, für die ein Zusammenhang mit UV-A besteht. UV-A schädigt die Kollagene und Elastine der Submukosa der Bindehaut. Die Zellen der Submukosa werden durch Licht geschädigt und produzieren anomale Proteine. Brillenträger haben seltener eine Pinguekula, da selbst ein einfaches Brillenglas einen erheblichen Teil des UV-A, das auf sie auftrifft, absorbiert.

Die Schneeblindheit (aktinische Keratopathie, Keratitis photoelectrica) ist die Folge einer erhöhten UV-B-Belastung der Hornhaut. Das Hornhautepithel ist ein sehr effizienter UV-B-Filter, weshalb bereits geringe UV-B-Dosen ausreichen, um eine Keratitis photoelectrica auszulösen. Nach einer Latenzzeit von etwa sechs Stunden treten die ersten Symptome auf: Rötung der Bindehaut, Lichtscheu, tränendes Auge und sehr starke Schmerzen.

Die Katarakt ist neben dem malignen Melanom das weltweit zweite wichtige durch UV hervorgerufene Gesundheitsproblem. Nach Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation gehen etwa 20 Prozent der bis zu 15 Millionen Erblindungen als Folge einer Katarakt auf den Einfluss der UV-Strahlung zurück. In Gegenden mit hoher UV-Belastung tritt die Katarakt deutlich früher in Erscheinung

als in Gegenden mit geringer UV-Belastung. Personen, die im Freien arbeiten, haben ein deutlich höheres Kataraktrisiko als Personen, die in Gebäuden arbeiten.

Eine physiologische getrübbte Linse bietet zusammen mit der Hornhaut ein nahezu perfektes Filtersystem, das die Netzhaut vor den schädigenden Wirkungen des UV schützt. Lichtschäden der Netzhaut werden primär durch sehr langwelliges UV-A und blaues und violettes Licht hervorgerufen.

Immunsystem

Die hemmende Wirkung von UV-Strahlung auf das Immunsystem ist ein seit langem bekanntes Phänomen. Lippenbläschen, die häufig nach einem Aufenthalt im Hochgebirge oder im Schnee auftreten, sind die Folge einer Schwächung des Immunsystems durch UV-B. In Folge einer Exposition mit UV-B sinkt die Zahl der natürlichen Killerzellen in der Haut, was wiederum die Ausbreitung des latent im Zentralnervensystem vorhandenen Herpes simplex Virus erleichtert. Eine Schwächung des Immunsystems kann weiterreichende Folgen haben. Der Verlauf von Infektionserkrankungen oder von erworbener Immunschwäche (AIDS) kann verschlechtert werden. Weiterhin ist die Entstehung von Tumoren (Karzinogenese) begünstigt, wenn Krebszellen nicht als entartet erkannt und deshalb von Immunzellen nicht beseitigt werden.

Zusammenfassung

Die WHO gibt die weltweiten Schäden durch UV mit 1,5 Millionen DALYs (disability adjusted years) an. Dies entspricht etwa 0,1 Prozent aller Krankheitslasten. [5] Die größten Gesundheitslasten durch UV sind Katarakte und maligne Melanome. Ein vollständiger Schutz vor UV wäre jedoch auch kontraproduktiv, da unter diesen Bedingungen die Zahl der durch Vitamin-D-Mangel verursachten Knochenschäden zunehmen würde. ■

Dr. Andres Berke

Literatur

[1] World Health Organization. Global Solar UV Index: A Practical Guide, A joint recommendation of the World Health Organization, World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme, and the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Geneva.

[2] http://www2.i-med.ac.at/uv-index/zug/graphs_month_de.html (2.4.2012).

[3] Diffey BL. Personal monitoring of ultraviolet exposure, in Cronly-Dillon E, Rosen S, Marshall J. Hazards of Light, Pergamon Press. Oxford 1986.

[4] International Commission on Non-ionizing Radiation Protection. On Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelength between 100 nm and 400 nm. Health Physics 2004; 87: 171-186.

[5] Lucas R, McMichael T, Smith W, Armstrong B. Solar Ultraviolet Radiation. World Health Organization Public Health and the Environment. Geneva 2006.