

UV-Strahlung und Ozon

Birgit Ederer	Eschmann Contactlinsen, Bern
Raphael Eschmann	Eschmann Contactlinsen, Bern
David Goldblum	Universitätsspital, Augenklinik, Bern

Korrespondenzadresse

Birgit Ederer
Eschmann - Contactlinsen
Kramgasse 54
CH-3000 Bern 7
Schweiz
Tel. +41 31 311 73 13
Fax +41 31 312 37 17
E-mail: info@eschmann-contactlinsen.ch
Web: www.eschmann-contactlinsen.ch

Sonnenlicht



Bildquelle: www.gesundheit-pro.de

Blauer Himmel, die Sonne strahlt und unsere Laune steigt – egal, ob Sommer oder Winter. Wie erklärt sich dieser Einfluss der Sonne auf unsere Stimmung?

Das Sonnenlicht beeinflusst unseren Körper. Das über die Augen aufgenommene Licht wird über den Sehnerv an Hormondrüsen, wie z.B. die Hypophyse weitergeleitet und steuert dort den Hormonhaushalt in Abhängigkeit seiner Farbkomposition und Helligkeitsintensität. Das Licht spielt auch eine Rolle bei der Bildung von Vitamin D. Dieses Vitamin ist für den Knochenaufbau unerlässlich und beeinflusst die Differenzierung und Reifung von Immunsystemzellen. Wach- und Schlafrythmus werden durch Melatonin beeinflusst, das von der ebenfalls durch Licht gesteuerten Epiphyse erzeugt wird.

UV-Strahlung

Unter Licht, sei es natürlich oder künstlich erzeugt, versteht man ein elektromagnetisches Feld mit verschiedenen Wellenlängen. Bei Wellenlängen in einem Spektrum zwischen 380nm (violett) bis 780nm (rot) werden die elektromagnetischen Schwingungen als sichtbares Licht wahrgenommen.

Sonnenlicht enthält auch Komponenten mit Wellenlängen über 780nm, die Wärme- bzw. Infrarot-Strahlung, sowie den energiereicheren Anteil an ultravioletter Strahlung mit einer Wellenlänge unter 380nm. Dieses kurzwellige Spektrum macht etwa 6% der auf der Erde ankommenden Sonnenstrahlung aus. Neben vielen positiven Effekten hat der UV-Bereich auch negative Auswirkungen, beispielsweise für das Auge. Drei UV-Gruppen lassen sich in ihre entsprechenden unterschiedlichen physikalischen und biologischen Eigenschaften unterteilen.

- UV-A 380-320nm: Sie erreichen praktisch ungefiltert die Erdoberfläche und nehmen mit ca. 95% der auftreffenden UV-Strahlung den grössten Anteil ein. UV-A trägt zur vorzeitigen Hautalterung bei und ist verantwortlich für die Kurzzeit-Pigmentierung.
- UV-B 320-280nm: Ein Grossteil wird von der Ozonschicht absorbiert, so dass die UV-B Strahlen nur rund 5% des ankommenden UV-Spektrums ausmachen. UV-B ist verantwortlich für die Langzeit-Pigmentierung, den Sonnenbrand mit den Spätfolgen z.B. Hautkrebs.
- UV-C 280-100nm: Dieser Wellenbereich wird vollständig von der erdumgebenden Ozonschicht absorbiert und trifft nicht auf der Erde auf.

Beeinflussende Faktoren der UV-Strahlung

Bis das von der Sonne ausgesendete Licht die Atmosphäre erreicht, durchläuft es viele Absorptions-, Reflexions- und Streuvorgänge. Neben der Ozonschicht (vgl. unten) spielt auch die Sonnenhöhe bzw. der Sonnenstand eine entscheidende Rolle beim anteiligen Verhältnis der UV-Strahlung zum Sonnenlicht. Die spektrale Strahlenstärke steigert sich mit zunehmender Sonnenhöhe. Faktoren wie Tages- und Jahreszeit, sowie geographische Längen und Breiten beeinflussen die spektrale Zusammensetzung und Intensität des Sonnenlichts. Mit zunehmender Sonnenhöhe steigt die UV-B Strahlung gegenüber dem sichtbaren Anteil stärker an, um die Mittagszeit sind die UV-Strahlen deshalb am höchsten. Dabei ist zu beachten, dass bei teilweiser Bewölkung aufgrund der Reflexion an den Wolken sogar noch höhere Bestrahlungsintensitäten auftreten als bei absolut blauem Himmel. Die Strahlungsintensität ist umso grösser, je kürzer die Distanz welche die UV-Strahlen zurücklegt, die UV-Belastung steigt um etwa 10-30% pro 1000 Höhenmeter. Bestimmte Umgebungsparameter erhöhen die UV-Strahlung ebenso. Beim Aufenthalt in Gewässernähe nimmt der UV-Anteil durch Reflexion an Wasseroberflächen um etwa 10% zu, ein Anstieg um bis zu 90% des UV-Anteils ist in Schneegebieten zu verzeichnen.

UV-Index

Der UV-Index ist ein international einheitlich festgelegtes Mass für die Stärke der UV-Strahlung der Sonne. Je höher dieser Wert ist, desto stärker sind die negativen Auswirkungen für den Menschen. Die folgende Einteilung wurde vom Bundesamt für Gesundheit für den Hauttyp II (helle Haare und Augen, oft Sommersprossen) bei ungebräunter Haut veröffentlicht.

- UVI 0 bis 1: UV-Belastung niedrig, Sonnenbrand unwahrscheinlich, Schutzmassnahmen nicht erforderlich
- UVI 2 bis 4: UV-Belastung mittel, Sonnenbrand ab 30 Minuten möglich, Schutzmassnahmen empfehlenswert
- UVI 5 bis 7: UV-Belastung hoch, Sonnenbrand ab 20 Minuten möglich, Schutzmassnahmen erforderlich.
- UVI 8 und mehr: UV-Belastung sehr hoch, Sonnenbrand in weniger als 20 Minuten möglich, Schutzmassnahmen unbedingt erforderlich.

Schutzmassnahmen reichen von Sonnencremes mit entsprechendem Lichtschutzfaktor, Sonnenbrille, Kopf- und Körperbedeckung hin bis zur Vermeidung des Aufenthalts im Freien.

Gefahren für die Augen durch UV-Strahlung

Sind die Augen und Adnexen dem UV-Licht ausgesetzt, können eine Vielzahl von gesundheitlichen Schäden die Folge sein. Negative Auswirkungen sind unter anderem Zellveränderungen der Haut, welche die Entstehung des häufigsten aller bösartigen Augenlidtumore fördert, das Basaliom/Basalzellkarzinom. Dieser Hauttumor wächst lokal infiltrierend und destruiierend, es kommt aber nicht zur Metastasenbildung. Das Vorkommen dieses Tumors ist bei weissen zehnmal häufiger als bei dunkelhäutigen Patientinnen und Patienten und bei Männern doppelt so häufig zu finden wie bei Frauen. Ab dem 40. Lebensjahr steigt die Häufigkeit der Basaliome ungefähr linear mit dem Lebensalter an. Basaliome befinden sich zu 90% im Kopfbereich, und davon zu ungefähr 10% in der Lidgend.¹ Das Plattenepithelkarzinom ist ein weiteres Erscheinungsbild der durch UV-Licht beeinflussten Hauttumore. Es ist zwar mit einem Anteil von 5-10% aller bösartigen Augenlidtumore relativ selten, aber in seiner Entwicklung aggressiv mit Tendenz zur Metastasierung.² Gebildet wird diese vorhornende oder unvernornende Hautwucherung vom Plattenepithel der Haut oder Schleimhaut. Der von den Melanozyten ausgehende bösartigste UV-assoziierte Hauttumor ist das maligne Melanom. Dieser Tumor betrifft Frauen zweimal so häufig als Männer. Das Erscheinungsbild reicht von sehr hell über braun bis blauschwarz und birgt durch seine frühzeitige Metastasierung in umgebende Areale oder regionale Lymphknoten ein nicht zu vernachlässigendes Gefahrenpotential.³ Für alle erwähnten Hauttumoren gelten familiäre Häufung und Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II als Risikofaktoren. Ob UV-Strahlung das Risiko erhöht an einem uvealen Melanom zu erkranken, konnte bisher nicht eindeutig gesichert werden.^{4,5}



Bildquelle: www.gesundheit.de

Ist das Auge über Jahre hinweg ungeschützt hohen Dosen von UV-Strahlung ausgesetzt, treten UV-assoziierte Augenerkrankungen gehäuft auf. Die Pinguecula mit seiner hyalinen Degeneration des subepithelialen Bindegewebes kann hier als typisches Beispiel genannt werden. Ebenfalls als Folge des kurzwelligen Lichts zeigt sich das histologisch kaum unterscheidbare Pterygium. Ragt dieses Gewebe in die optische Achse oder induziert einen stärkeren Astigmatismus muss es operativ entfernt werden. Beide Degenerationen finden sich v.a. bei Personen, die sich viel im Freien aufhalten oder die in Regionen mit hoher Sonnenintensität leben.^{6,7}

Setzt man sich besonders strahlungsintensiven Umgebungen, beispielsweise Schneesport oder Schweisserarbeiten ohne ausreichenden Augenschutz aus, besteht die Gefahr eine Keratitis photoelectrica zu entwickeln. Durch die UV-Strahlung kommt es nach einigen Stunden zu einer Lockerung der Epithelanhaftung und somit zu schmerzhaften Erosionen. Diese Erkrankung der Hornhaut wird im Volksmund deshalb auch Schneeblindheit genannt, da Hochgebirgssportler besonders häufig darunter leiden.⁸

Es konnte gezeigt werden, dass das Kataraktrisiko durch UV-B Strahlen erhöht ist.⁹ Je langwelliger das UV-Licht, umso höher ist die Hornhaut- und Vorderkammerflüssigkeitstransmission. Bei 360 nm werden nur noch 34% durch die Hornhaut und 12% in der Vorderkammer absorbiert. Die grösste Absorption (52%) findet bei dieser Wellenlänge in der Linse statt. Um die Netzhaut deshalb auch nach erfolgter Kataraktextraktion vor UV-Belastungen zu schützen, enthalten heutzutage alle nach einer Katarakt-Operation eingesetzten Intraokular-Linsen (IOL) einen UV-Absorber.^{10,11}

Wie schon beschrieben, tritt die Katarakt in Gegenden mit höheren Sonneneinstrahlungen um Jahre früher auf als in nördlicheren Gegenden. Bei einer erhöhten Strahlungskonzentration leiden jedoch nicht nur Hornhaut und Linse, sondern auch die Netzhaut. In hohen Mengen oder ohne adäquaten UV-Filter der IOL führt dies zu akuten Retinopathien. Es gibt auch einige Hinweise, dass eine erhöhte UV-Exposition das Risiko an einer altersbedingten Makuladegeneration (AMD) zu erkranken vergrössert.^{12,13,14}

Die meisten Kontaktlinsen verfügen über einen integrierten UV-Blocker, der einen Grossteil des schädlichen UV-Lichts abschirmt. Dadurch kann allerdings kein kompletter UV-Schutz garantiert werden, die Absorptionsspektren für weiche und formstabile Kontaktlinsen liegen im UV-B Bereich zwischen 90-99% und UV-A Bereich zwischen 70-95%. Wichtig sind diese UV-Blocker mit einem hohen Absorptionsspektrum bei aphaken Personen. Eine Kontaktlinse schützt nur Hornhaut, Augenlinse und Netzhaut vor UV-Strahlung, Bindehaut und Lider bleiben ungeschützt.

Gute Sonnenbrillen (genug grosse Gläser mit 100%igem UV-Schutz) bieten einen hervorragenden Schutz für das Auge und die Augenlider. Wichtig sind auch eine farbgetreue Bildwiedergabe und unverzerrte Sicht. Optikerfachgeschäfte bieten ausschliesslich zertifizierte Sonnenbrillen an, die den UV-Schutz zu 100% gewähren.

Ozon

Auf- und Abbau-Reaktionen in der Ozonschicht



Die Atmosphäre der Erde ist in verschiedene Schichten eingeteilt. Die erdnahste Schicht ist die 8-16 km dicke Troposphäre, in der sich auch das Wetter abspielt. Sie ist ein Gasgemisch, in dem 78% Stickstoff und 21% Sauerstoff die Hauptbestandteile ausmachen. Ausserdem finden sich hier auch Argon, Kohlendioxid und erdnahe Ozon. Über der Troposphäre liegend ist die Stratosphäre, die sich über 15-50 km erstreckt. Sie beinhaltet 90-95% des in der Atmosphäre vorkommenden Ozons. Dreiviertel davon liegt 15-35 km über der Erdoberfläche, der sogenannten Ozonschicht. Diese liegt wie ein Mantel um die Erde und bietet Schutz vor den von der Sonne ausgehenden UV-Strahlen. In einem Ozonmolekül sind drei Sauerstoffatome miteinander verbunden (O_3).

Bildquelle: www.cuxhaven-fotos.de

Die Ozonschicht absorbiert das UV-C Spektrum vollständig und die UV-B Strahlung zum grössten Teil. Trifft das energetische UV-C Licht auf Sauerstoffmoleküle in der Ozonschicht werden diese in zwei atomare Sauerstoffe gespalten, welche sich sehr schnell wieder an benachbarte Sauerstoffmoleküle binden ($O_2 \rightarrow O + O$ anschliessend $O + O_2 \rightarrow O_3$). Bei diesem Prozess wird das UV-C vollständig absorbiert und Ozon aufgebaut. Abgebaut wird das Ozon durch die energieärmere UV-B Strahlung, welche das Ozon in atomaren Sauerstoff und ein Sauerstoff-Radikal spaltet ($O_3 \rightarrow O + O_2$). Für ein

natürliches Gleichgewicht beim Abbau sorgen u. a. auch Chlor und Brom z.B. aus Vulkanausbrüchen, die durch UV-Licht in freie Radikale gespalten wurden. Sie katalysieren den Ozonabbau, d.h. sie werden zwar selbst nicht verändert aber können ein Mehrfaches an Ozonmolekülen spalten.

Dieses natürliche Gleichgewicht wurde durch den Menschen gestört. Hauptsächlichste Ursachen für den überdurchschnittlichen Ozonabbau sind industriell hergestellte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Halogene, die durch ihre Robustheit bis in die Stratosphäre vordringen. Ein FCKW-Molekül ist chemisch sehr stabil und spaltet somit dann erst in grosser Höhe sein Chlor ab. Dieses Chlor-Radikal, zerlegt dann zehntausende von Ozonmolekülen in atomaren Sauerstoff und ein Sauerstoff-Radikal.

Dieser Effekt ist für den drastischen Rückgang der Ozonschicht und das so genannte Ozonloch verantwortlich. An diesen „dünnere“ Stellen wird UV-B weniger stark absorbiert und trifft somit in einer höheren Konzentration auf die Erdoberfläche, wohin gegen UV-C noch weiterhin vollkommen absorbiert wird. Da die UV-A nur in geringer Masse durch die Ozonschicht abgeschwächt wird, hat dessen Abnahme kaum einen Einfluss auf die UV-A Intensität.

Seit Ende der 70er Jahre wird die Ozonkonzentration der Südhalbkugel gemessen. Seit 1985 wurde an einigen Stellen eine drastische Verdünnung von bis zu 40% verzeichnet – das so genannte Ozonloch über der Antarktis. Die Ozonkonzentration unterliegt saisonalen Schwankungen. Im Winter und Frühjahr ist die Ozonschicht am dünnsten und im Sommer und Herbst ist sie dicker. Auch über der Arktis wird eine abnehmende Ozonkonzentration verzeichnet. Die durch Verringerung der stratosphärischen Ozonkonzentration intensivere UV-B-Einstrahlung, der so genannten „sonnenbrandwirksamen Strahlung“, erhöht das Risiko an UV-induzierten Schäden zu erkranken.¹⁵

Bodennahes Ozon

Bodennahes Ozon ist in geringem Mass natürlicher Bestandteil der Troposphäre, steht in keiner Verbindung zur Ozonschicht und ist nicht durch FCKW verursacht, kann aber ebenfalls durch Umwelteinflüsse erhöht sein. Ozon ist ein aggressives Reizgas, wobei die gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen abhängig von Konzentration und Einwirkdauer sind. Hauptsächlich wird bodennahes Ozon aus Stickstoffdioxiden (NO₂) gebildet, welche überwiegend aus Verbrennungsabgasen stammen. Auftreffende energiereiche UV-Strahlung setzt aus dieser Verbindung das Sauerstoffatom frei, dass sich mit einem Sauerstoffmolekül zu Ozon verbindet ($O + O_2 \rightarrow O_3$). Bedeutend wird dieser Vorgang vor allem an Tagen mit hoher UV-Belastung und Gebieten mit grösseren Mengen an Autoabgasen. Die Ozonkonzentration wird in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben. Die Grundkonzentration beträgt in der Schweiz 40-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bisher wurden in der Schweiz selten auch schon Konzentrationen über 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen.

Gefahren durch Ozon

Schon an Tagen mit leicht erhöhter Ozonkonzentration in der Luft treten bei ozonsensiblen Menschen Kopfschmerzen auf. Augenbrennen, Hustenreiz und Atemnot bei Asthmatikern machen sich bereits bei 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bemerkbar. Zu schweren, offensichtlichen Schleimhaut-, Augenreizungen und entzündlichen Reaktionen der Atemwege kommt es ab einer Konzentration von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.^{16,17}

Ozon wirkt wie beschrieben hauptsächlich reizend auf die Schleimhäute, und induziert entzündliche Prozesse. Wegen seiner geringen Wasserlöslichkeit dringt es über den Respirationstrakt bis in die Lunge vor und greift in seiner Eigenschaft als starkes Oxidationsmittel die Zellmembrane dort an. Dies kann bei Asthmatikern zu einer Verengung der Atemwege führen. Bei Asthma ist die Bronchialschleimhaut aufgrund der Hyperreagibilität chronisch entzündet. Reize, die sowohl allergener als auch nicht-allergener Natur sein können, führen deshalb beim Asthmiker zu einem Spasmus der Bronchien, zur Schleimhautschwellung und zu erhöhter Sekretion zähen Schleims. Ozon ist hierbei ein häufiger nicht-allergener Auslöser des Asthmas jedoch wahrscheinlich nicht ursächlich für die Entstehung dieser entzündlichen Atemwegserkrankung verantwortlich. Es kann aber bei prädisponierten Personen die Anfälligkeit für allergische Reaktionen erhöhen, was dann zu einer erhöhten Allergieneigung inklusive Augenallergien führt.^{18,19,20,21}

Links zu den aktuellen UV- und Ozonwerten

www.uv-index.ch
www.bag.admin.ch/strahlen/d/index.php
www.bfs.de
www.meteoschweiz.ch
www.ozon-info.ch
www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/

-
- ¹ English DR, Armstrong BK, Kricger A, Fleming C. Sunlight and cancer. *Cancer Causes Control*. 1997;8(3):271-83.
- ² Newton R, Ferlay J, Reeves G, Beral V, Parkin DM. Effect of ambient solar ultraviolet radiation on incidence of squamous-cell carcinoma of the eye. *Lancet*. 1996 25;347(9013):1450-1.
- ³ Tahery DP, Goldberg R, Moy RL. Malignant melanoma of the eyelid. A report of eight cases and a review of the literature. *J Am Acad Dermatol*. 1992;27(1):17-21.
- ⁴ Singh AD, Rennie IG, Seregard S, Giblin M, McKenzie J. Sunlight exposure and pathogenesis of uveal melanoma. *Surv Ophthalmol*. 2004;49(4):419-28.
- ⁵ Lutz JM, Cree I, Sabroe S, Kvist TK, Clausen LB, Afonso N, Ahrens W, Ballard TJ, Bell J, Cyr D, Eriksson M, Fevotte J, Guenel P, Hardell L, Jockel KH, Miranda A, Merletti F, Morales-Suarez-Varela MM, Stengrevics A, Lyng E. Occupational risks for uveal melanoma results from a case-control study in nine European countries. *Cancer Causes Control*. 2005;16(4):437-47.
- ⁶ Saw SM, Tan D. Pterygium: prevalence, demography and risk factors. *Ophthalmic Epidemiol*. 1999;6(3):219-28.
- ⁷ Lee GA, Williams G, Hirst LW, Green AC.. Risk factors in the development of ocular surface epithelial dysplasia *Ophthalmology*. 1994;101(2):360-4.
- ⁸ Sheedy JE, Edlich RF Ultraviolet eye radiation: the problem and solutions. *J Long Term Eff Med Implants*. 2004;14(1):67-71.
- ⁹ West SK, Valmadrid CT Epidemiology of risk factors for age-related cataract. *Surv Ophthalmol*. 1995;39(4):323-34.
- ¹⁰ Werner JS, Spillmann L. UV-absorbing intraocular lenses: safety, efficacy, and consequences for the cataract patient. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1989;227(3):248-56.
- ¹¹ Laube T, Apel H, Koch HR. Ultraviolet radiation absorption of intraocular lenses. *Ophthalmology*. 2004;111(5):880-5.
- ¹² Ham WT Jr, Mueller HA, Sliney DH Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. *Nature*. 1976 11;260(5547):153-5. .
- ¹³ Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BE, Nondahl DM Sunlight and the 5-year incidence of early age-related maculopathy: the beaver dam eye study. *Arch Ophthalmol*. 2001;119(2):246-50.
- ¹⁴ Mainster MA. Intraocular lenses should block UV radiation and violet but not blue light. *Arch Ophthalmol*. 2005;123(4):550-5.
- ¹⁵ <http://toms.gsfc.nasa.gov/>
- ¹⁶ Hoppe P, Peters A, Rabe G, Praml G, Lindner J, Jakobi G, Fruhmann G, Nowak D. Environmental ozone effects in different population subgroups. *Int J Hyg Environ Health*. 2003 206(6):505-16
- ¹⁷ Bodennahes Ozon. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Juni 2003
- ¹⁸ Hoppe P, Peters A, Rabe G, Praml G, Lindner J, Jakobi G, Fruhmann G, Nowak D. Environmental ozone effects in different population subgroups. *Int J Hyg Environ Health*. 2003;206(6):505-16.
- ¹⁹ Sanchez-Carrillo Cl, Ceron-Mireles P, Rojas-Martinez MR, Mendoza-Alvarado L, Olaiz-Fernandez G, Borja-Aburto VH. Surveillance of acute health effects of air pollution in Mexico City. *Epidemiology*. 2003;14(5):536-44.
- ²⁰ Ozon in der Schweiz 2003. Eidgenössische Kommission für Lufthygiene, Juli 2003
- ²¹ Arno Oddoy. II Gesundheitliche Wirkungen des Ozons aus pathologischer Sicht./ <http://www.berlin.de/lagets/Themen/16029.html>