

## **Fachverband für Strahlenschutz e.V.**

Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)  
für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz

---



# **Leitfaden „Nichtionisierende Strahlung“**

## **Sonnenstrahlung**

Der Leitfaden „Nichtionisierende Strahlung“ Sonnenstrahlung wurde vom Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. (Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association - IRPA - für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz erarbeitet).

Er gibt zu der jeweiligen Strahlungsart die physikalischen Grundlagen, den derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand über biologische Wirkungen, zulässige Expositionswerte und durchzuführende Schutzmaßnahmen an.

Dem Arbeitskreis gehören Experten auf dem Gebiet der nichtionisierenden Strahlung aus den Niederlanden, Österreich, der Schweiz und Deutschland an.

Ziel ist es, mit dem Leitfaden allen Interessierten die notwendigen Informationen an die Hand zu geben, um mit nichtionisierender Strahlung richtig umzugehen.

Der Leitfaden enthält zurzeit folgende Teile:

Sonnenstrahlung  
Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen  
Sichtbare und Infrarote Strahlung  
Laserstrahlung  
Lichteinwirkungen auf die Nachbarschaft  
Elektromagnetische Felder  
Infraschall  
Ultraschall

Verfasser: Stand: 25.01.2006

Günter Ott.  
Hans-Dieter Reidenbach  
Harald Siekmann  
Manfred Steinmetz  
Thomas Völker

Diese Ausgabe entspricht inhaltlich der Ausgabe **FS-05-130-AKNIR** vom 25.02.2005.

Redaktion und Bezug:

Hans-Dieter Reidenbach, FH-Köln,  
Sekretär des AK-NIR  
Fachhochschule Köln - Forschungsbereich HLT  
Betzdorfer Str. 2  
50679 Köln

Telefon: +49 221 - 8275 2208

Telefax: +48 221 - 885256

E-Mail: [hans.reidenbach@fh-koeln.de](mailto:hans.reidenbach@fh-koeln.de)

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
1 Einleitung.....	4
2 Grundlagen zur Sonnenstrahlung.....	4
2.1 Die Sonne.....	4
2.2 Die Atmosphäre.....	6
3 Strahlungsgrößen.....	7
3.1 UV-Strahlung.....	7
3.2 VIS- und IR-Strahlung.....	9
4 UV-Messungen.....	11
4.1 Messverfahren.....	11
4.2 UV-Monitoring.....	12
5 Wirkungen auf den Menschen.....	14
5.1 Biophysikalische Wechselwirkungen.....	14
5.2 Zellbiologische Wirkungen.....	16
5.3 Gesundheitliche Wirkungen.....	17
6 Gesundheitliche Bewertung der Sonnenstrahlung.....	26
7 Grenzwertempfehlungen.....	27
7.1 Allgemeines.....	27
7.2 UV-Index.....	27
7.3 UV-Vorhersage.....	30
8 Sonnenschutz.....	31
8.1 Allgemeine Empfehlungen.....	31
8.2 Empfehlung für die Bevölkerung.....	32
8.3 Empfehlungen für Arbeitnehmer (im Freien).....	36
9 Literatur.....	39

## 1 Einleitung

Sowohl im Berufsleben als auch im Freizeitbereich können Menschen der Sonnenstrahlung ausgesetzt sein. Die Sonne sendet neben der sichtbaren Strahlung die nicht sichtbare, aber mit einer Wärmeempfindung verbundene infrarote und die nicht sichtbare ultraviolette Strahlung aus. Auf Grund der Gefährdung, die hauptsächlich vom ultravioletten (UV) Strahlungsanteil der Sonnenstrahlung ausgeht, beschäftigt sich dieser Leitfadens vornehmlich mit dem UV-Strahlungsanteil.

Die UV-Strahlung ist so energiereich, dass schon geringe Bestrahlungsstärken für das ungeschützte Auge und die ungeschützte Haut ein erhöhtes gesundheitliches Risiko darstellen. Aufgabe eines wirksamen Strahlenschutzes ist es daher, auf die strikte Einhaltung der international anerkannten Grenzwertempfehlungen zu achten. Auf diese Weise können akute Schäden vermieden und chronische Effekte zumindest begrenzt werden. Bei der Bewertung des ultravioletten Strahlungsanteils der Sonne ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Wirkungsmechanismen gerade der chronischen Effekte, insbesondere Hautkrebs, nur teilweise aufgeklärt sind. Daher gilt es, bestehende Grenzwerte permanent dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand anzupassen bzw. bei Bedarf neue Grenzwertempfehlungen zu erarbeiten. Dabei tritt jedoch die Schwierigkeit auf, wie die bisher im Leben aufgenommene individuelle UV-Exposition zu berücksichtigen ist.

In Deutschland existieren zurzeit keine gesetzlich geregelten Expositionsgrenzwerte für UV-Strahlung. Die bestehenden UV-Expositionsgrenzwertempfehlungen in verschiedenen DIN-Normen und Unfallverhütungsvorschriften basieren vor allem auf Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission für Nichtionisierende Strahlung (ICNIRP), der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Strahlenschutzkommission (SSK).

## 2 Grundlagen zur Sonnenstrahlung

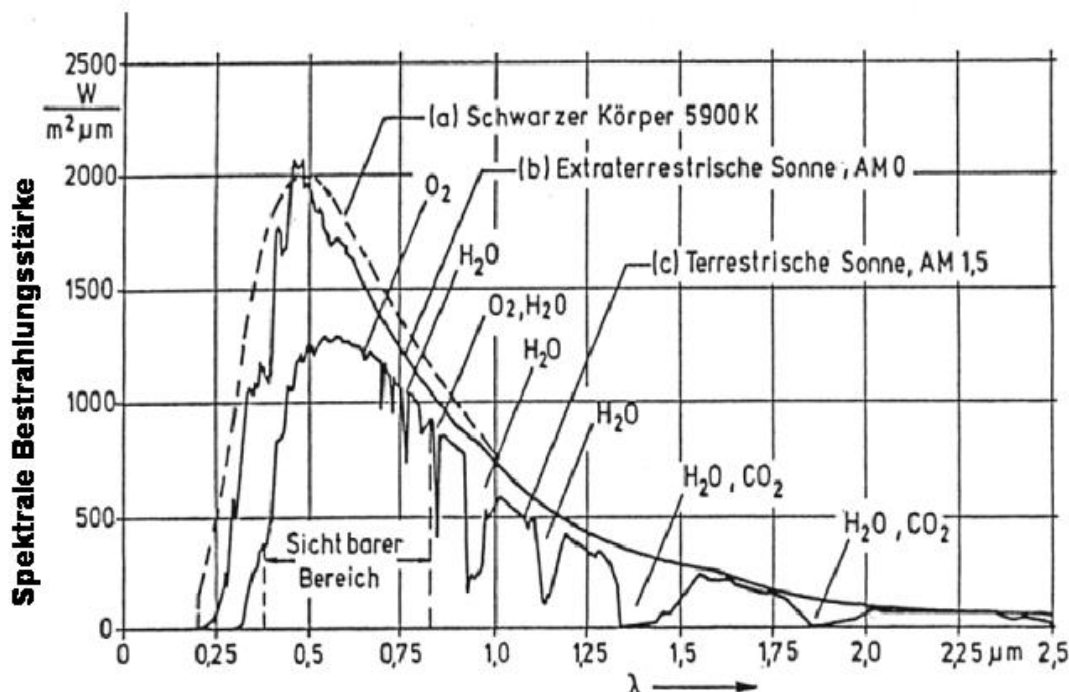
### 2.1 Die Sonne

Ein Leben auf der Erde ist ohne Sonne nicht denkbar. Die von der Sonne abgegebene optische Strahlung erwärmt den Boden, die Meere und die Atmosphäre und steuert damit das Wetter und das Klima. Vor allem der sichtbare Strahlungsanteil ("Licht") liefert die für das Pflanzenwachstum benötigte Energie. Durch die hohe Oberflächentemperatur der Sonne wird aber auch ein signifikanter Anteil ultravioletter, biologisch hochwirksamer Strahlung abgegeben.

Erst mit der Entwicklung der Kernphysik in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts konnte das Prinzip der solaren Energieerzeugung erklärt werden. Im Sonnenzentrum wird durch Kernfusion eine Temperatur von fast 16 Mio. Grad erzeugt, und zwar durch Verschmelzung von Wasserstoffatomkernen zu Heliumatomkernen. Zunächst wird die freigesetzte Energie durch kurzwellige elektromagnetische Strahlung und dann durch Konvektion zum Sonnenrand transportiert [1]. In der Fotosphäre, der sichtbaren Oberfläche, wird die Strahlung abgegeben, die auch die Erde erreicht. In der Fotosphäre können Sonnenflecken und das wabenartige Granulationsmuster (aufsteigende heiße Materie) beobachtet werden. Sonnenflecken sind dunkler als die übrige Sonnenoberfläche, weil sie kühler als ihre Umgebung sind und somit weniger Energie in Form von Strahlung aussenden. Die Fleckenhäufigkeit schwankt mit einer etwa 11-jährigen Periode, dem Sonnenfleckenzyklus. Die Lebensdauer von Sonnenflecken reicht von wenigen Stunden bis zu einigen Monaten. Bei großen Fleckengruppen kann das Strahlungsdefizit der Sonne bis zu 0,2 % ausmachen.

Von der Gesamtstrahlungsleistung in Höhe von ca.  $3,8 \cdot 10^{26}$  W gelangen ca.  $1,7 \cdot 10^{17}$  W zur Erde.

In Abb. 1 ist ein typisches Sonnenspektrum dargestellt, das oberhalb der Erdatmosphäre in ungefähr 20 km Höhe weitgehend dem Spektrum eines schwarzen Körpers von 6000 K Oberflächentemperatur entspricht [2].



**Abb. 1:** Spektrale Bestrahlungsstärke  $D_e$  eines schwarzen Körpers in Abhängigkeit von der Wellenlänge; Sonnenspektrum außerhalb der Atmosphäre und in Erdbodennähe aus [2].

AM: Maß für atmosphärische Trübung (air mass)

Entsprechend dieser Oberflächentemperatur liegt das Maximum der Strahlung bei etwa 500 nm. In diesem sichtbaren grünen Bereich hat das menschliche Auge seine höchste Empfindlichkeit. Die prozentuale Zusammensetzung des Sonnenspektrums, die sich beim Durchgang durch die Atmosphäre verändert (s. u.), ist in Tabelle 1 zusammen mit der Gesamtstrahlung aufgeführt.

	Ultraviolett (UV) [%]	Sichtbar (VIS) [%]	Infrarot (IR) [%]	Gesamtstrahlung [W/m <sup>2</sup> ]
außerhalb der Atmosphäre	9	47	44	1367
am Erdboden (Meereshöhe)	6	52	42	1120 *)

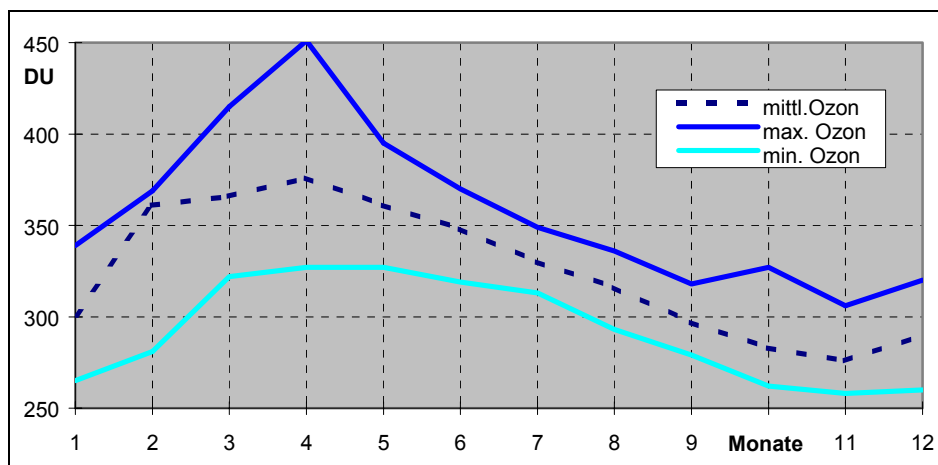
**Tab. 1:** Relative Sonnenbestrahlungsstärkeanteile und Gesamtbestrahlungsstärke außerhalb der Atmosphäre und am Erdboden. \*) Gesamtstrahlung bei klarem Himmel und senkrecht stehender Sonne

## 2.2 Die Atmosphäre

Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre verändern sich die „Intensität“ \*) und spektrale Verteilung der Sonnenstrahlung durch Absorption, Reflexion und Streuung. Je nach Sonnenstand durchlaufen die Sonnenstrahlen einen unterschiedlich langen Weg durch die Atmosphäre zur Erdoberfläche. Demnach ist die Zusammensetzung des Sonnenspektrums abhängig von der Tageszeit, der Jahreszeit, dem Breitengrad und der Höhenlage, erkennbar an der unterschiedlichen Färbung der Sonne. In Deutschland erreicht die Sonne im Sommer eine maximale Höhe von  $58^\circ$  im Norden und  $65^\circ$  im Süden, im Winter eine maximale Höhe von  $12^\circ$  bzw.  $19^\circ$ . Der größte Teil der täglichen Bestrahlung liegt zwischen 10 Uhr und 14 Uhr MEZ (im Sommer bei ca. 66 %, im Winter bei 75 %).

Die UV-Strahlung wird im Wesentlichen durch das Ozon in der Stratosphäre und Troposphäre absorbiert. Diese Filterfunktion ist für die UV-Strahlung stark wellenlängenabhängig. Mit kleiner werdender Wellenlänge unterhalb ca. 330 nm fällt die UV-Bestrahlungsstärke sehr stark ab. Man spricht auch von der sog. UV-B-Kante (siehe Kapitel 3). Bei noch kleineren Wellenlängen unterhalb von ca. 290 nm ist die spektrale UV-Bestrahlungsstärke selbst im Sommer in unseren Breitengraden mit  $< 10^{-6} \text{ Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$  nicht mehr nachweisbar.

Durch eine Verringerung der Ozonkonzentration in der Atmosphäre erhöht sich zum einen der Betrag der spektralen Bestrahlungsstärke. Zum anderen verschiebt sich auch die UV-B-Kante zu kürzeren Wellenlängen hin, d. h., zusätzliche sehr energiereiche UV-Strahlung erreicht damit den Erdboden [3]. Da die biologische Wirkung dieses Strahlungsanteils sehr groß ist, haben demnach auch kleine Änderungen des Ozongehaltes in der Stratosphäre ein durchaus ernst zu nehmendes Gefährdungspotential [4].



**Abb. 2:** Jahrgang der langjährigen Monatsmittelwerte des Gesamtozons (gestrichelt) im Vergleich zu den bisherigen maximalen und minimalen Gesamtozonwerten. Die Werte sind am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg (DWD) gemessen worden.

DU: Dobson unit, Maß für die Ozonschichtdicke

Der Begriff Intensität wird in verschiedenen Beschreibungen unterschiedlich benutzt.

Weiterhin unterliegt der Ozongehalt jahreszeitlichen Schwankungen. Nach Abb. 2 ist der Jahresgang des Gesamtozons mit einem Maximum im Frühjahr und einem Minimum im Herbst deutlich zu erkennen. Die Variabilität ist im Frühjahr am höchsten, allerdings in einer Jahreszeit, in der das Gesamtozon normalerweise sehr hoch ist [5].

In den letzten Jahren wurden zunehmend extrem niedrige Werte, so genannte "Mini-Ozonlöcher", gerade im Spätwinter/Frühjahr registriert. Dies ist vornehmlich auf den Zustrom ozonarmer Luft aus subtropischen Breiten zurückzuführen. Durch die Auflösung des Polarwirbels im Frühjahr kann ebenfalls auf Grund des FCKW-bedingten Ozonabbaus polare Luft mit geringem Ozongehalt in die gemäßigten Breiten transportiert werden [6].

Beim Durchgang durch die Erdatmosphäre wird die extraterrestrische UV-Strahlung weiterhin signifikant durch Wolken geschwächt. Die Intensitätsminderung wird in erster Linie durch Streuprozesse an Wassertropfen und/oder Eiskristallen hervorgerufen. Da Wolken in Größe, Typ und Höhe über dem Erdboden stark variieren können, ist eine Angabe über die Schwächung der UV-Strahlung sehr schwierig [7]. In diesem Punkt zeigen auch die existierenden Strahlungstransfermodelle ihre größten Unsicherheiten. Die Abschwächung des UV-Anteils kann beim Durchgang durch die Erdatmosphäre bis zu 90 % betragen. Auf der anderen Seite kann bei teilweise bewölktem Himmel die vom Erdboden in die Atmosphäre reflektierte UV-Strahlung an den Wolken in Richtung Boden rückreflektiert werden. Dadurch kann sich im Vergleich zu wolkenlosen Tagen die UV-Exposition in Bodennähe um ca. 10-20 % erhöhen.

Dunst, Spurengase sowie Luftverunreinigungen in der Atmosphäre können die UV-Strahlung bis zu 20 % schwächen. Der Einfluss der Bodenbeschaffenheit und damit zusätzlicher Rückreflexionen (Albedo) ist mit ca. 5 % in der Regel eher gering. Höhere Werte von bis zu 20 % treten bei sandigem Boden und insbesondere von bis zu 80 % bei verschneiten Oberflächen auf. Im schneebedeckten Gebirge ist demzufolge selbst im März bei noch relativ niedrigen Sonnenständen mit durchaus hohen UV-Belastungen zu rechnen.

Die sichtbare und infrarote Strahlung wird vor allem von Wasserdampf, Sauerstoff und Kohlendioxid zumeist selektiv absorbiert, was zu ausgeprägten Bandlücken im Spektrum führt (s. Abb. 1). Die Absorption führt in erster Linie zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre.

### **3 Strahlungsgrößen**

Die optische Strahlung ist Teil des elektromagnetischen Spektrums. Sie liegt zwischen den längeren, besonders im Funk verwendeten Mikrowellen und den kürzeren Röntgenstrahlen. Das optische Spektrum umfasst den Wellenlängenbereich von 100 nm bis 1 mm und ist aus biologischen Gründen in mehrere Bereiche unterteilt. Optische Strahlung wird durch Energieabgabe von angeregten Elektronen in Atomen und Molekülen und durch Veränderungen von molekularen Schwingungszuständen (Entstehung von Wärme) erzeugt.

#### **3.1 UV-Strahlung**

UV-Strahlung beinhaltet den energiereichsten Wellenlängenbereich optischer Strahlung. Die Einteilung in drei Bereiche erfolgte insbesondere unter Berücksichtigung der biologischen Wirkung sowie der Strahlungsanteile im erdnahen Spektrum der Sonne (Tab. 2).

UV-Strahlung ist nicht sichtbar und nicht direkt wahrnehmbar. Eine indirekte Wahrnehmung erfolgt über biologische Reaktionen (z. B. Sonnenbrand und "Verblitzung" der Augen).

Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung wird die Strahlungsenergie der UV-Strahlung vom exponierten Objekt nicht gleichmäßig aufgenommen, sondern selektiv von speziellen Molekülen absorbiert. Welcher Anteil der auf die Oberfläche auftreffende Strahlung in dem bestrahlten Objekt absorbiert und dann zur fotobiologischen Wirkung kommt, hängt von der molekularen Zusammensetzung des Objektes ab. Demzufolge wird zwischen unbewerteten (auffallende Strahlung) und bewerteten (fotobiologisch wirksamen) Strahlungsgrößen unterschieden.

Wellenlängenbereich	UV-C (nm)	UV-B (nm)	UV-A (nm)
Nach CIE, DIN, IEC und WHO	100-280	280–315 *)	315-400

**Tab. 2:** Einteilung der UV-Wellenlängenbereiche nach CIE; International Lighting Vocabulary, 1987; Deutscher Norm DIN 5031, Teil7; Internationaler Elektrotechnischer Kommission IEC 60825-9 und Weltgesundheitsorganisation (WHO)

Die Wirksamkeit der UV-Strahlung ist stark von der Wellenlänge abhängig und wird für die verschiedenen biologischen Effekte, wie z. B. Pigmentierung und Erythem durch spektrale biologische Wirksamkeiten  $s(\lambda)_{relbiol}$  im UV-Bereich beschrieben. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Aktionsspektren. Sie ist im Leitfadens Ultraviolette Strahlung ausführlich dargestellt.

Im Folgenden werden die Berechnungsformeln für die Größen des Strahlungsfeldes angegeben. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Summenwirkung aus den verschiedenen Wellenlängenbereichen unabhängig von der Art der jeweiligen Teilstrahlungen ist, m. a. W., es wird Linearität und Anwendbarkeit des Bunsen-Roscoeschen Gesetzes unterstellt.

Die fotobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke  $E_{biol}$  ergibt sich im Wellenlängenbereich von  $\lambda_1$  bis  $\lambda_2$  aus den spektralen Bestrahlungsstärken  $E_\lambda(\lambda)$  und den relativen spektralen biologischen Wirksamkeiten  $s_{relbiol}(\lambda)$  durch:

$$(1) \quad E_{biol} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda(\lambda) \cdot s_{relbiol}(\lambda) \cdot d\lambda.$$

Sie wird in der Einheit  $W/m^2$  angegeben. In Gl. 1 bedeutet die spektrale Bestrahlungsstärke  $E_\lambda(\lambda)$  eine auf eine Fläche fallende, unbewertete Strahlungsleistung in einem infinitesimalen Wellenlängenintervall bei der Wellenlänge  $\lambda$ . Sie ist auf die betreffende Fläche und das Wellenlängenintervall bezogen. Spektrale Größen werden spektroradiometrisch ermittelt und sind mit dem jeweils in Betracht kommenden Aktionsspektrum zu gewichten. Weitere Ausführungen dazu stehen im Kapitel 5.

\*) Übergang bei einigen anderen Organisationen bei 320 nm

Die biologisch wirksame Bestrahlung  $H_{\text{biol}}$  wird in der Einheit  $\text{J/m}^2$  angegeben und ergibt sich aus der biologisch wirksamen Bestrahlungsstärke  $E_{\text{biol}}$  und der Einwirkungsdauer  $t_2 - t_1$  zu:

$$(2) \quad H_{\text{biol}} = \int_{t_1}^{t_2} E_{\text{biol}} \cdot dt$$

Zur Erzeugung einer wahrnehmbaren fotobiologischen Wirkung ist eine Mindestbestrahlung  $H_s$  (Schwellenbestrahlung) erforderlich. Im Falle des Erythems stellt die erythemwirksame Schwellenbestrahlung  $H_{s,\text{er}}$  diejenige erythemwirksame Bestrahlung  $H_{\text{er}}$  dar, die eine gerade merkliche Schwellenreaktion erzeugt. Für den hellhäutigen Europäer des Hauttyps II beträgt sie:

$$(3) \quad H_{s,\text{er}} = 250 \text{ J/m}^2$$

### 3.2 VIS- und IR-Strahlung

Der mit den Augen wahrnehmbare optische Strahlungsanteil heißt sichtbare Strahlung und wird allgemein mit VIS (visible) abgekürzt. Der daran angrenzende längerwellige Anteil wird als Infrarot-(IR-) Strahlung bezeichnet und ebenfalls in drei Bereiche unterteilt (Tab. 3).

IR-Strahlung ist nicht sichtbar, allerdings über Wärmerezeptoren direkt wahrnehmbar. Die Augenmedien sind für den IR-A-Anteil bis zur Netzhaut durchlässig.

Wie bei der UV-Strahlung wird auch bei der sichtbaren und kürzerwelligen IR-Strahlung die Strahlungsenergie vom exponierten Objekt nicht gleichmäßig aufgenommen, sondern bekanntermaßen noch selektiv von speziellen Molekülen absorbiert. Auch hier ist - zumindest teilweise - zwischen unbewerteten (auffallende Strahlung) und bewerteten (fotobiologisch wirksamen) Strahlungsgrößen zu unterscheiden.

Wellenlängenbereich	VIS (nm)	IR-A ( $\mu\text{m}$ )	IR-B ( $\mu\text{m}$ )	IR-C ( $\mu\text{m}$ )
Nach CIE, DIN, IEC und WHO	380 *)-780	0,78-1,4	1,4-3	3-1 000

**Tab. 3:** Einteilung der UV-Wellenlängenbereiche nach CIE; *International Lighting Vocabulary*, 1987; *Deutscher Norm DIN 5031, Teil 7*; *Internationaler Elektrotechnischer Kommission IEC 60825.9* und *Weltgesundheitsorganisation*.

\*) Überlappung mit UV-A-Bereich, siehe Tab. 2

Im Folgenden werden die Berechnungsformeln für die Größen des Strahlungsfeldes angegeben. Zum einen werden die radiometrischen Größen der Bestrahlungsstärke  $E$  in  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  und der Bestrahlung  $H$  in  $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ , die die Bestrahlung einer Oberfläche beschreiben, benötigt. Zum anderen ist für das optische Spektrum außerhalb des UV-Bereiches die Strahldichte  $L$  in  $\text{Wm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$  einer ausgedehnten Quelle, die ein Bild auf der Netzhaut ergibt, zu bestimmen. Diese erhält man aus der spektralen Strahldichte  $L_\lambda(\lambda)$  im Wellenlängenbereich von  $\lambda_1$  bis  $\lambda_2$  aus:

$$(4) \quad L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda.$$

Dabei stellt die spektrale Strahldichte  $L_\lambda(\lambda)$  den Quotienten aus der Strahlungsleistung und dem Produkt aus der Fläche eines Querschnittes senkrecht zur Strahl(bündel)ausbreitung und dem durchstrahlten Raumwinkel dar, und zwar in einem infinitesimalen Wellenlängenbereich.

Die mit der spektralen Hellempfindlichkeitsfunktion  $V(\lambda)$  gewichtete Strahldichte beschreibt die Helligkeit einer Quelle. Die biologisch wirksame Strahldichte  $L$  erhält man durch Bewertung mit der relativen spektralen Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung  $B_\lambda(\lambda)$  bzw. durch Bewertung mit der relativen spektralen Wirksamkeit für thermische Schädigung, insbesondere der Augen,  $R_\lambda(\lambda)$  aus:

$$(5a) \quad L_{\text{bl}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda(\lambda) \cdot B_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda$$

bzw.

$$(5b) \quad L_{\text{th}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda(\lambda) \cdot R_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda.$$

Die relative spektrale Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung  $B_\lambda(\lambda)$  ist dabei im Wellenlängenbereich von 300 nm bis 700 nm gegeben [8]. Sie berücksichtigt die Möglichkeit eines fotochemisch erzeugten Netzhautschadens und ist insbesondere auf den kurzwelligen Teil des sichtbaren Spektrums beschränkt, wobei sich der Bereich wegen der teilweisen Überlappung (siehe Tab. 2) auch in das UV-Gebiet erstreckt. Die relative spektrale Wirksamkeit für thermische Gefährdung der Netzhaut  $R_\lambda(\lambda)$  gilt im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 1400 nm [8].

Bei gegebener Strahldichte  $L$  und relativ kleiner Fläche der Quelle lässt sich für die Strahlung, die sich in Richtung der Flächennormalen ausbreitet, die Bestrahlungsstärke  $E$  durch Multiplikation mit dem Raumwinkel  $\Omega$ , unter dem das Auge eine Quelle sieht, berechnen:

$$(6) \quad E = L \cdot \Omega.$$

Im sichtbaren Spektralbereich wird eine optische Quelle auch durch die fotometrischen Größen der Leuchtdichte  $L_p$  in  $\text{cd}/\text{m}^2$  in ihrer Helligkeit und durch die Beleuchtungsstärke  $E_p$  in  $\text{lm}/\text{m}^2$  bzw. lx (Lux) als Lichtstrom auf einer Fläche ausgedrückt und dabei mit der spektralen Hellempfindlichkeitsfunktion für das Tagessehen bewertet.

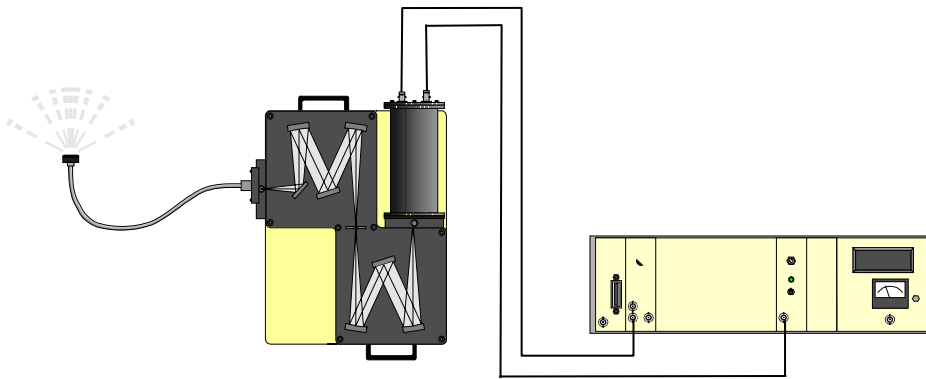
## 4 UV-Messungen

### 4.1 Messverfahren

#### Physikalische Verfahren:

UV-Messungen können physikalisch entweder durch spektralradiometrische Messungen oder durch Messungen mit einem geeigneten Empfänger und vorgeschaltetem Filtersystem erfolgen.

Beim Spektralverfahren (Abb. 3) wird die UV-Strahlung zunächst durch ein Prisma oder Gitter spektral zerlegt. Nach der spektralen Zerlegung wird der Ausgangsspalt auf einer Empfängerfläche, z. B. einem Fotomultiplier, abgebildet und dort das optische Signal in ein elektrisches Signal umgesetzt. Durch Multiplikation mit einem Korrekturfaktor, der durch eine Kalibrierung ermittelt wurde, werden die apparatebedingten spektralen Eigenschaften einschließlich der Empfängerempfindlichkeit berücksichtigt. Der so ermittelte Wert ist die spektrale Bestrahlungsstärke ( $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ ). Bei der Erfassung von Linienspektren sollte mit einer schmalen spektralen Bandbreite (z. B. 1 nm) gemessen werden, damit eine hinreichend genaue Auflösung erreicht wird [30].



**Abb. 3:** Schematische Darstellung eines Spektralradiometers mit Eingangsoptik (Diffusor, Lichtwellenleiter), Monochromator und Auswerteelektronik. Der Strahlengang über Spiegel und Gitter ist im Doppelmonochromator gesondert dargestellt.  
Quelle: Gigahertz-Optik

Beim Integralverfahren wird ein vom Detektortyp abhängiger, begrenzter Spektralbereich erfasst. Mit Hilfe eines vorgeschalteten Filters, kann die Empfängercharakteristik an eine bestimmte spektrale Wirkungsfunktion angepasst werden. Es werden hohe Anforderungen an die spektrale Transmission der Filter gestellt. Schon bei geringen Abweichungen der Transmission vom Sollwert sind große Fehler bei der Messung von UV-Strahlung möglich. Eine Messung mit einem Integralradiometer ist relativ einfach durchzuführen. Allerdings geht die Information über die spektrale Zusammensetzung der gemessenen Strahlung verloren.

### **Fotochemisches Verfahren:**

Beim fotochemischen Verfahren werden hauptsächlich Polysulfonfilme eingesetzt. Hierbei wird ausgenutzt, dass sich bei UV-Bestrahlung des Polysulfons die Absorption ändert. Das Ansprechverhalten dieses Materials ist nicht konstant und von der Wellenlänge abhängig. Näherungsweise entspricht die spektrale Empfindlichkeit dem Verlauf der Erythem-Wirkungsfunktion und der IRPA/ICNIRP UV-Arbeitsschutzfunktion. Die UV-Exposition auf den Polysulfonfilm wirkt kumulativ. In einer nachträglichen Auswertung wird über die Absorptionsänderung und ein Berechnungsmodell die Bestrahlung (UV-Dosis) ermittelt. Bei bekanntem Spektrum kann dieses Dosimeter in bestimmten Grenzen über einen Korrekturwert für unterschiedliche Strahlungsquellen eingesetzt werden [31].

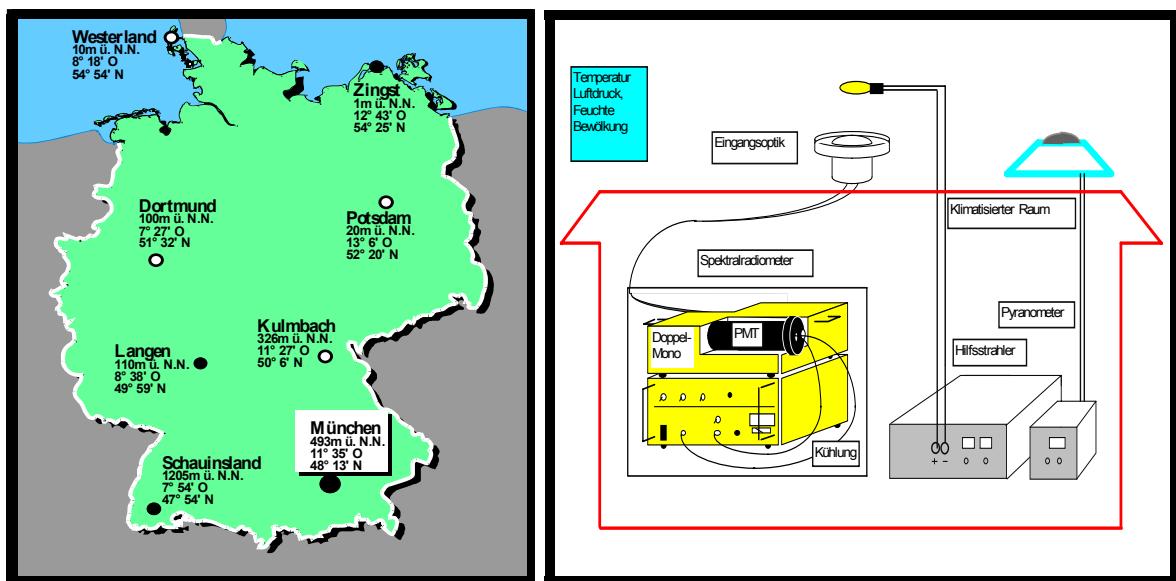
### **Biologische Verfahren:**

Im Vergleich zu den physikalischen und chemischen Verfahren wird die Wirkung solarer UV-Strahlung auf biologische Systeme mit Bioindikatoren direkt erfasst. Bei diesem Messverfahren werden der artspezifische Empfindlichkeitsbereich im UV-Spektrum eines jeden Organismus und die Wirkungen der UV-Reparatursysteme berücksichtigt. Zum Einsatz kommt z. B. ein vom DLR entwickelter Biofilm, bei dem getrocknete Sporen des Bakteriums *Bacillus subtilis* verwendet werden. Das Wirkungsspektrum des Biofilms ist dem Erythem-Wirkungsspektrum sehr ähnlich. Nach Bestrahlung des Biofilms wird im Labor über ein standardisiertes Verfahren die Auswertung vorgenommen. Hierbei wird über die verbleibende Keimfähigkeit der Sporen ermittelt, wie viel an UV-Strahlung auf den Biofilm aufgetroffen ist.

## **4.2 UV-Monitoring**

Im Juli 1993 haben das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und das Umweltbundesamt (UBA) einen kontinuierlichen UV-Messbetrieb an den 4 Stationen in Zingst (Ostseeküste), Offenbach / Langen (Rheingraben bei Frankfurt), Schauinsland (Südschwarzwald) und Neuherberg (Stadtrand von München) aufgenommen. In den Folgejahren wurde zusammen mit dem DWD und weiteren assoziierten Institutionen das Messnetz zu einem bundesweiten UV-Messnetz ausgebaut. Abbildung 4, links, zeigt die Standorte des UV-Messnetzes. Assoziierte Institutionen sind die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund (BAuA), die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) mit der Station in Westerland/Sylt, das Meteorologische Observatorium Potsdam des Deutschen Wetterdienstes (DWD), das Landesamt für Umweltschutz Bayern mit der Messstation in Kulmbach (LfU Bayern) und das Niedersächsische Landesamt für Ökologie mit der Messstation in Hannover und auf der Insel Norderney (NLOE).

In München befindet sich die Messnetzzentrale, die zusätzlich zur Messung die Qualitätssicherung und Speicherung der Messdaten übernimmt. Bei der Auswahl der Messstationen wurden sowohl die personelle und instrumentelle Infrastruktur der beteiligten Institutionen als auch die in Deutschland vorhandenen Unterschiede hinsichtlich der Breitengrade, der Höhenlagen, des Klimas und der Lufttrübung berücksichtigt [32].



**Abb. 4:** Links: Verteilung der Messstationen in Deutschland  
Rechts: prinzipieller Aufbau einer UV-Messstation

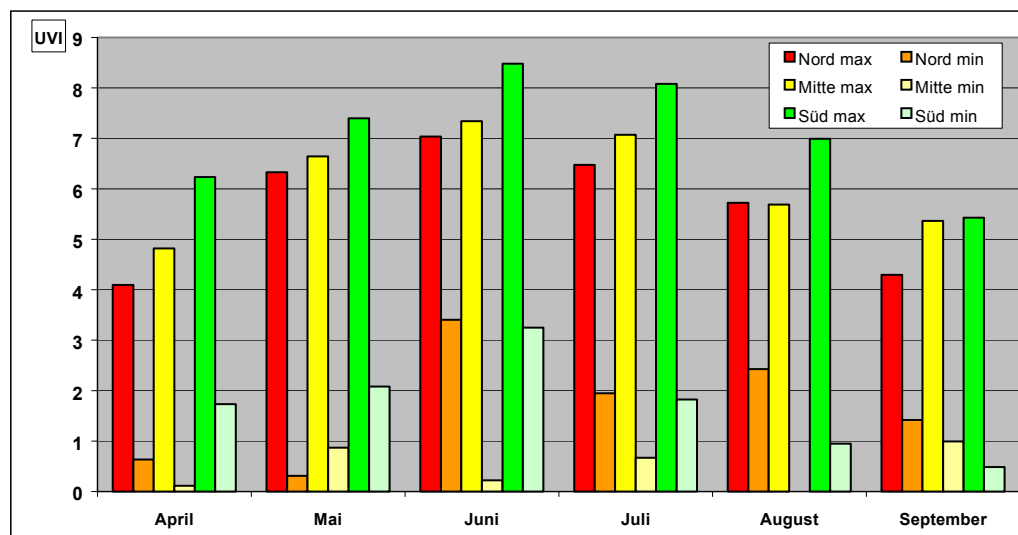
An allen Standorten sind die empfindlichen Baugruppen der Messsysteme innerhalb eines klimatisierten Laborraums untergebracht und mit einem Lichtwellenleiterbündel mit der auf dem Dach befindlichen Eingangsoptik verbunden (Abb. 4, rechts). Die Eingangsoptik ist horizontal ausgerichtet und erfasst sowohl die direkte solare UV-Strahlung als auch die diffus gestreute UV-Himmelsstrahlung (Globalstrahlung). Die Gesamtglobalstrahlung wird mit einem Pyranometer zusätzlich erfasst.

Zur Qualitätssicherung der aufgenommenen Messdaten wird jedes Messsystem in drei- bis sechsmonatigen Abständen bezüglich der Wellenlänge und Signalempfindlichkeit kalibriert. Darüber hinaus wird täglich die Wellenlängenkonstanz und die Signalempfindlichkeit der Geräte überprüft. Um den technisch hochwertigen Standard der Messsysteme zu gewährleisten, werden im UV-Kalibrierlabor der Messnetzzentrale die Messkomponenten laufend den aktuellen technischen Standards angepasst.

Die solare UV-Strahlung wird im Wellenlängenbereich von 290 nm bis 400 nm gemessen, d. h. sowohl im UV-B- als auch im UV-A-Bereich. Bei kürzeren Wellenlängen ist die spektrale Bestrahlungsstärke in unseren Breitengraden so gering, dass sie mit den derzeit zur Verfügung stehenden Messsystemen nicht erfasst werden kann. Aufgrund der geringen Zeitintervalle zwischen aufeinander folgenden Messungen von 6 Minuten können auch kurzzeitige Veränderungen der UV-Strahlung, z. B. an wechselhaft bewölkten Tagen, ausreichend genau erfasst werden.

Für die aktuelle Berichterstattung wird tagsüber von der Messzentrale ein reduzierter Datensatz abgerufen und zusammen mit Daten des Deutschen Wetterdienstes via Internet ([www.bfs.de](http://www.bfs.de)) und Videotext des BR 3 der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Der komplette Datensatz wird jede Nacht von der Messnetzzentrale abgerufen, dort auf Plausibilität geprüft, gesundheitlich bewertet, für die weitere Öffentlichkeitsarbeit aufbereitet und anschließend im Zentralrechner gespeichert.

Jedes Jahr werden die UV-Daten in Form von Jahresberichten im Internet veröffentlicht [26]. Aktuelle Informationen werden in Form von Pressemitteilungen weitergegeben. Eine wichtige Kenngröße für die Öffentlichkeitsarbeit ist der UV-Index (siehe Kapitel 7.2). In Abb. 5 sind die maximalen und minimalen UV-Indexwerte in den Monaten April bis September 2002 für die Stationen Zingst (Norddeutschland), Dortmund (mittleres Deutschland) und München (Süddeutschland) dargestellt. Zum einen sind die großen Schwankungen innerhalb eines Monats deutlich zu erkennen, zum anderen die langzeitige Überschreitung des UV-Index von 5, d. h. eine nach WHO-Klassifizierung hohe UV-Belastung (siehe Tabelle 8).



**Abb. 5:** Gemessene max. und min. UVI-Werte eines Monats zwischen April und September 2002

## 5 Wirkungen auf den Menschen

### 5.1 Biophysikalische Wechselwirkungen

Die Wechselwirkungen der Sonnenstrahlung mit biologischem Gewebe werden durch die physikalischen Parameter der Strahlungsquelle und die "optischen" Eigenschaften des Gewebes bestimmt. Die wichtigsten Parameter der Exposition sind die Wellenlänge, Bestrahlungsdauer und -stärke, die wichtigsten Gewebeparameter sind Absorption, Streuung und Reflexion. In den meisten Fällen überwiegt jeweils einer der "optischen" Effekte. Bei der Absorption können auch sekundäre Effekte auftreten, wie z. B. Abgabe der Energie ohne fotochemische Reaktion (Lumineszenz).

#### Reflexion:

An glatten Oberflächen, d. h. an Flächen, deren Rauigkeit klein ist gegenüber der Wellenlänge der einfallenden Strahlung, sind die Reflexionen regulär, es gilt das Reflexionsgesetz "Ausfallswinkel ist gleich Einfallswinkel". Sind die Unebenheiten der Oberfläche unregelmäßig orientiert und größer als die Wellenlänge der einfallenden Strahlung, spricht man von diffuser Reflexion. Die Reflexion folgt dann dem sog. Cosinus-Gesetz.

Die Reflexion an der Hautoberfläche und darunter liegenden obersten Hornschicht, d. h. die Remission erreicht im UV-Bereich einen Wert von bis zu 10 %, nimmt im sichtbaren Bereich deutlich zu und erreicht im IR-A-Bereich einen Wert von ca. 50 %. Im längerwelligen IR-B-Bereich nimmt die Reflexion wieder ab bis auf einen Wert von 5-10 %. Der Reflexionsgrad hängt auch vom Melaningehalt ab. Mit dunklerer Haut nimmt die Reflexion insbesondere im VIS-Bereich ab.

**Brechung:**

Die Strahlungsbrechung an der Oberfläche wird durch die unterschiedliche Brechkraft der Medien hervorgerufen und gehorcht dem Snell'schen Gesetz. Aus optischer Sicht sind die Gewebestrukturen von Haut und Auge inhomogen geschichtete Medien. Die einzelnen Gewebeschichten haben unterschiedliche Brechungsindizes und bewirken damit unterschiedliche Ablenkungen des jeweils einfallenden Strahls.

**Streuung:**

Teilchen oder Gewebestrukturen in der Größenordnung der Wellenlänge der Strahlung und größer streuen sehr viel stärker in Vorwärts- als in Rückwärtsrichtung (Mie-Streuung). Teilchen oder Gewebestrukturen sehr viel kleiner als die Wellenlänge der Strahlung streuen umgekehrt proportional zur 4. Potenz der Wellenlänge (Rayleigh-Streuung), d. h. der Streuanteil steigt sehr stark mit kürzeren Wellenlängen. Diese Streuung ist nicht gerichtet.

Die Ergebnisse beider Streuprozesse sind z. B. für die Blaufärbung des klaren Himmels und die Rotfärbung der niedrigstehenden Sonne verantwortlich. Durch die stärkere Streuung der Sonnenstrahlung an den Luftmolekülen im kurzwelligen sichtbaren Spektralbereich enthält die gestreute Sonnenstrahlung aus dem Himmelsraum hauptsächlich blaue Anteile. Bei niedrigen Sonnenständen durchläuft die Sonnenstrahlung einen längeren Weg durch die Atmosphäre. Durch die erhöhte Absorption und Streuung fehlen der direkten Strahlungskomponente zunehmend bläuliche Anteile. Die sich ergebende Rotfärbung lässt sich auch an dünnen Wolken besonders gut beobachten, da diese die Strahlung relativ unabhängig von der Wellenlänge gleich stark streuen (Mie-Streuung).

Bezogen auf das Gewebe kann folgender Effekt beobachtet werden: durch den Streueffekt fällt die Bestrahlungsstärke  $E$  nicht exponentiell ab, sondern ist aufgrund der zusätzlichen Streuung von benachbarten Gewebearealen in geringer Gewebetiefe sogar noch höher als die einfallende Bestrahlungsstärke  $E_0$ . Es findet eine Überlagerung von einfallender mit der rückgestreuten Strahlung aus tieferen Schichten statt (Albedo).

**Absorption:**

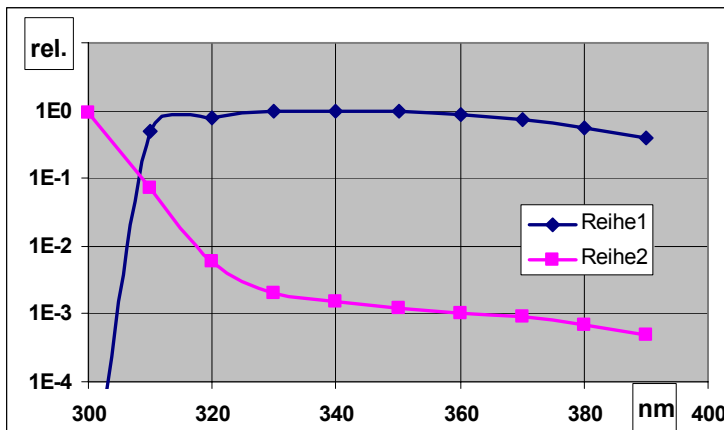
Voraussetzung für eine biologische Wirkung ist die Absorption von Strahlung. Durch die aufgenommene Energie werden die Moleküle angeregt, die dann verschiedene fotochemische Reaktionen hervorrufen können. Bei längeren Wellenlängen im IR-Bereich kann die Strahlung nur noch Änderungen der Schwingungszustände hervorrufen, die als Wärmewirkung wirksam werden.

Bei fotostabilen Molekülen kommt es zu keiner biologischen Wirkung. Die aufgenommene Energie wird unmittelbar nach Einstrahlung (Fluoreszenz) oder verspätet (Phosphoreszenz) als Strahlung wieder ausgesendet. Verhornte Hautanteile, aber auch elastische Fasern der Haut fluoreszieren weiß-bläulich bis weiß-gelblich. Die aufgenommene Energie kann auch in Wärme umgesetzt werden, die im Gewebe z. B. zu einer Beschleunigung der normalen Reaktionsabläufe führen kann.

Bei ausschließlicher Absorption würde die auftreffende Bestrahlungsstärke  $E_0$  im Gewebe in erster Näherung nach dem Lambert-Beerschen Gesetz exponentiell abfallen:

$$(7) \quad E_{(x)} = E_0 \cdot e^{-ax}$$

Mit der Eindringtiefe  $x$  und dem Absorptionskoeffizienten  $a$ . Abbildung 6 stellt obigen Zusammenhang in grafischer Form dar. Die Abschwächung im Gewebe wird durch die Absorptionseigenschaften der Körperflüssigkeiten und der festen Bestandteile des Gewebes bestimmt und ist stark wellenlängenabhängig.



**Abb. 6:** Abschwächung im Gewebe nach dem Lambert-Beerschen Gesetz

Die meisten organischen Moleküle absorbieren sehr stark im ultravioletten Bereich. Proteine, die zu 15-20 % Bestandteil aller Zellen sind, absorbieren ebenfalls in diesem Spektralbereich, besonders bei 280 nm. Daraus folgt, dass UV-Strahlung nicht sehr tief in biologisches Gewebe eindringen kann. Hämoglobin, überwiegend in gefäßreichem Gewebe, absorbiert auch im sichtbaren Bereich (grün und gelb) bis zu einer scharfen Grenze um 600 nm. Demgegenüber verringert sich die Absorptionsfähigkeit bei Melanin, dem Hauptpigment der Haut und das wichtigste Chromophor der Epidermis, monoton vom UV über den sichtbaren Bereich. IR-Strahlung wird in erster Linie von Wasser absorbiert mit zunehmend stärkeren Banden im längerwelligen IR [9].

Wegen geringerer Streuung und Absorption kann optische Strahlung zwischen 600 nm und 1200 nm tiefer in das Gewebe eindringen.

## 5.2 Zellbiologische Wirkungen

Die Zelle als kleinste Einheit belebter Materie verfügt über viele Makromoleküle, die optische Strahlung absorbieren können, wie z. B. Eiweiße, Fette und Nukleinsäuren. Die UV-Strahlung des Sonnenlichts kann von der die Erbinformation tragenden Desoxyribonukleinsäure (DNA) der Hautzellen direkt absorbiert werden (hauptsächlich UV-B). Sie kann ihren Einfluss aber auch indirekt über UV-A-erzeugte molekulare Spezies wie z. B. reaktive Sauerstoff-Verbindungen, ausüben, die dann ihrerseits mit dem DNA-Molekül interagieren. Die hierbei hervorgerufene Ausbildung unspezifischer chemischer Bindungen oder die Entstehung von DNA-Strangbrüchen sind zumeist destruktiv und stellen die Grundlage für gravierende Schäden in der Erbinformation der Zelle dar [10].

Die vorhandenen Reparaturmechanismen, die noch vor (enzymatisch), während oder nach der Zellteilung (Überbrückung der DNA-Stellen und spätere Lückenfüllung durch Rekombination) wirksam werden, können nicht immer vollständig den Schaden beheben. Strahleninduzierte Zellschäden können somit in einem Zellverband den Gesamtorganismus gefährden. Infolge mangelhafter Reparatur kann die Zelle darüber hinaus entarten und durch ständige Teilung eine Krebserkrankung herbeiführen.

Neben stochastischen kann es auch zu deterministischen Ereignissen kommen. Mit steigender Bestrahlungsstärke  $E$  oder Bestrahlungsdauer  $t$  steigt die Anzahl der Reaktionsprodukte proportional an, auf Gewebeebene können daher ab einer bestimmten Bestrahlung  $H_s$  (Schwellenwert) Schäden wahrgenommen werden.

VIS-Strahlung kann im kurzwelligen sichtbaren Bereich noch kovalente Molekülbindungen aufbrechen. Im längerwelligen Bereich wird die Strahlung im Wesentlichen in Wärme umgesetzt. Die zwei wichtigsten Prozesse im sichtbaren Bereich sind für die Pflanzen die Fotosynthese und für den Menschen der Sehvorgang.

Über die Fotosynthese (unter Energieaufnahme Umwandlung von Kohlendioxid und Wasser zu Zucker) wird solare Strahlungsenergie in Form von chemischen Verbindungen gespeichert. Von der auf die Erde auftreffenden Sonnenenergie mit ca.  $10^{22}$  kJ/Jahr wird ca.  $\frac{1}{2}$  Prozent umgesetzt und der Biosphäre zugänglich gemacht, der überwiegende Teil wird als Wärmestrahlung in den extraterrestrischen Raum wieder abgegeben. Wesentliche Bedingung für die Fotosynthese ist die Anwesenheit von Blattfarbstoffen. Die wichtigsten sind Chlorophylle (Absorption im blauen und roten Bereich).

In der Retina des menschlichen Auges befinden sich ca. 120 Mio. Stäbchen und 6 Mio. Zapfen. Unter Bestrahlung ändern in den Sehzellen Sehfärbstoffe wie Rhodopsin durch Absorption ihre Konformität, zerfallen in mehreren Prozessen und werden in mehreren enzymatischen Prozessen wieder aufgebaut.

IR-Strahlung führt zu einer Temperaturerhöhung im Gewebe. Die durch Temperaturreize bewirkten Aktivitäten der Thermorezeptoren lösen Temperaturempfindungen aus. Die Regelkreise beim Menschen sind sehr fein aufeinander abgestimmt, um die Kerntemperatur auf  $\pm 0,1$  °C konstant zu halten.

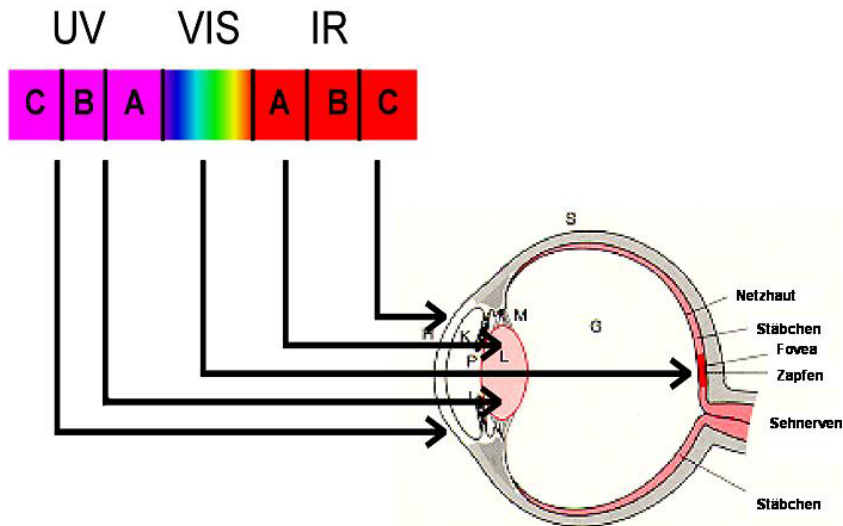
### 5.3 Gesundheitliche Wirkungen

#### Allgemeines:

Sonnenstrahlung dringt in menschliches Gewebe nur oberflächlich ein; die inneren Organe werden nicht erreicht. Daher sind die kritischen Organe für die Einwirkung optischer Strahlung auf den Menschen die Augen und die Haut. Die Eindringtiefe selbst ist von der Wellenlänge abhängig. Während kurzwellige UV-Strahlung und langwellige IR-Strahlung bereits an der Oberfläche absorbiert werden, dringt Strahlung im sichtbaren und nahen infraroten Bereich tiefer ein. Entsprechend hängt der Ort der Wirkung im Auge und in der Haut von der Wellenlänge ab. Art und Schwere eines durch Sonnenstrahlung hervorgerufenen Effektes sind neben der Wellenlänge von der Intensität der Strahlung und von ihrer Dosis abhängig. Die sichtbare Strahlung ermöglicht dem Menschen über den Sehvorgang das Erkennen der Umgebung und ist für die Meisten der wichtigste Sinneseindruck. Bei der Wirkungsbeurteilung überwiegen aber eindeutig die gesundheitlichen Risiken [11].

### Das Auge:

Der aus Hornhaut, Vorderkammerflüssigkeit und Linse bestehende dioptrische Apparat des Auges und der Glaskörper sind nur für Wellenlängen zwischen 400 nm und 1200 nm bis zu 90 % durchlässig. Die mit kleiner werdender Wellenlänge abnehmende Transmission ab ca. 400 nm ist auf die zunehmende Absorption der Linse und der Hornhaut zurückzuführen. In Abb. 7 ist sowohl der Aufbau des Auges als auch die Transmission der optischen Strahlung dargestellt [12].

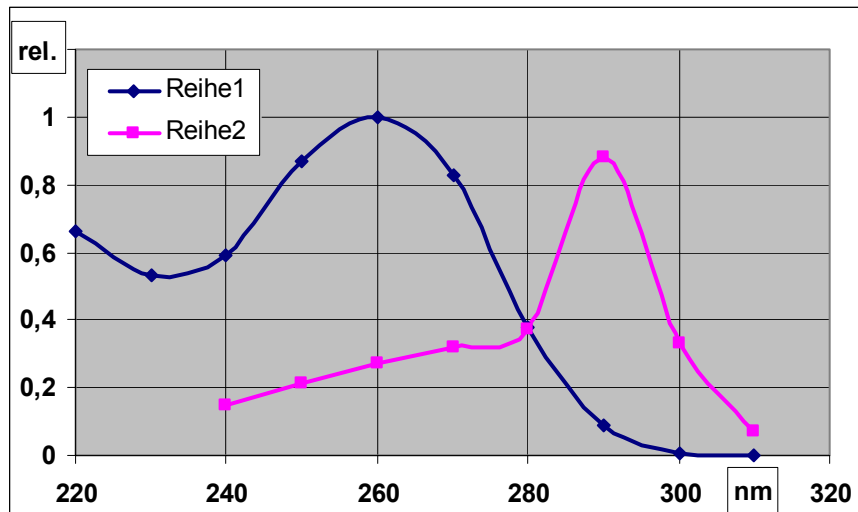


**Abb. 7:** Aufbau und Transmission des Auges: S Sklera, G Glaskörper, M Ziliarmuskel, L Linse, P Pupille, K vordere Augenkammer, H Hornhaut

Durch die Anatomie, wie Augenbrauen und zurückgesetzte Augenhöhle, ist das Auge in gewissen Grenzen vor zu hoher Sonnenexposition geschützt. Ein gewisser Schutz gegen zu hohe UV-Expositionen ist auch durch das unwillkürliche Schließen der Augenlider bei zu starkem Lichteinfall - mit entsprechend hohem UV-Anteil - gegeben. Bei geringer Sonneneinstrahlung in den Wintermonaten, verbunden mit einem in den längerwelligen Bereich verschobenen Spektrum, kann es bei einigen Menschen zu Beeinträchtigungen im psychischen Wohlbefinden kommen (Winterdepression).

### Akute Schäden:

Entsprechend dem anatomischen Aufbau und den Absorptionseigenschaften des Auges können durch UV-Strahlung vornehmlich die äußersten Zellen der Hornhaut und der Bindehaut akut geschädigt werden. Fotochemische Reaktionen führen zu Entzündungen der Hornhaut mit Latenzzeiten von 6-12 Stunden. Die Schädigung ist sehr schmerzhaft und dauert 1-3 Tage. Der wirksamste Wellenlängenbereich für die Hornhautentzündung (Keratitis) liegt bei 270 nm (s. Abb. 7). Es kann aber auch zu einer Entzündung der Bindehaut kommen (Konjunktivitis), mit dem wirksamsten Wellenlängenbereich bei 260 nm. Diese Schädigung ist ebenfalls sehr schmerzhaft und dauert ca. 1-2 Tage. Der jeweilige Schwellenwert für beide Schädigungen beträgt etwa 40-50 J/m<sup>2</sup>.



**Abb. 8:** Wirkungsfunktionen für die Fotokonjunktivitis (1) und Fotokeratitis (2) nach DIN 5031-10

Ab  $2 \text{ kJ/m}^2$  kann es zu reversiblen Hornhauttrübungen, ab ca.  $50 \text{ kJ/m}^2$  zu irreversiblen Hornhaut- und Linsentrübungen kommen. Eine derartige intensive kurzwellige UV-Strahlenbelastung tritt allerdings nur unter ungewöhnlichen Umständen auf, wie bei längerem Aufenthalt in Schneegebieten mit einem hohen Anteil reflektierter UV-Strahlung.

Kurzwellige mittlere bis intensive VIS-Strahlung kann bei entsprechend langer Einwirkungs- und -dauer die Netzhaut fotochemisch schädigen (Fotoretinitis). Da diese Schädigung bei der Wellenlänge von  $440 \text{ nm}$  am höchsten ist, spricht man auch von der Blaulichtgefahr. Die Schädigung ist irreversibel und kann sogar bis zur Erblindung führen. Entsprechend gering vorhandener Literaturhinweise scheint diese Schädigungsart selten zu sein.

Sichtbare Strahlung hoher Intensität kann eine Blendung der Augen verursachen. Die Blendung ist zwar keine direkte Schädigung der Augen, sie kann jedoch das Sehen und Erkennen beeinträchtigen und damit Folgeschäden (z. B. Unfälle im Straßenverkehr, Fehlhandlungen am Arbeitsplatz) hervorrufen.

Sichtbare und angrenzende infrarote Strahlung noch höherer Intensität können an der Netzhaut irreversible thermische Schädigungen hervorrufen. Die thermische Schädigung (Eiweißgerinnung bzw. Koagulation) hängt von der Strahlungsintensität, Einwirkdauer und der Größe der bestrahlten Netzhautfläche ab. Dies kann z. B. durch den ungeschützten kurzzeitigen direkten Blick in die hoch stehende Sonne geschehen. Anstelle der Bestrahlungsstärke ist daher häufig die Strahldichte der Strahlenquelle bei der Risikobeurteilung zu berücksichtigen (Kap. 3). Punktuelle Schäden werden meist nicht wahrgenommen, außer im Bereich des schärfsten Sehens. Dort können sie zu schwerwiegenden Augenschäden führen, da das scharfe Sehen verloren werden kann. Größere Schäden im blinden Fleck können allerdings zur Erblindung führen.

### Chronische Schäden:

Als chronischer, schädigender Effekt für das Auge ist vor allem die irreversible Linsentrübung zu nennen (Grauer Star, Katarakt) [13]. Mit zunehmender Lebenszeitbestrahlung steigt die Erkrankungsrate am Grauen Star. Nach Angaben der Zeitschrift *Journal Ophthalmology* haben 50 % der Bevölkerung zwischen 52 und 64 Jahren einen Grauen Star ohne Sehstörungen zu bemerken. Zwischen 65 und 75 Jahren haben einen hohen Anteil der Bevölkerung einen Grauen Star, wobei 50 % der Bevölkerung Sehstörungen bemerkten, sobald sie das 75. Lebensjahr erreichen.

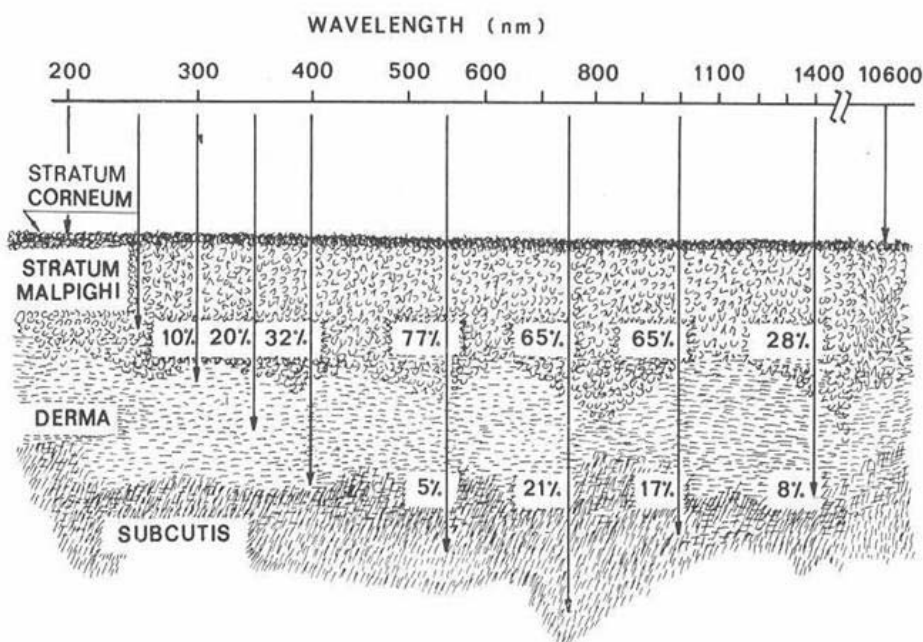
Jährlich werden in Deutschland ca. 200.000 bis 300.000 Staroperationen durchgeführt, und zwar mit guten Heilungschancen.

Die Gründe für die Erkrankung liegen einerseits in einer Zunahme der UV-Transmission der Hornhaut und einer dadurch bedingten erhöhten Strahlenbelastung der Linse, andererseits an fehlenden Reparaturmöglichkeiten der Zellen im Linsenzentrum nach einem fotobiologischen Schaden. Linsenzellen werden zeitlebens nicht regeneriert, neue werden nur an der Oberflächenschicht gebildet. Durch eine Akkumulation von Mikroschäden kommt es zu einer altersbedingten zunehmenden Linsentrübung ("Altersstar"). Ebenfalls sind Personen betroffen, die sich häufig im Freien aufhalten, z. B. Landwirte, Bauarbeiter, Seeleute.

Auch eine langjährige IR-Strahleneinwirkung kann zu einer Trübung der Augenlinse führen. Diese Einwirkung wurde jedoch vornehmlich an Arbeitsplätzen mit sehr hohen Expositionen, wie z. B. in Glasbläsereien, beobachtet.

### Die Haut:

Die Haut kann in die drei Schichten Oberhaut, Lederhaut und Unterhaut unterteilt werden. In der Oberhaut (Epidermis) befinden sich die Pigment- und Stachelzellen, des Weiteren die aus Zellresten bestehende Hornschicht als äußerer Abschluss. Die Lederhaut (Corium) enthält Haarwurzeln, Faserelemente und Nerven. Die Unterhaut (Subcutis) besteht aus lockerem Binde- und Fettgewebe. Durch die unterschiedlichen Brechungsindices und unterschiedliche Verteilung der Chromophore kommt es in Abhängigkeit der Wellenlänge zu



**Abb. 9:** Aufbau und Transmission der Haut (Sloney and Wolbarsht, *Safety with Lasers...*, 1980)

Reflexions-, Übertragungs- und Streueigenschaften. Entsprechend sind die einzelnen Hautschichten bezüglich biologischer Wirkungen unterschiedlich betroffen. Abb. 9 zeigt schematisch den Aufbau der Haut und die Eindringtiefe der optischen Strahlung.

Abhängig von der Wellenlänge und von der Hautfarbe wird UV-Strahlung zu ca. 5-25 % reflektiert, der Rest gestreut und von den Zellbestandteilen absorbiert.

Im UV-Bereich absorbiert die Haut sehr stark. Ca. 90 % der UV-B-Strahlung wird in der Epidermis absorbiert, ein erheblicher Teil der UV-A-Strahlung gelangt zur Dermis. Die Verringerung der Strahlung in der Epidermis ist vornehmlich auf die Absorption von Melanin, Harnsäure, Proteinen und Nukleinsäuren zurückzuführen, erst in zweiter Linie auf eine Streuung.

Im Bereich von 400 nm und 600 nm wird die Eindringtiefe der Strahlung in die Haut durch die Absorption des Blutes und die Streuung in der Kollagenfaserschicht beeinflusst. Strahlung zwischen 600 nm und 1200 nm kann am tiefsten bis in die subkutane Schicht gelangen.

Neben der positiven Wirkung der Vitamin-D-Bildung (bei Mangel: Rachitis) durch UV-Strahlung, der angenehmen Wärmewirkung durch IR-Strahlung können andererseits auch akute und chronische Schäden hervorgerufen werden. Das Ausmaß der Schädigung hängt von der Bestrahlung und der spektralen Verteilung der Strahlung ab.

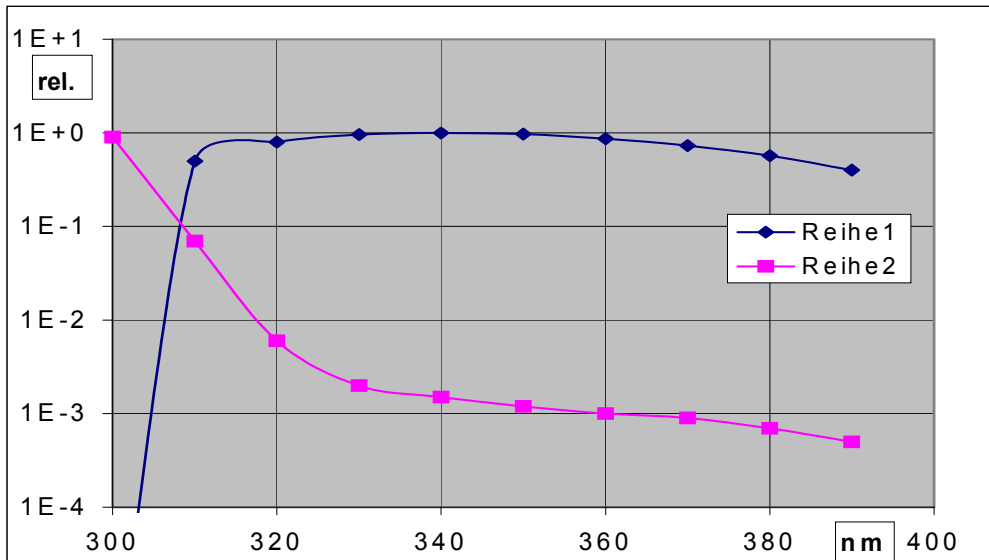
**Schutzmechanismen:**

Auf Grund höherer unkontrollierter Exposition stellt die solare UV-Strahlung für die Haut ein sehr viel größeres Gefährdungspotenzial als für das Auge dar. Die Haut hat nicht zuletzt daher langfristig wirkende Schutzmechanismen, wie die sehr effektive Hornschichtverdickung ("Lichtschwiele") und die effektive Pigmentierung ("Hautbräunung"). Die Höhe des Schutzes hängt vor allem von der individuellen Konstitution ab (Tab. 4) und passt sich der jeweiligen UV-Intensität an. Der Grad der Anpassung ist allerdings begrenzt (innerhalb von ca. 14 Tagen bis maximal Faktor 40). Eine vorhandene Pigmentierung wird durch UV-B- und UV-A-Strahlung unterschiedlich verstärkt. Durch UV-B-Strahlung mit einem Wirkungsmaximum bei 297 nm kommt es über die gesamte Epidermis zu einer Pigmentneubildung (verstärkte Melanin-Synthese).

Haut- typ	Beschreibung des Hauttyps	Reaktion auf UV- Bestrahlung	Verteilung in Europa [%]	MED [J·m <sup>-2</sup> ]	Eigenschutz- zeit [min]
I	Haut: sehr hell, Augen: blau	immer Sonnenbrand, kaum oder keine Bräunung (hohes Sonnenbrandrisiko)	2-5	200	15-20
II	Haut: hell, Augen: blau, grün, grau	fast immer Sonnenbrand, mäßige Bräunung	12-33	250	20-25
III	Haut: hell- hellbraun, Augen: grau, braun	mäßig oft Sonnenbrand, fortschreitende Bräunung	50-78	350	28-35
IV	Haut: hellbraun, oliv Augen: dunkel	selten Sonnenbrand, schnell einsetzende Bräunung	8-12	450	36-45

**Tab. 4:** Einteilung von Erwachsenen in Hauttypen, nach Reaktion auf erstmalige Sonnenbestrahlung (Pathak), ungefähre Verteilung in Mitteleuropa, mit minimaler erythemwirksamer Schwellenbestrahlung (MED) und Eigenschutzzeit (wolkenloser Sonnentag in Mitteleuropa, mittags)

Es wird zwischen verschiedenen Arten der Pigmentierung unterschieden. Die verzögerte Pigmentierung, die sich durch eine anhaltende Pigmentierung auszeichnet, setzt ca. 3 Tage nach einmaliger Bestrahlung ein. Sie wird durch UV-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 200 nm und 400 nm erzeugt und kann den UV-Eigenschutz der Haut erhöhen. Im Gegensatz dazu führt die Sofortpigmentierung zu einer Pigmentdunkelung in der Basalzellschicht, die sich nach Stunden bis wenigen Tagen zurückbildet. Zu dieser Art der Pigmentierung kommt es durch UV-A-Bestrahlung mit einem Wirkungsmaximum bei 340 nm. Bei hoher UV-A-Bestrahlung ist auch eine anhaltende Spätpigmentierung möglich.



**Abb. 10:** Wirkungsspektren für die Sofortpigmentierung (1) und verzögerte Pigmentierung (2) nach DIN 5031-10

Auf die zellulären Reparaturmechanismen wurde bereits im vorangegangenen Kapitel 5.2 eingegangen.

#### **Akute Effekte:**

Bezüglich akuter Effekte an der Haut ist der kurzwellige solare UV-Anteil in erster Linie für die Bildung eines Erythems verantwortlich. Diese entzündliche Hautrötung wird durch fotochemische Prozesse hervorgerufen, die mit der Entstehung von Zellgiften verbunden sind [14]. Aufgrund einer gefäßerweiternden Reaktion erhöht sich die Hautdurchblutung und die Haut schwillt an. Es kommt zu Juckreiz und Schmerzempfindung. Die erforderliche Bestrahlung zum Erreichen einer Hautrötung (Erythem) wird als minimale erythemale Dosis (MED) bezeichnet und beträgt etwa  $250 \text{ J/m}^2$  für den empfindlichen Hauttyp II. Nach Ausbildung des UV-Eigen-schutzes erhöht sich die aktuelle Erythemschwellendosis gegenüber der MED der unkonditionierten Haut.

Der längerwellige solare UV-Anteil initiiert vorwiegend fototoxische und fotoallergische Prozesse, die über körpereigene oder -fremde Stoffe die Strahlenempfindlichkeit der Haut erhöhen, wie z. B. bestimmte Medikamente und Kosmetika [15]. Eine kleine Übersicht über gebräuchliche Substanzen gibt Tab. 5. Aber auch Lebensmittel und Pflanzen, wie z. B. Zitrusfrüchte, Sellerie und Gemüse, können sensibilisierende Stoffe enthalten und bei Einnahme oder teilweise bei Kontakt zu sonnenbrandähnlichen Hautreaktionen führen.

Fototoxische Reaktionen können klinisch gewöhnlich als erythemähnliche Reaktionen charakterisiert werden, fotoallergische Reaktionen treten auf, wenn bestimmte, durch UV-Strahlung aktivierte und umgewandelte Stoffe Allergencharakter annehmen. Unter geeigneten Bedingungen können fototoxische Reaktionen bei jedem Menschen, fotoallergische bei einigen exponierten Personen hervorgerufen werden. Letztere Reaktionen sind mit Schwellungen, Nässen oder Blasenbildung an den exponierten Hautpartien verbunden. Unter Lichtdermatosen versteht man endogene Lichtkrankheiten zum Teil unbekannter Genese, die schon nach Minuten ausgelöst werden können und nach Tagen bis Wochen abklingen. Lichtdermatosen sind gekennzeichnet durch Quaddeln, Rötungen, Ekzeme sowie starken Juckreiz.

Substanz	Anwendungsform
Antiseptika	Seifen
Blankophore	Waschmittel
Chloroquin	Antimalariamittel/Antirheumatika
Chlorothiazide	Diuretika
Cyclamate	Süßstoffe
Sulfonamide	Antibiotika/Chemotherapeutika
Tetracyclin	Antibiotika
Triacetyldiphenylsatin	Abführmittel

**Tab. 5:** Lichtempfindliche Medikamente und chemische Stoffe

### Chronische Wirkungen:

Bei zu häufigen UV-Expositionen verliert die Haut ihre Elastizität und wird dünner. Es kommt vornehmlich zu Pigmentverschiebungen, Austrocknung, Faltenbildung und Bindegewebsschädigung. UV-A-Strahlung trägt besonders zu dieser vorzeitigen Hautalterung bei [19].

	Inzidenz/100.000 E.	Neuerkrankungen/a	Sterberate
<b>Basalzellkarzinom</b>	M 100 W 70	M 40.000 W 30.000	Max. 700
<b>Plattenepithelkarzinom</b>	M 30 W 15	M 12.000 W 6.000	Max. 900
<b>Malignes Melanom</b>	11	6.300	M 810 W 870
<b>Summe obiger Hautkrebsarten:</b>	<b>226</b>	<b>94.300</b>	<b>3280</b>

**Tab. 6:** Situation der Hautkrebsentwicklung in Deutschland.  
Nach: Krebsregister Saarland (M: männlich, W: weiblich)

Die weitaus schwerwiegendste Folge übermäßiger UV-Exposition ist die Bildung von Hautkrebs, der weltweit zu den am häufigsten auftretenden Krebsarten zählt. Nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Dermatologische Prävention (ADP) sind in Tab. 6 die geschätzten Neuerkrankungsraten für Hautkrebs in Deutschland aufgeführt. Diese liegt bei knapp 100.000/Jahr im Vergleich zu allen anderen Krebsarten mit ca. 350.000/Jahr. Als Hauptursache für den starken Anstieg wird die UV-Belastung bei zunehmenden Aufenthalten im Freien verantwortlich gemacht. Als Risikofaktoren gelten generell familiäre Häufung und Zugehörigkeit zum Hauttyp I und II.

Über 90 % der bösartigen Neubildungen der Haut sind epidermalen Ursprungs. Bei den Basalzell- und Plattenepithelkarziomen konnte ein direkter Zusammenhang zwischen UV-Be-strahlung und Hautkrebsinzidenz beobachtet werden [21]. Beim Basalzellkarzinom handelt es sich um einen langsam wachsenden, lokal Gewebe zerstörenden Tumor ohne Metas-tasenbildung. Er tritt vorwiegend in exponierten Hautpartien wie Gesicht, Ohren und Kopfhaut auf. Obwohl die Sterblichkeit sehr niedrig ist, stellt die Therapie häufig ein großes kosmetisches Problem dar. Das Plattenepithelkarzinom ist ein invasiver, lokal destruierender Tumor, der ab einer bestimmten Größe auch Metastasen bilden und zum Tode führen kann. Er tritt ebenfalls an exponierten Hautpartien wie Gesicht, Handrücken und Unterarme auf. Als weitere Risikofaktoren kommen verstärkte Sonnenexpositionen und Vorhandensein von aktinischen Keratosen hinzu.

Beim malignen Melanom ist die Situation nicht so eindeutig. Obwohl Melanome nicht bevorzugt in UV-exponierten Hautarealen auftreten und in der Häufigkeit nicht direkt mit der kumulativen UV-Dosis korrelieren, sprechen epidemiologische Daten für einen wesentlichen UV-Einfluss auch bei der Verursachung dieser Erkrankung [22]. Das maligne Melanom (schwarzer Haut-krebs) ist ein unterschiedlich wachsender, in der Regel braungefärbter Tumor, der Metastasen bildet und an beliebigen Hautpartien auftreten kann. Bei Früherkennung ist der Tumor über-wiegend heilbar, bei verzögerter Therapie oft tödlich. Die Sterberate liegt bei ca. 20 %. Als weitere Risikofaktoren kommen häufige Sonnenbrände in Kindheit und Jugend sowie über 40-50 multiple Pigmentmale hinzu.

UV-Strahlung kann ebenfalls das menschliche Immunsystem [23] verändern. Wegen der Komplexität sind die genauen molekularen Mechanismen noch nicht aufgeklärt. Fest steht, dass schon Dosiswerte deutlich unterhalb einer MED zu einer Immunsuppression (Minderung der Eigenabwehrkräfte des Körpers) der Haut führen können. Das beste klinische Beispiel ist eine Zunahme von Herpes-Virus-Infektionen nach längeren Sonnenexpositionen im Sommer.

### **Gesamtorganismus:**

Für den Gesamtorganismus stark belastende Klimabedingungen wie z. B. intensive Sonnen-einstrahlung, hohe Luftfeuchtigkeit und Temperaturen führen bei falschem Verhalten sehr schnell zu Störungen im Wärmehaushalt. Personen mit labilem Kreislauf, Übergewicht, hohem Alter und mit allgemein schwächenden Erkrankungen sollten eine übermäßige Sonnenex-position und körperliche Anstrengungen in diesen Situationen vermeiden. Wichtigste akute Folgen einer äußerlich bedingten Übererwärmung des Körpers sind der Sonnenstich und Hitzekollaps.

### **Sonnenstich:**

Lang andauernde, direkte Sonnenexpositionen auf den unbedeckten Kopf können neben der UV-B-induzierten erythemalen Reaktion an der Hautoberfläche die Hirnhaut durch die tiefer eindringende IR-Strahlung direkt reizen. Es kommt zu Kopfschmerzen, Schwindel, Ohrensausen und Gleichgewichtsstörungen. Weiterhin wird durch eine Störung des Temperaturregelungs-zentrums die Körpertemperatur erhöht. Die Reaktionen treten erst einige Stunden nach der Exposition auf.

### Hitzekollaps und Hitzschlag:

Unter einem Hitzekollaps versteht man ein Versagen des peripheren Kreislaufes. Um eine Temperatursenkung zu erreichen, will der Körper überschüssige Wärme nach außen abführen. Wenn durch hohe Luftfeuchtigkeit der Mechanismus der Schweißabsonderung versagt, kann die Wärme nur noch durch Abstrahlung und Konvektion abgegeben werden. Zur Durchblutungssteigerung werden die Gefäße maximal erweitert mit der Folge eines Blutdruckabfalls, einem zu geringen Blutrückfluss zum Herzen und zu geringer Versorgung des Gehirns mit Sauerstoff. Als Beschwerden sind Schwindelgefühle, Sehstörungen, Ohrensausen und Atembeschleunigung zu nennen.

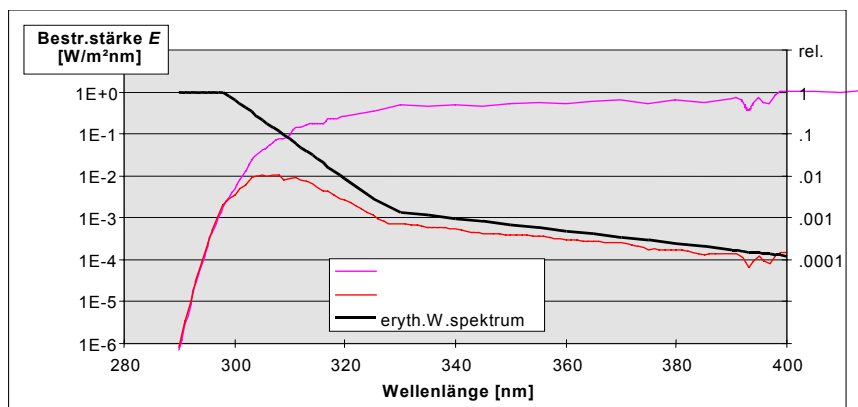
Ursache des Hitzschlages ist das Unvermögen des Körpers, die aufgenommene Wärme nach außen abzugeben. Durch fehlende Schweißsekretion kann es zum Wärmestau mit einem Temperaturanstieg bis zu 42 °C kommen. Bewusstlosigkeit setzt dann ein. Hitzschlag ist eine lebensbedrohende Erkrankung.

## 6 Gesundheitliche Bewertung der Sonnenstrahlung

Um sich vor der Sonnenstrahlung optimal zu schützen, muss diese zunächst einer gesundheitlichen Bewertung unterzogen werden, d. h. deren gesundheitliches Risiko ermittelt werden. Erst dann können, wie in Kapitel 8 aufgeführt, geeignete Schutzmaßnahmen getroffen werden. Für eine gesundheitliche Bewertung der Sonnenstrahlung sind zwei Schritte erforderlich: zunächst muss ermittelt werden, welche biologischen Folgeerscheinungen mit der Bestrahlung in kausalem Zusammenhang stehen, in einem zweiten Schritt werden dann deren Risiken für eine Gefährdung quantitativ abgeschätzt. Im vorhergehenden Kapitel wurden die biologischen Wirkungen der Sonnenstrahlung bereits dargestellt, in diesem Kapitel wird das Verfahren der quantitativen Risikoabschätzung beschrieben. Dazu sind Dosis-Wirkungs-Beziehungen für die einzelnen UV-induzierten biologischen Wirkungen zu bestimmen.

Für die Bewertung der Sonnenstrahlung stellt die Haut gegenüber dem Auge das kritischere Organ dar, weil das Auge durch die Anatomie und den Blendeffekt in gewissem Maße bereits geschützt ist. Die Gefährdung wird grundsätzlich durch die jeweils restriktivste Funktion festgelegt, d. h. hier durch die Hautkrebsentstehung. Nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand hat das Wirkungsspektrum für den Hautkrebs einen ähnlichen Verlauf wie die frühzeitige Hautalterung und das Erythem (Sonnenbrand) [25]. Da der Sonnenbrand eine akute biologische Antwort auf zu starke UV-Bestrahlung ist, empfiehlt er sich als ein geeigneter Indikator für eine gesundheitliche UV-Bewertung.

Wie bereits erwähnt, zeigen die Wirkungen der UV-Strahlung eine sehr starke Wellenlängenabhängigkeit. Sowohl für das Auge als auch für die Haut ist der kurzwellige UV-Bereich bis ca. 300 nm hoch wirksam und fällt dann bei längeren Wellenlängen ab.



**Abb. 11:** Solares unbewertetes und bewertetes UV-Spektrum sowie erythemale Wirkungsfunktion  $s_{er}$  nach CIE (1987)

Nach Abb. 11 bedarf es z. B. zur Ausbildung einer bestimmten Hautrötung im langwelligen UV-Bereich über 1000-fach höherer spektraler Bestrahlungsstärken als im kurzwelligen UV-Bereich. Aus diesem Grund muss die jeweilige biologische Wirksamkeit für jede einzelne Wellenlänge ermittelt werden. Auf diese Weise erhält man sodann ein biologisches Wirkungsspektrum im entsprechenden Wellenlängenbereich. Es wird auf die Wellenlänge maximaler Wirksamkeit normiert (=1).

Nach Verknüpfung mit der physikalisch gemessenen spektralen UV-Bestrahlungsstärke erhält man die biologisch wirksame spektrale UV-Bestrahlungsstärke für die jeweilige biologische Wirkung. Allerdings sind bei dieser Vorgehensweise zu erwartende synergistische Effekte nicht berücksichtigt.

$\lambda \leq 298 \text{ nm}$	$S_{er}(\lambda) = 1.$
$298 \text{ nm} < \lambda \leq 328 \text{ nm}$	$S_{er}(\lambda) = 10^{0.094 * (298 - \lambda)}$
$328 \text{ nm} < \lambda \leq 400 \text{ nm}$	$S_{er}(\lambda) = 10^{0.015 * (139 - \lambda)}$

**Tab. 7:** Erythemale Wirkungsfunktion nach CIE (1987) für verschiedene Wellenlängenbereiche

Für die Bewertung ist weiterhin entscheidend, in welchem Zeitraum die UV-Strahlung auf den Menschen einwirkt, d. h., welcher UV-Dosis sich der Mensch aussetzt. Als praktisch hat sich erwiesen, aus den physikalisch gemessenen UV-Daten abzuleiten, welche "sonnenbrandwirksame" UV-Dosis in jeweils 30 Minuten den Erdboden erreicht. In ungefähr diesem Zeitraum kann ungeschützte und nicht lichtgewöhnte Haut in unseren Breitengraden im Sommer eine Hautrötung erfahren kann. Mit diesen Daten kann des weiteren der Tagesverlauf der UV-Strahlung noch ausreichend genau nachgebildet werden.

## 7 Grenzwertempfehlungen

### 7.1 Allgemeines

Als sehr effektives Maß für eine Gefährdungsbeurteilung bietet sich der in den 90er Jahren international eingeführte UV-Index (UVI) an. Obwohl für die Öffentlichkeit eingeführt, kann er ebenfalls für die Arbeitnehmer im Freien genutzt werden, da er generell verfügbar ist.

### 7.2 UV-Index



Für eine Abschätzung des gesundheitlichen Risikos solarer UV-Strahlung ist die Kenntnis der Expositionswerte notwendig. Aus diesem Grund ist die Höhe der bodennahen solaren UV-Strahlung als zusätzlicher Umweltparameter kontinuierlich zu erfassen, gesundheitlich zu bewerten (Kap. 6) und die Öffentlichkeit bzw. Arbeitnehmer im Freien sind darüber zu unterrichten.

Dazu wurde in den 90er Jahren in verschiedenen Ländern ein UV-Index eingeführt, in Deutschland vom DWD und dem BfS. Die SSK hat bereits 1996 zur Anwendung des UV-Index in Deutschland Stellung bezogen [27]. Der UVI ist zwischenzeitlich in mehreren Expertensitzungen von WMO, WHO und ICNIRP harmonisiert worden.

Der globale solare UV-Index (Global solar UV-Index) ist eine Messgröße bezogen und definiert auf eine horizontale Empfangsfläche. Als dimensionslose Größe kann er nach folgender Formel bestimmt werden [28]:

$$(8) \quad I_{\text{uv}} = k_{\text{er}} \cdot \int_{250 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot s_{\text{er}}(\lambda) d\lambda$$

mit  $E_{\lambda}$  als solare spektrale Gesamtbestrahlungsstärke in der Dimension  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$  bei der Wellenlänge  $\lambda$ ,  $d\lambda$  ist das im Integral definierte Wellenlängenintervall,  $s_{\text{er}}(\lambda)$  ist die spektrale Wirkungsfunktion für das Erythem nach CIE (1987) und  $k_{\text{er}}$  ist eine Konstante mit dem Wert 40 und der Dimension  $\text{m}^2/\text{W}$ . Durch den konstanten Faktor 40 erhält der UV-Index einen Wertebereich, der zwischen Null, als (winterlichem) Minimum, und etwa 15 als mittlerem Jahresmaximum in tropischen Breiten variiert.

	UVI	Klassifikation	Längste Expositionsdauer zur Vermeidung eines Erythems (ohne Hautschutz)	Schutz	Empfohlene Schutzmaßnahmen
	11 und mehr	<b>extrem hoch</b>	ab > 10 min.	extra Schutz	Zusätzlich zu Empf. bei UVI 10: Mindestens in der Zeit von 11:00 bis 15:00 (MEZ) sollte, sofern es möglich ist, der Schatten aufgesucht werden bzw. Arbeiten im Innenraum verrichtet werden!
	10	<b>sehr hoch</b>	ab > 15 min.	extra Schutz	In der Mittagszeit sollte der Schatten aufgesucht werden!  Bei Aufenthalt in der Sonne <u>unbedingt</u> körperbedeckende Kleidung und ggf. Hut tragen.  Je nach Aufenthaltsdauer und Vorbräunung Sonnencreme verwenden!
	9		ab > 20 min		
	8				
	7	<b>hoch</b>	ab > 25 min	erforderlich	In der Mittagszeit sollte der Schatten aufgesucht werden!  Bei Aufenthalt in der Sonne unbedingt körperbedeckende Kleidung und ggf. Hut tragen.  Je nach Aufenthaltsdauer und Vorbräunung Sonnencreme verwenden!
	6		ab > 30 min		
	5	<b>mittel</b>	ab > 35 min	erforderlich	Bei Aufenthalt in der Sonne körperbedeckende Kleidung und ggf. Hut tragen.  Je nach Aufenthaltsdauer und Vorbräunung Sonnencreme verwenden!
	4		ab > 40 min		
	3		ab > 60 min		
	2	<b>schwach</b>	ab > 90 min		nicht erforderlich
	0-1		-		

**Tab. 8:** Empfohlenes UVI-Schutzschema von der WHO/WMO/ICNIRP mit Angaben über Zeiten zum Erreichen eines Erythems (Hauttyp II)

Die in vielen Ländern allein angegebenen Zeiten zum Erreichen eines Sonnenbrandes werden von Strahlenschutzern kontrovers diskutiert. Einerseits erscheinen sie ein einfaches Konzept zu sein, das von der Bevölkerung direkt in eine Verhaltensmaßnahme umgesetzt werden kann. Auf der anderen Seite können konkrete Zeitangaben von der Öffentlichkeit so interpretiert werden, dass es einen sicheren Wert gibt, bis zu dem Sonnenbestrahlung sicher ist. Der UVI soll nicht implizieren, dass ausgedehntes Besonnen akzeptabel ist, sondern aufzeigen, dass kumulative UV-Exposition auch die Hautkrebsentwicklung fördert.

In der Tabelle 8 sind die UVI-Schutzschemata aufgeführt, die von der WHO, dem WMO und der ICNIRP als Konsensus veröffentlicht worden sind [29].

Die Ermittlung des UVI kann durch Modellberechnungen oder Messungen erfolgen. Bei Messungen können folgende 2 Verfahren verwendet werden: entweder mit einem Spektralradiometer messen und den UVI nach obiger Formel ermitteln. Andererseits kann ein Breitbanddetektor verwendet werden, der mit einem Filter nach CIE (1987) versehen ist und direkt Werte ausgibt.

### 7.3 UV-Vorhersage

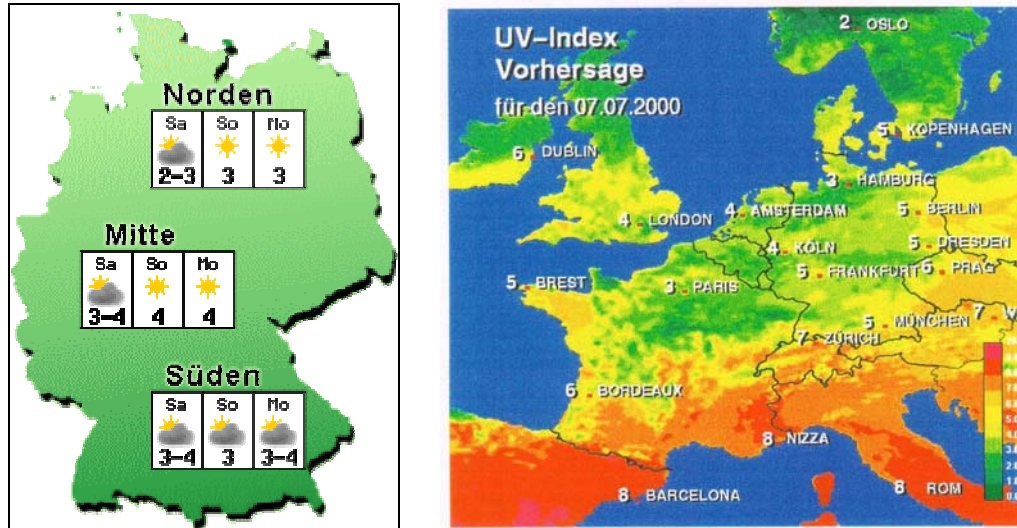
Seit mehreren Jahren wird mit Sorge eine deutliche Zunahme an Hautkrebs-Neuerkrankungen in der Bevölkerung beobachtet. Diese Entwicklung ist vor allem auf übermäßige Sonnenexposition infolge eines veränderten Freizeitverhaltens und der daraus resultierenden verstärkten UV-Belastung zurückzuführen. Um einem weiteren Anstieg UV-bedingter Erkrankungen entgegenzuwirken, wird in einem ersten Ansatz die Bevölkerung mit Hilfe einer UV-Prognose über die Risiken der solaren UV-Strahlung aufgeklärt. Zur Dokumentation der eingetretenen Belastung und zur Stärkung des Vertrauens in die Vorhersage werden aktuelle Messergebnisse zusätzlich übermittelt (s. 4.2). Als Maß wird der international abgestimmte UV-Index verwendet, der dem erwarteten Tageshöchstwert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung entspricht.

Aus gesundheitlichen und meteorologischen Gründen empfiehlt die SSK folgende Kriterien: Wegen großer biologischer Schwankungsbreiten werden nur ganzzahlige UV-Werte angegeben. Für Deutschland werden nicht mehr als 3 Regionen in Nord-Süd-Richtung und 2 Regionen in Ost-West-Richtung benötigt. In Zeiten starker UV-Bestrahlung (Mai-September) werden Kurzzeitprognosen veröffentlicht, in der übrigen Jahreszeit wird monatlich Bericht erstattet.

In Deutschland werden zurzeit vom BfS und vom DWD UV-Vorhersagen erstellt. Die 1-Tages-Vorhersagen des DWD (Abb.12 rechts) basieren auf Rechnungen mit einem Strahlungstransfermodell, verknüpft mit den zu prognostizierenden Parametern Gesamtzongehalt und optische Dicke des Aerosols. Der aktuelle Gesamtzongehalt kann mit Spektrometern am Erdboden oder mit Satelliten ermittelt werden [20]. Um den UVI auch für bewölkte Tage vorherzusagen, ist weiterhin eine gute Wolkenparametrisierung erforderlich. Aus den Strömungstemperatur- und Wasserdampffeldern der numerischen Wettervorhersagesysteme in den Atmosphärenschichten lässt sich dann die spektrale bodennahe UV-Strahlung berechnen.

Die 3-Tages-Vorhersagen des BfS (Abb.12 links) basieren auf statistischen Auswertungen der vorhandenen UV-Messdaten [18]. Dazu werden die täglich anfallenden Daten aus dem UV-Messnetz nach den entsprechenden Wetterdaten klassifiziert und in einer Datenbank gespeichert. Unter Kenntnis der bevorstehenden Wetterlage werden daraus sodann die UV-Prognosewerte ermittelt, die unter den gleichen Bedingungen bereits erfasst wurden. Zusätzlich benötigte Parameter, wie der Bedeckungsgrad, stellt der DWD zur Verfügung.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf bereits bekannte Stilelemente zurückgegriffen, wie die zeitliche Darstellung in Form eines Kalenderblattes mit Tagesnamenabkürzung (z. B. Mo für Montag etc.) und die Charakterisierung der Bewölkungsverhältnisse mit einem Sonnen- und Wolkensymbol. In einem separaten Textteil werden Erläuterungen zum UV-Index und Empfehlungen für einen geeigneten Umgang mit der entsprechenden solaren UV-Strahlung gegeben.



**Abb. 12:** Links: BfS-Internetdarstellung ([www.bfs.de](http://www.bfs.de)) der 3-Tagesprognosen zwischen April und September, rechts: DWD-Darstellung im Internet und ([www.dwd.de](http://www.dwd.de))

## 8 Sonnenschutz

### 8.1 Allgemeine Empfehlungen

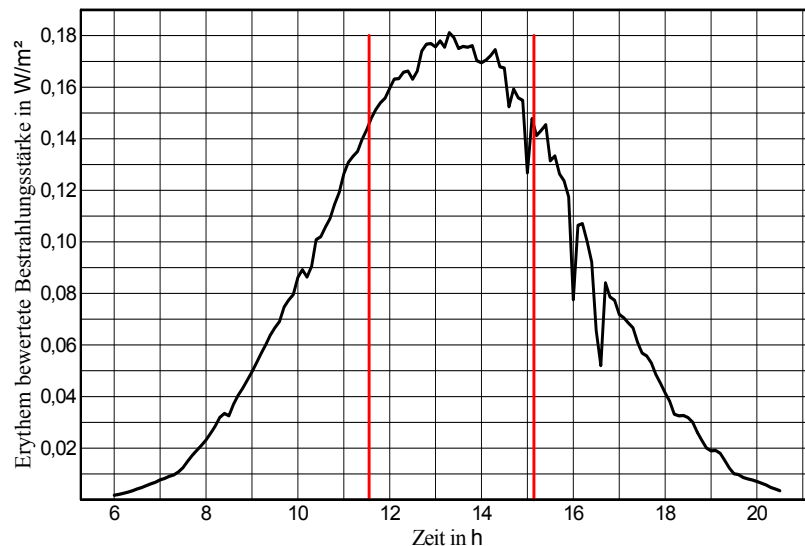
Eigentlich sind Schutzmaßnahmen gegen Sonnenstrahlung nicht schwierig vorzunehmen. Es gilt die Grundregel, dass ein sicherer Schutz zunächst durch geeignete Abschirmung vorgenommen werden sollte. Erst dann sollten organisatorische Maßnahmen getroffen werden, wie z. B. Begrenzung der Aufenthaltsdauer. Als letztes sind persönliche Schutzmaßnahmen anzuwenden, wie geeignete Sonnenschutzbrillen, Kleidung und dermale Sonnenschutzmittel. Grundlegende Verhaltensregeln für den Aufenthalt in der Sonne gelten sowohl für die Bevölkerung, wie auch für die Arbeitnehmer im Freien [18].

## 8.2 Empfehlung für die Bevölkerung

### Verhaltensregeln:

Auf einen Urlaub im sonnigen Süden sowie auf Aktivitäten im Freien muss man nicht verzichten, wenn einfache Verhaltensregeln (ab ca. UV-Index 5 und größer) beachtet werden:

- Die Haut sollte langsam an die Sonnenbestrahlung gewöhnt werden. Eine Vor-Bräunung zur Vermeidung eines Sonnenbrandes durch Solarien ist nicht ratsam, da der Eigenschutz der Haut durch die Bestrahlung mit UV-A-Bestrahlungsgeräten nicht erhöht wird. Falls eine Lichtgewöhnung der Haut notwendig ist, sollte dies nur unter ärztlicher Kontrolle erfolgen. In den ersten Tagen der intensiven Sonnenbestrahlung möglichst im Schatten bleiben. Jede Rötung der Haut sollte vermieden werden, wobei die Dauer des unbeschwerten Sonnenbades vom Hauttyp abhängt.
  - **Hinweis:** Der Schatten unter einem Baum entspricht einem Lichtschutzfaktor von ca. 5-15, und unter einem Sonnenschirm ist ein Lichtschutzfaktor von ca. 5 bis 40 (bei großem Durchmesser und dichten Textilien) erreichbar.
- Der Aufenthalt in der Mittagssonne im Sommer sollte unterbleiben, da die Sonnenstrahlung im Zeitraum 11 bis 15 Uhr (mitteleuropäische Sommerzeit, siehe Abbildung 13) besonders stark ist. Lernen Sie aus dem Verhalten der Menschen im Mittelmeerraum und ziehen sie sich über die Mittagszeit zur Siesta in den Schatten zurück.
- Der wirksamste Schutz vor Sonnenstrahlung sind neben Schatten geeignete Kleidung und eine Kopfbedeckung (besonders wichtig bei Personen mit lichtem oder fehlendem Kopfhaar).
- Mit dermalen Sonnenschutzmitteln (Sonnenlotion) sollten die nicht durch die Kleidung bedeckten Körperteile geschützt werden.
- Der direkte Blick in die pralle Sonne ist zu vermeiden. Bei intensiver Sonnenstrahlung ist eine geeignete Sonnenschutzbrille zu tragen. Dies gilt insbesondere bei Reflexion durch Sand, Wasser oder Schnee.
- Einige Medikamente haben eine fotosensibilisierende Nebenwirkung. Hierzu sollte vor dem Sonnenbaden die Packungsbeilage gelesen und gegebenenfalls der behandelnde Arzt befragt werden.
- Auf Parfüms, Deodorants und andere Kosmetika sollte beim Aufenthalt in der Sonne verzichtet werden, da dadurch bleibende fleckige Pigmentierungen entstehen können.



**Abb. 13:** Typischer Tagesverlauf der erythem bewerteten Sonnenstrahlung für einen wolkenlosen Himmel (Dortmund, 17. Juni 2002). Die senkrechten Markierungen geben das Zeitfenster an, in dem 50 % der Strahlung des gesamten Tages auftritt

### Sonnenschutzmittel:

Der Schutz durch Bekleidung ist die effektivste persönliche Schutzmaßnahme gegen Sonnenstrahlung, wobei die Schutzwirkung von Textilien u. a. vom Material, Gewebedichte, Farbe und UV-absorbierenden bzw. -reflektierenden Zusätzen abhängig ist. Im Allgemeinen gilt, je dichter und dunkler Textilien sind, umso besser ist der UV-Schutz. Zum Beispiel entspricht eine feinmaschige Baumwollkleidung einem Lichtschutzfaktor von ca. 40, während grobmaschige Baumwollkleidung einen Lichtschutzfaktor von ca. 10 erreicht. Bei nasser Kleidung verringert sich der UV-Schutz bis zu 50 %. Das Tragen von zu warmer Kleidung in sehr heißer Umgebung kann bei gleichzeitiger starker körperlicher Anstrengung zu einem Wärmestau und zu einem Hitzschlag führen. Ein hoher Lichtschutzfaktor kann bei leichter, lockerer Sommerkleidung durch UV-Zusätze erzielt werden. Eine Hilfe beim Kauf von Bekleidung werden zukünftig Angaben zum UV-Schutz an Textilien sein.

Neben der Schutzkleidung sollten bei starker Sonnenstrahlung Sonnenschutzbrillen verwendet werden. Zum einen sollen die Sonnenschutzbrillen und Sonnenschutzfilter die Blendung durch die direkte oder reflektierte Sonnenstrahlung verringern und zum anderen die schädigende UV-Strahlung von den Augen fernhalten. Sonnenschutzbrillen sollten passgenau sein und über einen Seitenschutz verfügen, damit reflektierende Strahlung das Auge nicht erreicht.

Die Anforderungen an die Sonnenschutzbrillen und -schutzfilter für den allgemeinen Gebrauch sind in der DIN EN 1836 festgelegt. Danach sind die Sonnenschutzfilter in 5 Kategorien von 0 bis 4 eingeteilt (von leicht bis sehr dunkel getönt). Die Auswahl der geeigneten Filterkategorie richtet sich nach der individuellen Lichtempfindlichkeit und dem Anwendungsgebiet. Für die meisten Anwendungen in unseren Breitengraden sind mittelstark bis dunkel getönte Filter der Kategorie zwei und drei zu empfehlen. Eine höhere Filterkategorie ist z. B. für Sportanwendungen (Skifahren, Wassersport, Bergsteigen) zu verwenden. Problematisch sind u. U. modisch gefärbte Sonnenschutzbrillen, die eine Farberkennung erschweren. Sonnenschutzfilter der Kategorie 4 sind nicht für den Straßenverkehr geeignet.

Eine Hilfe beim Kauf einer Sonnenschutzbrille kann die Handelsbezeichnung "UV400" sein. Sie gibt an, dass ein nahezu 100%iger Schutz vor UV-Strahlung besteht. In Zweifelsfällen sollte fachkundiger Rat z.B. beim Augenoptiker eingeholt werden. Sonnenschutzbrillen sind nicht für die direkte Betrachtung der Sonne bei einer Sonnenfinsternis geeignet.

Unbedeckte Körperstellen sind mit dermalen Sonnenschutzmitteln einzureiben. Bei der Auswahl findet der Käufer den Begriff des Lichtschutzfaktors auf dem Produkt. Die Höhe des Lichtschutzfaktors gibt an, um wie viel länger man mit einem dermalen Sonnenschutzmittel im Vergleich zu ungeschützter Haut in der Sonne bleiben kann, ehe eine Rötung der Haut entsteht. Der Lichtschutzfaktor bezieht sich allerdings nur auf die UV-B-Schutzfunktion; d. h. die UV-A-Strahlung ist im Lichtschutzfaktor nicht einbezogen. Ferner ist der Lichtschutzfaktor - abgekürzt LSF - ein individuelles Maß, abhängig von der jeweiligen Eigenschutzzeit der Haut. Die Verwendung der dermalen Sonnenschutzmittel kann jedoch bei einigen Personengruppen (Allergiker und Neurodermiker) zu Hautreizungen führen. Hier empfiehlt es sich, gegebenenfalls nach Absprache mit dem Arzt, Produkte ohne Farb-, Duft- und Konservierungsstoffe oder Produkte, die auf physikalischer Wirkung (Reflexion an Pigmenten) beruhen, auszuwählen.

Folgende Punkte sind bei dermalen Sonnenschutzmitteln zu beachten:

- Für die ersten intensiven Sonnentage sind dermale Sonnenschutzmittel (Creme) mit einem hohen und hauttypgerechten Schutzfaktor zu verwenden. Für die empfindlichen Hauttypen I und II sollte der Lichtschutzfaktor mindestens 15 betragen. Bei der Auswahl des Lichtschutzfaktors sind u. a. die Jahreszeit und die geografische Lage des Aufenthaltslandes zu berücksichtigen.
- Die Haut an den Sonnenterrassen des Körpers wie Stirn, Glatze, Augenbereich, Ohren, Lippen, Kinn, Schultern, Rücken, Brüste, Gesäß und Fußrücken ist verstärkt solarer Strahlung ausgesetzt und daher besonders zu schützen.
- Dermale Sonnenschutzmittel sind im Schatten ca. 30 Minuten vor dem Sonnenbaden gleichmäßig aufzutragen, damit sie ihre Schutzfunktion voll entfalten können. Sonnenschutzmittel sind am Tag mehrfach aufzutragen, da die Schutzwirkung durch Schweiß und Abreibungen an einigen Körperstellen verloren gehen kann, wobei zu beachten ist, dass ein Nachcremen nicht die Schutzdauer pro Tag verlängert.
- Beim Baden sollten nur wasserfeste dermale Sonnenschutzmittel verwendet werden. Nach dem Baden sollte man sich neu eincremen, da ein Teil des Schutzes durch Schwimmen, anschließendes Duschen und Abtrocknen verloren geht.
- Hohe Lichtschutzfaktoren mit Werten über 30 sollten nicht zu einem unmäßigen Aufenthalt in der Sonne verleiten.

### **Besondere Empfehlungen für Kinder:**

Kinder haben das Verlangen, sich viel im Freien aufzuhalten, wo sie verstärkt der Sonnenstrahlung ausgesetzt sein können. Gerade Kinderhaut ist besonders empfindlich gegenüber UV-Strahlung, da in den ersten Lebensjahren der Eigenschutz noch nicht vollständig entwickelt ist. Häufige Sonnenbrände und eine übermäßige UV-Belastung während der Kinderzeit haben ein erhöhtes Hautkrebsrisiko in späteren Jahren zur Folge.

Für Kinder sind insbesondere folgende Punkte zu beachten:

- Sonnengerechte Kleidung und Schatten sind der wirksamste Schutz vor UV-Strahlung. Die Kopfbedeckung sollte groß genug sein, um Gesicht und Nacken ausreichend zu schützen. T-Shirts oder Hemden sollten sonnendicht, nicht zu eng und möglichst mit langen Ärmeln sein. Hosen sollten möglichst lang und weit geschnitten sein. Schuhe sollten den Fuß vollständig bedecken. Nur geeignete Sonnenbrillen verhindern Entzündungen der Augen.
- Kinder unter einem Jahr sollten nicht der direkten Sonne ausgesetzt werden. Auf dermale Sonnenschutzmittel sollte für die zarte Haut verzichtet werden.
- Bei Kindern zwischen einem und sechs Jahren ist der Aufenthalt in der direkten Sonne zu vermeiden. Es sind kindgerechte dermale Sonnenschutzmittel ohne chemische UV-Filter zu verwenden.

- Kinder zwischen sechs und zwölf Jahren sollten nur wenig der direkten Sonne ausgesetzt werden. Der Aufenthalt in der Mittagssonne ist zu vermeiden. Die nicht bedeckten Körperstellen sind mit einem Lichtschutzfaktor größer 15 einzucremen.

### 8.3 Empfehlungen für Arbeitnehmer im Freien

Die Empfehlungen zum Schutz vor Sonnenstrahlung für Arbeitnehmer im Freien unterscheiden sich nicht grundsätzlich von den Schutzmaßnahmen, die für die Bevölkerung zu treffen sind. Im Gegensatz zur Bevölkerung muss sich der Arbeitnehmer jedoch teilweise auf Grund seiner Tätigkeit der Sonnenstrahlung aussetzen. Deshalb hat der Unternehmer für seine Tätigkeit eine Gefährdungsermittlung und -beurteilung durchzuführen. Hierbei muss auch die Sonnenstrahlung als Gefährdung beachtet werden.

#### Rechtliche Grundlagen:

Die rechtliche Grundlage zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten ist das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG). Neben den allgemeinen Grundsätzen (§ 4) sind insbesondere die Paragraphen zur Gefährdungsbeurteilung (§ 5), zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (§ 11) und zur Unterweisung (§ 12) zu beachten.

Neben dem Arbeitsschutzgesetz sind auch Festlegungen in Unfallverhütungsvorschriften zum Schutz für Arbeitnehmer getroffen. In der BGV A1 „*Grundsätze der Prävention*“ ist im § 23 „Maßnahmen gegen Einflüsse des Wettergeschehens“ folgendes geregelt: „Beschäftigt der Unternehmer Versicherte im Freien und bestehen infolge des Wettergeschehens Unfall- und Gesundheitsgefahren, so hat er geeignete Maßnahmen am Arbeitsplatz vorzusehen, geeignete organisatorische Schutzmaßnahmen zu treffen oder erforderlichenfalls persönliche Schutzausrüstungen zur Verfügung zu stellen“.

#### Gefährdungsermittlung und –beurteilung:

Das Ausmaß einer Gefährdung von Beschäftigten durch Sonnenstrahlung an Arbeitsplätzen im Freien ist zu ermitteln und zu beurteilen. Hierbei können die örtlichen klimatischen, wetterbedingten sowie tageszeitlichen Strahlungsverhältnisse und spezifischen Erfahrungen einbezogen werden. Im späten Frühjahr und Sommer ist bei wolkenarmem Himmel von einem hohen UV-Strahlungsanteil auszugehen. Dann besteht eine Gefährdung für die Augen und für die Haut. Bei hohen Temperaturen besteht ferner die Gefahr, dass man nur leicht bekleidet arbeiten möchte, aber mit hohen UV-Bestrahlungen zu rechnen ist. Bei Regen und stark bewölktem Himmel besteht dagegen in der Regel keine Gefährdung durch die UV-Strahlung der Sonne.

Im Hochgebirge kann auch im Winter bei Schnee der UV-Anteil der Sonnenstrahlung zu einer Gefährdung der Augen und der ungeschützten Haut führen. Die Gefährdungs-Ermittlung und -beurteilung kann unterbleiben, wenn die Aufenthaltszeit im Freien nur einen geringen Teil der gesamten Arbeitszeit beträgt.

Als Grundlage für die Gefährdungsermittlung kann der UV-Index (siehe 7.2) verwandt werden. Der UV-Index ist international einheitlich festgelegt. Von einer „mittleren“ Gefährdung durch UV-Strahlung ist bei einem UV-Index von 3 bis 5, und von einer „hohen“ Gefährdung ab 6 (Klassifikation: hoch) oder größer auszugehen. In der Regel sind dann besondere Schutzmaßnahmen zu treffen.

Eine Gefährdungsermittlung kann auch durch Verwendung von geeigneten UV-Messgeräten beurteilt werden. Diese müssen die UV-Bestrahlung von Personen entsprechend den ICNIRP-Grenzwertempfehlungen bzw. den Grenzwertempfehlungen des Leitfadens „UV-Strahlung“ bestimmen.

**Schutzmaßnahmen:**

Ergibt die Gefährdungsermittlung und -beurteilung eine Gefährdung, so müssen geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Hierbei haben entsprechend den allgemeinen Auswahlkriterien grundsätzlich technische und organisatorische Schutzmaßnahmen Vorrang vor persönlichen Schutzausrüstungen. Bei der Auswahl der Schutzmaßnahmen wird zunächst das Risiko anhand der Dauer der Arbeit und der Zeit ermittelt.

Im Folgenden werden die Schutzmaßnahmen beispielhaft aufgeführt:

Technische Schutzmaßnahmen können z. B. sein:

- Überdachungen,
- UV-Absorbierende Abdeckungen,
- Verwendung von Sonnenschirmen,
- Unterstellmöglichkeiten für Arbeitsplätze im Freien, z. B. an der Kasse für Parkplatzwächter, feste überdachte Montagestellen auf Baustellen, Verkaufsstände im Freien,
- Verwendung von UV-Absorbierenden Fenstern bei Fahrzeugen, wie z. B. Bahnen, Bussen, Gabelstaplern, Traktoren, Baggern, Kranen, Flugzeugen,
- Verwendung von Dächern oder Sonnenschirmen für ständige Arbeitsplätze, wie z. B. Stände von Bademeistern, Beladungseinrichtungen, Verkaufseinrichtungen und Kinderspielplätzen.

Können die technischen Schutzmaßnahmen auf Grund der Verhältnisse vor Ort nicht zumutbar angewandt werden, sind organisatorische Schutzmaßnahmen zu treffen.

Organisatorische Schutzmaßnahmen können z. B. sein:

- die Expositionsdauer gegenüber Sonnenstrahlung beschränken,
- Tätigkeiten im Schatten durchführen,
- in den Mittagsstunden den Aufenthalt in der Sonne beschränken.

Die Anwendung dieser organisatorischen Maßnahmen ist z. B. bei Montagearbeiten an Masten und ähnlichen Einrichtungen, bei Be- und Entladevorgängen sowie in Kindertageseinrichtungen möglich. Zu berücksichtigen ist, dass ca. 50 % der täglichen UV-Strahlung in den 4 Stunden um den Sonnenhöchststand (13 Uhr MES im Sommer) auf die Erde gelangen.

Geeignete persönliche Schutzmaßnahmen sind z. B.:

- das Tragen von geeigneter körperbedeckender Kleidung und ggf. Kopfbedeckung,
- die Benutzung von Sonnenschutzcremes mit einem geeigneten Lichtschutzfaktor,
- bei Arbeiten, bei denen mit einer augengefährdenden Sonnenblendung zu rechnen ist, (z. B. im alpinen Rettungsdienst), ist das Tragen einer geeigneten Sonnenschutzbrille erforderlich.

Anforderungen an die Sonnenschutzfilter für den gewerblichen Bereich sind in der DIN EN 172 festgelegt. Beim Kauf einer „gewerblichen“ Sonnenschutzbrille sollte auf das CE-Zeichen geachtet werden. Dadurch kennzeichnet der Hersteller, dass sein Produkt den in Europa gültigen Qualitäts-Mindestanforderungen entspricht. Wichtige Hinweise sind auch in der BG-Regel BGR 192 "Benutzung von Augen- und Gesichtschutz" enthalten. Eine ausführliche Tabelle (Tab.9) mit den Schutzstufen und Bezeichnungen ist im Folgenden dargestellt.

Schutzstufe	Verwendung	Bezeichnung
5-1,1 6-1,1	Diese Schutzstufe gilt nur für bestimmte Fototrope Sonnenschutzfilter im hellen Zustand und für den Bereich hoher Lichttransmission von Verlauffiltern	
5-1,4 6-1,4	als sehr helles Filter nicht zu empfehlen	sehr hell
5-1,7 6-1,7	als helles Filter nicht zu empfehlen	hell
5-2 6-2	als empfohlenes Universalfilter meist gut verwendbar	mittel
5-2,5 6-2,5	meist gebräuchlich in Mitteleuropa	dunkel
5-3,1 6-3,1	in den Tropen und Subtropen, für Himmelsbeobachtungen, im Hochgebirge, Schneeflächen, hellen Wasserflächen, Sandflächen, Kalk- und Kreidebrüchen, für den Straßenverkehr nicht zu empfehlen	sehr dunkel
5-4,1 6-4,1	nur bei extremen Bestrahlungsstärken, nicht für den Straßenverkehr geeignet	extrem dunkel

**Tab. 9:** Anwendungsfelder von Sonnenschutzbrillen; Filter mit der Vorzahl 6 besitzen einen IR-Schutz.

## 9 Literatur

- [1] [www.mpi-hd.mpg.de/](http://www.mpi-hd.mpg.de/)
- [2] Schönwiese, C: "Klimatologie" Uni-Taschenbücher (UTB) Verlag Eugen Ulmer Stuttgart (1994)
- [3] Van der Leun, J.C and de Gruijl, F.R : "Influences of Ozone Depletion on Human and Animal Health". In :UV-B Radiation and Ozone Depletion. M.Tevini, edt. Lewis Publishers, London (1993)
- [4] Steinmetz, M.: "Ozonloch und UV-Strahlung". Apotheker Journal 18. Jahrgang Nr. 5 (1996)
- [5] Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Gesamtausgabe Nr.37-48 (1998)
- [6] Köhler, U. et al.: "Spektrale und integrale Messungen der UV-B-Strahlung im Vergleich zu Ozonmessungen". Bericht BayForklim-Projekt B I 10 (1995)
- [7] Madronich, S.: "UV Radiation in the Natural and Perturbed Atmosphere". In :UV-B Radiation and Ozone Depletion. M.Tevini, edt. Lewis Publishers, London (1993)
- [8] ICNIRP: Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3  $\mu\text{m}$ ); Health Physics 73 (1997), 539 –554
- [9] Bulnois, J.L. "Photophysical Processes in Recent Medical Laser Development: a Review" Lasers in Medical Science Vol1 (1986)
- [10] WHO: Environmental Health Criteria 160 "Ultraviolet Radiation", World Health Organization, Genf (1994)
- [11] Wittenberg, S.: "Solar radiation and the eye: a review of knowledge relevant to eye care". Am. J. Ophthom Physiol Optics, 63: 676-689 (1986)
- [12] Siekmann, H. "Gefährdung der Augen" Information des BIA 07/2002
- [13] Hockwin, O., Sasaki, K. Leske, M.C.: "Risk factors for Cataract Development". Dev. Ophthalmol. Vol.17, Karger, Basel (1989)
- [14] Gilchrest, B.A. et al. "The human sunburn reaction: histologic and biochemical studies". J. Am. Acad. dermatol. 5: 411-422 (1981)
- [15] Food and Drug Administration (FDA): "Medications that increase sensitivity to light"(prepared by Levine J.I.). Rockville, Maryland (1992)
- [16] Ertsey, I., Steinmetz, M.: UV-Index in Germany forecasted by BfS / DWD/ UBA. International Symposium "Environmental UV Radiation , Risk of Skin Cancer and Primary Prevention" 6.- 8.Mai 1996, Hamburg
- [17] Schopka, H. J., Steinmetz, M. (Hrsg.): "Environmental UV Radiation and Health Effects". International Symposium München, 4.-6.Mai 1993. BfS-ISH-171/95 (1995)
- [18] SSK Informationen, Nummer 4, „Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung“, Empfehlungen und Stellungnahmen der Strahlenschutzkommission 1995-1997
- [19] Kligman, L.H. and Kligman, A.M.: "The nature of photoaging: its prevention and repair". Photodermatology, 3: 215-227 (1986)
- [20] Vogel, G et al: Regional short term forecast of total column ozone Atm. Environment 29 (1995)
- [21] Int. Agency for research on cancer: "Solar and Ultraviolet Radiation". Monographs on the Evaluation of carcinogenic Risks to Humans, Vol.55, Lyon (1992)
- [22] Armstrong, B.K: "Sunlight and malignant melanoma: intermittent or total accumulated exposure to the sun". J. dermat. surg. oncol. 14: 835-849 (1988)
- [23] Kripke, M. L.: "Photoimmunology". Photochem. Photobiol. 52: 919-924 (1990)
- [24] Ruggaber, A. "Modellierung photolytischer Prozesse in der Troposphäre" Dissertation der Ludwig-Maximilians-Universität München (1994)

- [25] Mc Kinlay, A.F. and Diffey, B.L.: "A reference spectrum for UV induced erythema in human skin". CIE Journal 6: 17-22 (1987)
- [26] Steinmetz, M.: "Jahresbericht über die solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland – Messergebnisse aus dem UV-Messnetz des BfS/UBA (1995-2000) unter [www.bfs.de](http://www.bfs.de)
- [27] SSK: "Praktische Anwendung des UV Index Stellungnahme mit Anhang: Unterrichtung der Bevölkerung über die gesundheitlichen Auswirkungen / Risiken der solaren UV-Strahlung" (1996)
- [28] WHO: "Global Solar UV Index – A Practical Guide" (ISBN 92 4 159007 6, NLM classification: QT 162.U4, Marketing and Dissemination, World Health Organization, 20 Avenue Appia, 1211 Genf 27, Schweiz
- [29] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: "Global solar UV-Index" ICNIRP-1/95 ISBN 3-9804789-0-4 (1995)
- [30] Ott, Schreiber Ultraviolette Strahlung
- [31] Knuschke in Steinmetz 200 Jahre??
- [32] Steinmetz, M. et al: "Erfassung und strahlkenhygieneische Bewertung der solaren UV-Exposition in Deutschland" Z.Med. Phys 11 (2001)