

Fachverband für Strahlenschutz e. V.

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



Leitfaden „Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen“

FS-2013-157-AKNIR

Vorwort und Impressum

Eines der Hauptziele der Arbeit des Arbeitskreises "Nichtionisierende Strahlung" (AKNIR) des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. (FS) ist es, Unterlagen in Form von Leitfäden für die in diesem Arbeitskreis fachlich abgedeckten Themengebiete zu erstellen. Darin werden die physikalischen Grundlagen und der derzeitige wissenschaftliche Erkenntnisstand über die biologischen Wirkungen der einzelnen Teilbereiche vermittelt. Darüber hinaus werden die zulässigen Expositionswerte und durchzuführende Schutzmaßnahmen aufgeführt.

Die Leitfäden sollen sowohl den im Arbeitsschutz tätigen Experten als auch jedermann die notwendigen Hilfestellungen geben, um sich über das jeweilige Thema sachlich zu informieren, eventuell die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, aber auch die mitunter von anderer Seite geschürten Ängste in der Öffentlichkeit vor nichtionisierender Strahlung durch sachliche Informationen zu relativieren, und zwar auf der Grundlage des Standes von Wissenschaft und Technik.

Der vorliegende Leitfaden „Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen“ soll allen Interessierten die notwendigen Informationen an die Hand geben, um mit Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen umgehen zu können.

Der Leitfaden „Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen“ 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.

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

Der Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung hat außerdem Leitfäden zu folgenden Themen erstellt:

- Sonnenstrahlung
- Laserstrahlung
- Sichtbare und infrarote Strahlung
- Lichteinwirkungen auf die Nachbarschaft
- Elektromagnetische Felder
- Infraschall
- Ultraschall

Verfasser: Martin Brose
Hauke Brüggemeyer
Klaus Dollinger
Max Graf
Werner Horak
Hermann Jossen
Emmerich Kitz
Peter Knuschke
Günter Ott
Hans-Dieter Reidenbach
Harald Siekmann
Manfred Steinmetz
Thomas Völker
Daniela Weiskopf

Stand: 18.03.2013

Redaktion und Bezug:

Prof. a. D. Dr. Hans-Dieter Reidenbach
Sekretär des AKNIR
Fachhochschule Köln – Forschungsbereich Medizintechnik und Nichtionisierende Strahlung
Betzdorfer Str. 2, 50679 Köln
Telefon: +49 221 - 8275 2003, -2208
E-Mail: hans.reidenbach@fh-koeln.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Einige physikalische Grundlagen	4
3	Künstliche UV-Strahlenquellen.....	5
4	Wirkungen am Menschen.....	6
4.1	Bildung von Vitamin-D3	6
4.2	Zielorgan Auge	9
4.3	Zielorgan Haut.....	10
4.4	Indirekte Wirkungen.....	15
5	Gesetzliche Regelungen und Normen.....	16
5.1	Privater Bereich	16
5.1.1	Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung.....	16
5.2	Gewerblicher Bereich	17
5.2.1	Europäische Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“ und nationale Umsetzungen.....	17
5.2.2	Verordnungen.....	18
5.2.3	Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG	19
5.2.4	Normen zur Anwendung der Richtlinie 2006/25/EG und der Verordnung OStrV19	
5.2.4.1	DIN EN 62471 (VDE 0837-471):2009-02, „Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen“	19
5.2.4.2	DIN EN 12198-1:2000-10, „Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung, Teil 1: Allgemeine Leitsätze“.....	21
5.2.4.3	DIN EN 16237 Klassifizierung nicht elektrisch betriebener Quellen inkohärenter optischer Strahlung, Entwurf	22
5.2.4.4	DIN EN 14255 „Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“	23
5.2.5	Herstellerangaben	24
6	Messverfahren.....	26
6.1	Festlegungen zur Durchführung von Messungen nach DIN EN 14255-1	27
6.2	Spektralverfahren	28
6.3	Integralverfahren	30
7	Schutzmaßnahmen für Arbeitsplätze	33
7.1	Beispiele für Risikobewertungen	35
7.1.1	Erhitzen von Quarzglas	35
7.1.2	Schweißen	36
7.1.3	Interpretation von Herstellerangaben.....	36
7.2	Kennzeichnung von Arbeitsplätzen mit gefährlicher optischer Strahlung.....	37
8	Literatur	39
9	Adressen	42
Anhang	43

1 Einleitung

Der Einsatz von ultravioletter Strahlung (UV-Strahlung) in der Industrie hat in den letzten Jahren ständig zugenommen. Besonders im Bereich der durch Strahlung induzierten Polymerisation von Farben und Klebstoffen wurden viele Anlagen und Apparate mit Anschlussleistungen in der Größenordnung von einigen hundert Watt bis zu einigen Kilowatt installiert. Von größter Bedeutung für den Strahlenschutz sind aber nach wie vor Arbeitsplätze mit Exposition durch Verfahren, die UV-Strahlung unerwünscht produzieren, insbesondere Lichtbogenschweißen.

Im privaten Bereich gibt es auch einige Anwendungen bei denen UV-Strahlung eingesetzt wird, wie z. B. UV-Pflanzenlampen, Solarien, UV-Entkeimungslampen, UV-Insektenfallen, UV-Nagellackhärtungsgeräte.

Mit der UV-Thematik bei Sonnenstrahlung und Laserstrahlung befasst sich dieser Leitfaden nicht. Hierzu sind vom Fachverband für Strahlenschutz ein separater Leitfaden „Sonnenstrahlung“ und ein Leitfaden „Laserstrahlung“ erarbeitet worden.

Hinweis: Die Blaulichtgefährdung ist von 300 nm bis 700 nm definiert. Sie wird im Leitfaden „Sichtbare und infrarote Strahlung“ behandelt. Bei UV-Strahlung von 300 nm bis 400 nm muss diese Gefährdung zusätzlich berücksichtigt werden.

Grundsätzlich sind die Schadenswirkungen von künstlich erzeugter und natürlicher UV-Strahlung gleich (siehe Leitfaden „Sonnenstrahlung“). Im Vergleich zur Exposition durch natürliche UV-Strahlung gibt es im Umgang mit künstlich erzeugter UV-Strahlung folgende Besonderheiten:

- die Quellen befinden sich unter lokaler Kontrolle (Sicherheit durch technische –, organisatorische Maßnahmen oder Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung realisierbar - man kann z. B. die Quelle abschalten)
- u. U. Möglichkeit der Exposition durch hochenergetisches UV-C (wird bei der Sonnenstrahlung durch die Ozonschicht ausgefiltert)
- auf eine natürliche Abwehr/Anpassung kann im Allgemeinen nicht gebaut werden, weil u. a. künstlich erzeugte UV-Strahlung oft keine wahrnehmbaren Strahlungsanteile wie die Sonnenstrahlung enthält.

Im Gegensatz zur häufigen „Ganzkörperexposition“ durch Sonnenstrahlung, werden im Zusammenhang mit künstlichen UV-Quellen wohl vorwiegend nur Gesicht, Hände und Augen exponiert.

2 Einige physikalische Grundlagen

Die Wellenlänge der optischen Strahlung (100 nm bis 1 mm) wird in Nanometer [nm] angegeben ($1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$). Die kurzwellige, für den Menschen gerade noch sichtbare Strahlung, wird als violettes Licht empfunden. Elektromagnetische Strahlung mit noch kürzerer Wellenlänge ist unsichtbar. Sie wird Ultraviolettstrahlung (UV) genannt und umfasst das Intervall von 100 nm bis 400 nm. Optische Strahlung unterhalb 180 nm Wellenlänge wird in der Luft praktisch vollständig absorbiert (Vakuum - UV). Eine Einteilung, die allerdings für den Schutz vor UV-Strahlung keine wesentliche Bedeutung hat, umfasst die Spektralbereiche UV-A: 315 nm bis 400 nm, UV-B: 280 nm bis 315 nm und UV-C: 100 nm bis 280 nm.

Der Bereich zwischen 380 nm und 400 nm wird in vielen Einteilungen sowohl der UV-Strahlung als auch der sichtbaren Strahlung zugerechnet (Abbildung 1).

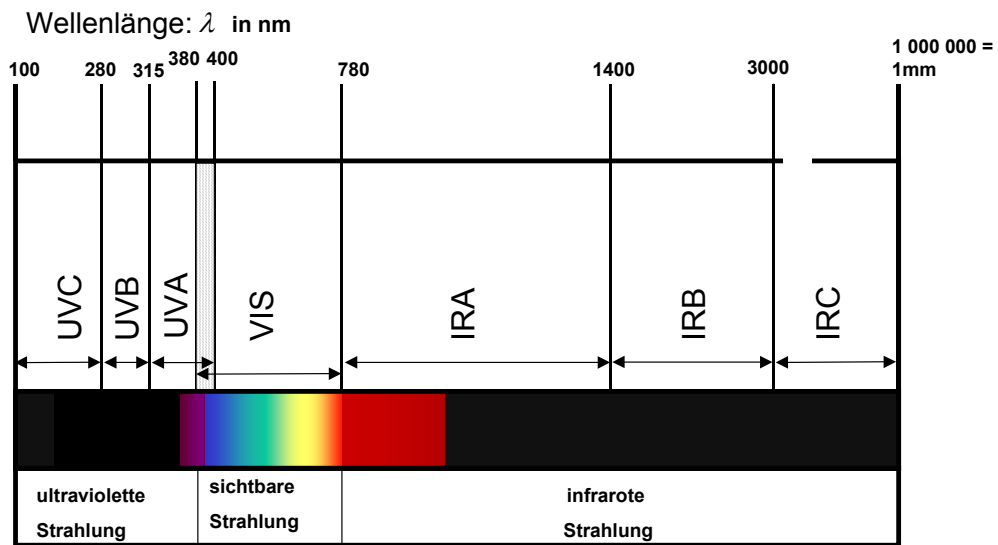


Abbildung 1: Einteilung der optischen Wellenlängen in verschiedene Bereiche

Die auf eine Flächeneinheit auftreffende Strahlungsleistung wird Bestrahlungsstärke E genannt und in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ angegeben. Das Produkt aus Bestrahlungsstärke und Einwirkungs- bzw. Expositionsdauer ergibt die Bestrahlung H („Dosis“) in $\text{W}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ oder $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$.

Weitere Definitionen und Begriffe sind in der DIN 5031 Teil 1 enthalten.

3 Künstliche UV-Strahlenquellen

UV-Strahlung wird entweder durch thermische Anregung von Atomen und Molekülen in Feststoffen oder in Schmelzen auf Temperaturen von einigen Tausend Grad Celsius oder durch Elektronenstoßreaktion in Gasen oder Dämpfen erzeugt. Einen Überblick konventioneller Strahlungsquellen mit einer Einteilung nach der Art der Strahlungserzeugung (Anregung) vermittelt Tabelle 1. UV-Strahlung kann auch mittels Laser oder Synchrotron erzeugt werden.

Tabelle 1: Beispiele künstlicher UV-Strahlenquellen nach Art der Strahlungserzeugung

Strahlenquelle	Anregung
Halogenleuchte	thermisch
Hg-Niederdruck, Edelgasentladung	elektrisch
Hg-Hochdruck, Metallhalogenid, Kohlenbogen, Lichtbogenschweißen, Plasmabrenner, Xenonlampe	thermisch und elektrisch
Leuchtstofflampe	elektrisch, Lumineszenz
LED im UV-Bereich	elektrisch

4 Wirkungen am Menschen

Entsprechend dem oben genannten Wellenlängenbereich liegen die Photonenenergien der UV-Strahlung im Größenordnungsbereich chemischer Bindungsenergien (zwischen 3,1 eV und 6,2 eV). Die Wirkungen von UV-Strahlung sind damit vorwiegend photochemischer Natur, während z. B. die Wirkung der Infrarotstrahlung thermisch ist.

Die Wirkung der UV-Strahlung auf den Menschen richtet sich generell nach dem sog. Bunsen-Roscoe-Gesetz (photochemisches Lichtmengengesetz). Demnach ist die Menge der Reaktionsprodukte einer photochemischen Reaktion proportional zum Produkt aus Bestrahlungsstärke [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] (Leistungsdichte) und Bestrahlungsdauer [s], d. h. der Bestrahlung [$\text{W}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ bzw. $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$] (oder auch „Dosis“). Eine große Bestrahlungsstärke über kurze Zeit kann somit ähnliche Wirkung hervorrufen, wie eine geringere Bestrahlungsstärke über einen längeren Zeitraum. Ausschlaggebend ist das Produkt der beiden Werte.

Anders als z. B. Röntgenstrahlung kann UV-Strahlung den menschlichen Körper nicht durchdringen, sondern wird in den obersten Hautschichten absorbiert, wo die Strahlungsenergie in photochemische Reaktionsenergie umgewandelt wird. Ultraviolette Strahlung kann also beim Menschen Schäden an der Haut und an den Augen verursachen. Die Absorption erfolgt in sog. Chromophoren – DNS (DNA), RNS (RNA), Proteinen, Pigmenten (z. B. Melanin).

Einzelne Spektralbereiche der UV-Strahlung werden grob nach ihren Wirkungen unterschieden:

UV-A-Strahlung (400 nm - 315 nm) dringt bis in die Lederhaut (Dermis) ein. In diesem Bereich befinden sich die Fasern, die für die Elastizität der Haut verantwortlich sind. Diese werden von der UV-A-Strahlung angegriffen, was die Faltenbildung und die Hautalterung (Heliodermatose) beschleunigt. UV-A-Strahlung führt vorwiegend zur Bildung aggressiver, reaktiver oxydativer Substanzen (ROS), die Zellen und auch die DNS (indirekt) zerstören können.

UV-B-Strahlung (315 nm - 280 nm) ist energiereicher als UV-A-Strahlung. Die UV-B-Strahlung wird vorwiegend in der Oberhaut (Epidermis) direkt durch die DNS oder Proteine absorbiert. Das führt zu angeregten Zuständen bzw. zum Zerfall in schädliche Photoprodukte (Dimerisation) oder Zerstörung. Die akute Folge oberhalb einer individuellen Schwellendosis (Minimale Erythemdosis, MED) ist der sog. Sonnenbrand (UV-Erythem).

UV-C-Strahlung (280 nm - 100 nm) ist der kurzwelligste bzw. energiereichste Bereich der UV-Strahlung. Luftsauerstoff wird durch Absorption von UV-C-Strahlung zumeist in Ozon umgewandelt. Aufgrund der Photonenenergien von UV-C-Strahlung vermag diese durch Dissoziation direkt Strangbrüche in der DNS zu bewirken. Wegen dieser besonderen "Lebensfeindlichkeit" wird technisch erzeugte UV-C-Strahlung zur Bakterientötung, Entkeimung, Sterilisierung usw. eingesetzt. UV-C-Strahlung mit Wellenlängen unterhalb 200 nm, entsprechend einer Quantenenergie von mehr als 6,2 eV, kann schon Elektronen aus Atomen oder Molekülen lösen und gehört damit eigentlich, wie Gamma- oder Röntgenstrahlung, zur ionisierenden Strahlung.

4.1 Bildung von Vitamin D3

Die wichtigste positive biologische Wirkung der UV-Strahlung auf den Menschen ist die Einleitung des Vitamin-D-Stoffwechsels. Die UV-bestrahlte Haut von Europäern kann den Vitamin-D-Bedarf zu mehr als 95 % decken und ist somit ganz entschei-

dend für die Bereitstellung dieses Vitamins verantwortlich [1]. Der Terminus „Vitamin D“ entspricht der Summe aus kutan in der Haut gebildetem Vitamin D₃ (Cholecalciferol) plus Vitamin D₃ und Vitamin D₂ (Ergocalciferol), welche mit der Nahrung zugeführt werden. Das Vitamin D ist streng genommen kein „Vitamin“. „Echte“ Vitamine werden in erster Linie mit der Nahrung aufgenommen. Die Ausgangssubstanz für die biologisch aktive Vitamin-D-Form liegt als Provitamin D₃ in der Oberhaut (Epidermis) vor und ist somit eigentlich ein Prohormon. Mit der photochemischen Umbildung von Provitamin-D₃ zu Prävitamin-D₃ durch Ultraviolett-B-Strahlung, der dann eine thermische Umbildung zu Vitamin D₃ (Cholecalciferol) in der Haut folgt, wird der Vitamin-D-Stoffwechsel eingeleitet. In der Leber erfolgt die Reaktion zu 25-Hydroxyvitamin D₃ (25(OH)D₃) und im Weiteren in der Niere zur wirksamen Form, dem 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ (1,25(OH)₂D₃) für die Versorgung der verschiedensten Organe:

- 1,25(OH)₂D₃ ist für die Aufnahme und Verwertung von Kalzium und Phosphor beim Knochenstoffwechsel des menschlichen Körpers notwendig. Ein Vitamin-D-Mangel auf lange Sicht würde Osteoporose (Rachitis bei Kindern) nach sich ziehen.
- Auch für Proliferation (Zellvermehrung), Differenzierung und Apoptose (programmierter Zelltod) der Zellen einer Vielzahl Organe spielen 25-Hydroxyvitamin D₃, aber insbesondere 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ eine wesentliche Rolle. Welcher Serum-Level für diese Prozesse optimal wäre, ist aber noch nicht hinreichend geklärt.

Mit diesen Organbeteiligungen gibt es im Zusammenhang gesehen Hinweise aus Studien zu verschiedenen anderen Krebserkrankungen in Relation zum Vitamin-D-Status:

Die International Agency for Research on Cancer (IARC) hat diese Studie auf deren Aussagekraft analysiert [2]. Belegt ist ein steigendes Dickdarmkrebsrisiko bei sinkendem Vitamin-D-Status. Auch für Brustkrebs belegen das die Studien, jedoch mit stark schwankenden Resultaten. Für Prostatakrebs ergab sich ein nur geringer bis kein Zusammenhang. Bei weiteren Krebsarten war das Studienmaterial nicht aussagekräftig genug. Mit steigendem Vitamin-D-Status scheint die allgemeine Sterberate zu sinken. Das Datenmaterial ist aber durch weitere kontrollierte Studien zu bestätigen.

Die Möglichkeit, Vitamin-D über die Nahrungsmittel der in Mitteleuropa typischen Ernährung aufzunehmen, ist begrenzt: Lediglich einige fette Fischarten (Lachs, Sardinen, Forelle, Makrele) können in einer Mahlzeit den Tagesbedarf (20 µg oder 800 IU Cholecalciferol) decken [3]. Andere Lebensmittel decken nur einen Bruchteil ab, womit die mitteleuropäische Ernährung nur minimal zu einem adäquaten Vitamin-D-Status beiträgt. Das obliegt der Vitamin-D-Bildung über die Haut.

Nach einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission bedarf es zur Aufrechterhaltung des notwendigen Vitamin-D-Spiegels beim gesunden Menschen nur geringer UV-Expositionen [4]. Im Sommerhalbjahr genügen ca. 15-minütige solare Alltagsexpositionen des Gesichts und der Hände pro Tag um die Mittagszeit. Es ist weder Sonnenbaden noch der Einsatz künstlicher UV-Strahlenquellen (wie Solarien) notwendig.

Jedoch gibt es Risikogruppen, die diese vergleichsweise geringen solaren Alltagsexpositionen nicht realisieren können. Davon betroffen sind Langzeitkranke und oft ältere, bewegungseingeschränkte Menschen (besonders in Alten- oder Pflegeheimen). Das sind aber auch Personengruppen, die sich an Arbeitstagen weitgehend in Ge-

bäuden aufhalten (müssen), an Freizeittagen aber ebenfalls wenig tagsüber im Freien sind. Im Winterhalbjahr fehlen kurzwelligere UV-B-Anteile im Solarspektrum. Selbst an sonnenreichen Tagen ist die Vitamin-D-Wirksamkeit der solaren UV-Strahlung zu gering, um messbare Beiträge für den Vitamin-D-Status gesunder Menschen zu liefern.

Die Sicherstellung eines optimalen Vitamin-D-Status sollte sowohl für die Risikogruppen, bei nachgewiesenem erniedrigtem Vitamin-D-Status, als auch während des Winterhalbjahres mittels Vitamin-D-Präparate gemäß den Empfehlungen der DGE erfolgen.

Von künstlichen UV-Expositionen in Solarien mit einerseits suboptimaler Vitamin-D-Bildungswirksamkeit [5] und andererseits erheblichem zusätzlichem Beitrag zur kumulativen UV-Lebensdosis vor dem Hintergrund „Hautkrebsrisiko“ wird abgeraten. (Anmerkung: Zwei Solarienbesuche pro Woche über das Winterhalbjahr entsprechen etwa der UV-Jahresexposition von Innenbeschäftigten mit geringen Freizeitaktivitäten im Freien [6].)

In Abbildung 2 ist die relative spektrale Wirksamkeit der Umbildung von Provitamin D₃ zu Prävitamin D₃ dargestellt. Das sogenannte Aktionsspektrum reicht von 250 nm bis 320 nm. Beim Maximum von 295 nm setzt erst das Solarspektrum unserer geografischen Breiten ein, während die Vitamin-D-Wirksamkeit von hier exponentiell zum UVA-Bereich sinkt [7].

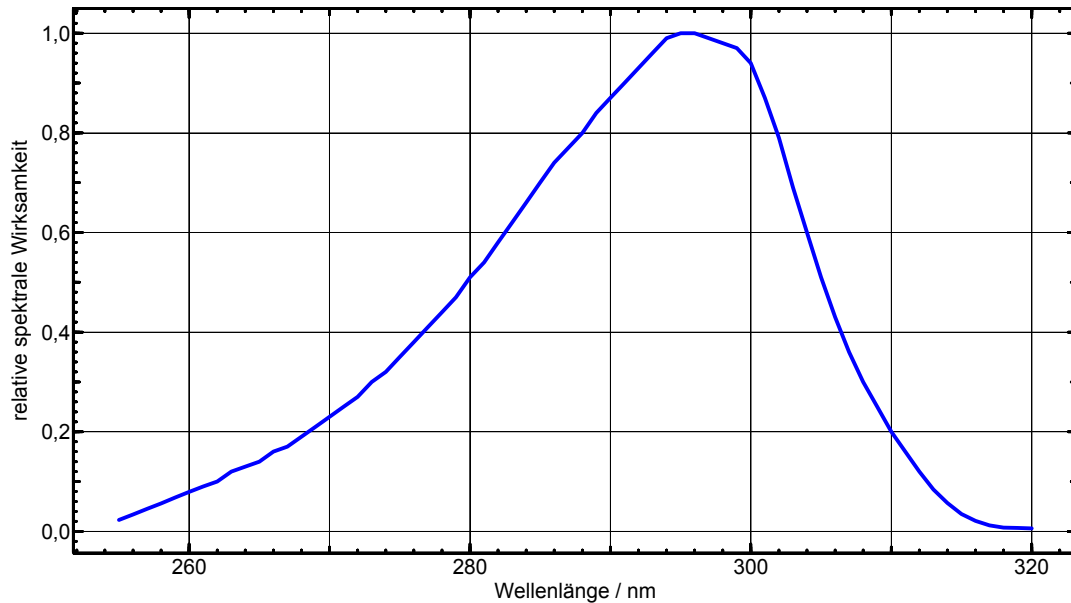


Abbildung 2: Relative spektrale Wirksamkeit zur Bildung von Vitamin D3

4.2 Zielorgan Auge

Die auf das Auge einwirkende UV-Strahlung wird je nach Wellenlänge von der Hornhaut oder Augenlinse absorbiert. Bei Strahlung aus dem UV-A-Bereich erfolgt dies hauptsächlich in der Augenlinse. Durch UV-B- und UV-C-Strahlung kann am Auge eine Entzündung der Hornhaut (Photokeratitis) und Bindehaut (Photokonjunktivitis) ausgelöst werden, die, je nach auslösender Ursache, auch als Verblitzen der Augen, Schweißerblende oder Schneeblindheit bezeichnet wird. In Abbildung 3 ist die relative spektrale Wirksamkeit für die Photokeratitis dargestellt, die bei 288 nm eine mittlere Schwellenbestrahlung von $100 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ hat, sowie für die Photokonjunktivitis mit einer Schwellenbestrahlung von $50 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ bei 260 nm. Die Symptome treten erst 5 bis 10 Stunden nach Bestrahlung auf und reichen von leichten Augenreizungen bis zu starken Augenschmerzen. Die Entzündungen sind nach 1 bis 3 Tagen wieder abgeklungen.

Nach langjähriger Einwirkung von UV-A-Strahlung kann eine Katarakt (Grauer Star) entstehen. Hierbei handelt es sich um eine Trübung der Augenlinse, da die Wirkung der UV-A-Strahlung sich über Jahrzehnte kumuliert. Die Linse kann sich im Gegensatz zu den meisten anderen menschlichen Geweben nicht erneuern und muss bei starker Einbuße der Sehfähigkeit durch eine künstliche Linse ersetzt werden. In Deutschland werden ca. 600.000 Staroperationen pro Jahr durchgeführt, die zum Teil auf eine zu hohe Lebensdosis an UV-A-Strahlung zurückzuführen sind [\[35\]](#).

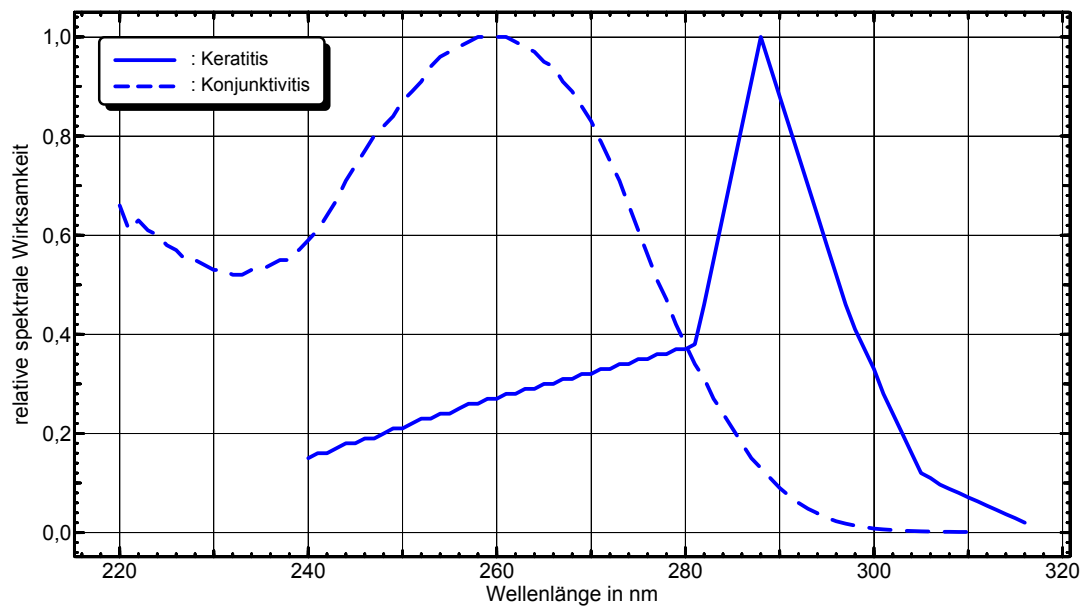


Abbildung 3: Relative spektrale Wirksamkeit zur Bildung der Photokeratitis und Photokonjunktivitis

4.3 Zielorgan Haut

Bei der Haut, wie auch bei allen anderen biologischen Geweben, ist eine starke Zunahme der Absorption bei kürzeren Wellenlängen festzustellen. UV-C-Strahlung wird bereits in erheblichem Maße in den abgestorbenen, kernlosen Zellen der Hornschicht absorbiert. Die UV-B-Strahlung wird weitgehend in der Oberhaut (Epidermis) absorbiert und erreicht noch die Keimschicht (Basalmembran). Die UV-A-Strahlung kann einige 100 Mikrometer tief eindringen und erreicht die Grenze zwischen Lederhaut (Dermis) und Unterhaut (Subkutis). Für die Wirksamkeit der UV-Strahlung beim Eindringen unter verschiedenen Winkeln in die Haut geht man von einer Kosinusabhängigkeit aus.

Neben der genannten Einleitung des Vitamin-D-Stoffwechsels (vgl. 4.1) als im Wesentlichen einzig gesundheitsförderlichem Effekt sind die Wirkungen von UV-Strahlung an der Haut:

- akut schädigend (A)
- chronisch schädigend (B)
- modulatorisch (C).

UV-Erythem – akut schädigender UV-Effekt an der Haut (A)

Das UV-Erythem ist eine insbesondere durch UV-B- und UV-C-Strahlung ausgelöste Entzündungsreaktion – bei Auslösung durch die solare UV-Strahlung ist es der Sonnenbrand. Nach einer Exposition oberhalb der Schwellendosis treten erste Symptome nach 2 bis 3 Stunden auf und erreichen im Mittel die maximale Reaktion nach 8 bis 12 Stunden. Je nach Ausmaß des Überschreitens der individuellen Schwellendosis resultiert die Reaktion in einer schwachen Rötung der Haut bis hin zur Blasenbildung mit starken Schmerzen. Nach drei bis vier Tagen ist in der Regel ein Nachlassen der Rötung festzustellen.

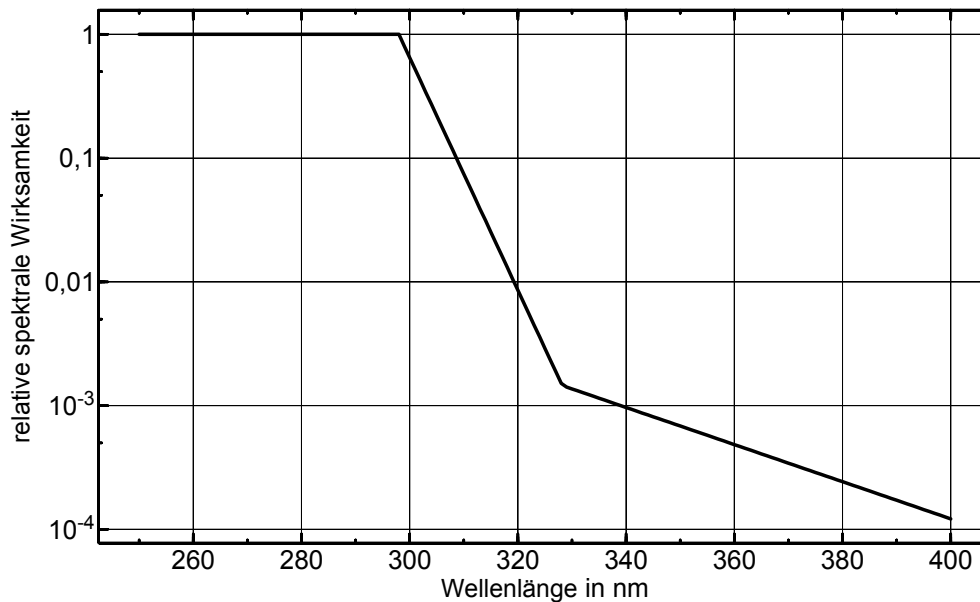


Abbildung 4: Relative spektrale Wirksamkeit zur Auslösung des UV-Erythems nach CIE

Die spektrale Wirksamkeit für das UV-Erythem zeigt im Wellenlängenbereich von 250 nm bis 297 nm ein Maximum und fällt im Bereich von 300 nm bis 330 nm um den Faktor 1000 steil ab (siehe Abbildung 4). Im UV-A-Bereich oberhalb 330 nm bis 400 nm ist der Rückgang der Erythemwirksamkeit geringer. UV-A-Wirksamkeit und maximale Wirksamkeit im UV-B/UV-C unterscheiden sich rund um einen Faktor 10.000.

Die mathematische Verrechnung – Nanometer für Nanometer – des Strahlerspektrums (der spektralen Bestrahlungsstärke) einer künstlichen UV-Strahlenquelle mit dieser Erythem-Wirkungsfunktion ergibt für eine Expositionsdauer eine standardisierte Erythemwirkung. Dabei sind 100 J/m² dieser standard-erythemgewichteten Strahlung 1 SED (SED: Standard-Erythem-Dosis). Hier handelt es sich um eine standardisierte Größe zur vergleichenden Einschätzung der Erythemwirksamkeit von verschiedensten, insbesondere künstlichen UV-Strahlenquellen.

Messgröße für die individuelle UV-Empfindlichkeit einer Haut ist die minimale Erythemdosis MED. Ein MED ist die UV-Dosis einer UV-Strahlenquelle, die an der Hautstelle der untersuchten Person eine gerade durchgängig zarte, gegenüber dem Schablonenumfeld abgegrenzte Rötung hervorruft. Die Bewertung erfolgt üblicherweise 24 Stunden nach der photodiagnostischen Applikation mittels einer sogenannten „Lichttreppe“, einer Serie aufsteigender UV-Dosen über eine Schablone (d. h., die Bewertung erfolgt zu einem Zeitpunkt, zu dem die Rötungsreaktion bereits wieder im Abklingen ist!). Die MED weist für Hautareale unterschiedlicher Körperregionen unterschiedliche Werte auf – beispielsweise: Gesicht zu Handrücken = 1 zu 4.

Langanhaltende (persistierende) bzw. verzögerte Pigmentierung der Haut (C)

Die Schwellendosis für die Neubildung des Hautfarbstoffs Melanin liegt im UV-B etwas unter der MED. Das Abklingen des UV-Erythems (s. o.) ist gefolgt von einer Melanin-Pigmentierung dieser Hautareale. Die Melaninkörnchen lagern sich schirmartig oberhalb der Zellkerne in der Oberhaut an. Melanin absorbiert UV-Strahlung und vermag so in einem begrenzten Umfang die DNA in den Zellkernen zu schützen. Damit erhöht eine ausgebildete Melaninpigmentierung (Hautbräunung) die erforderli-

che UV-Dosis (die MED), um durch erneute DNA-Schädigung ein weiteres UV-Erythem/Sonnenbrand auszulösen. Bei der persistierenden Pigmentierung handelt es sich um eine Eigenschutzreaktion der Haut gegen die Akutreaktion UV-Erythem bei auftretenden erhöhten UV-Expositionen. Die Wirkungsfunktion für die **bleibende Pigmentdunkelung** ist quasi der UVA-Ausläufer der langanhaltenden Pigmentierung deutlich niedrigerer Wirksamkeit, wobei dazu für dunklere Hauttypen im UV-A die Erythemschwelle nicht mehr überschritten werden muss. Bei der **Sofortpigmentierung** im UV-A-Bereich wird in der Haut vorhandenes Melanin photooxidativ grau-braun gedunkelt, was nach Minuten bis wenige Tage wieder verschwindet – und keine Erhöhung des Eigenschutzes gegen das UV-Erythem bewirkt.

Hauttypen - Unterscheidungsfaktoren

Zur Klassifizierung der individuellen Hautempfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung werden konstitutionelle Faktoren (u. a. Hautteint, Haarfarbe, Augenfarbe) und anamnestische Erhebungen (u. a. Sonnenbrandneigung, Pigmentierungsfähigkeit und –beständigkeit) erhoben [8]. Diese Faktoren sind im zeitlichen Verlauf zwischen den Menschen nicht einheitlich. Deshalb stimmen nach 24 Stunden bestimmte minimale Erythemdosis und ermittelter Hauttyp nicht unbedingt überein. Einen Überblick zu den Hauttypen und eine Orientierung zur mittleren MED je Hauttyp gibt Tabelle 2 [7]. Diese Werte gelten für eine gesunde, nicht vorgebräunte Haut und können jedoch für Personen mit erhöhter Photosensitivität nicht herangezogen werden.

Tabelle 2: Einteilung der Hauttypen in Abhängigkeit von Sonnenbrandneigung und Bräunungsfähigkeit mit Angaben der minimalen Erythemdosis als Orientierungswert

Hauttyp	Hautreaktion	Orientierungswerte für MED	
		in Jm^{-2} (erythem-effektiv)	in SED
I	immer schnell Sonnenbrand, keine Bräunung, auch nach wiederholten Bestrahlungen (keltischer Typ)	< 200	< 2,0
II	fast immer Sonnenbrand; mäßige Bräunung nach wiederholten Bestrahlungen (hellhäutiger europäischer Typ)	200 ± 100	2,0 ± 1,0
III	mäßig oft Sonnenbrand, fortschreitende Bräunung nach wiederholten Bestrahlungen (dunkelhäutiger europäischer Typ)	400 ± 100	4,0 ± 1,0
IV	selten Sonnenbrand, schnell einsetzende und deutliche Bräunung (mediterraner Typ)	600 ± 100	6,0 ± 1,0
V	praktisch nie Sonnenbrand, schnell einsetzende und dunkle Bräunung (dunkelhäutiger Typ)	850 ± 150	8,5 ± 1,5
VI	praktisch nie Sonnenbrand, konstitutionell extrem dunkel pigmentiert (schwarzhäutiger Typ)	> 1000	> 10,0

Lichtschwielereaktion der Haut (C)

Eine UV-B-Exposition im Bereich der individuellen MED oder darüber lösen in der Keimschicht eine beschleunigte Zellteilung aus, mit Verdickung von Oberhaut und in Folge eine Verdickung der Hornschicht. Damit dringt etwas weniger UV-Strahlung bis zur Keimschicht. Der Effekt bildet sich bereits schon innerhalb von 24 Stunden bis 48 Stunden nach UV-Überexposition aus. Ohne eine weitere erhöhte UV-Exposition stellt sich innerhalb des Zellerneuerungszyklus von rund 30 Tagen die vorherige Oberhautdicke wieder ein.

Gemeinsam mit der lang anhaltenden Pigmentierung stellt die Lichtschwielereaktion einen Eigenschutzeffekt der Haut gegen die Akutreaktion UV-Erythem. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass der UV-Eigenschutz bei Arbeitnehmern im Freien am Ende des Sommers nur verdoppelt ist und somit insgesamt für Schutzkonzepte keinen Beitrag liefern kann [9].

Photodermatosen, photoallergische und phototoxische Reaktionen (A)

Es gibt einige Menschen, die abweichend von der Mehrheit stärker auf UV-Strahlung reagieren, was zu Photodermatosen – durch UV-Strahlung ausgelöste Hauterscheinungen – führt. Eine weitere akute Wirkung der UV-Strahlung können phototoxische

oder photoallergische Hautreaktionen sein. In beiden Fällen kommt es zur Zuführung von Substanzen an die Haut durch Aufnahme oder durch Hautkontakt. UV-Strahlung und hier mehrheitlich UV-A-Strahlung lösen dann entsprechend gesundheitliche Reaktionen aus – ohne Strahlenexposition keine Reaktion. Phototoxische Substanzen ab einer bestimmten Aufnahmemenge führen oberhalb einer gewissen UV-Exposition für alle Menschen zu gesundheitlichen Reaktionen. Bei photoallergischen Substanzen ist das nur der Fall für die Menschen, die die entsprechende allergische Potenz besitzen. Die Reaktionen können ähnlich wie beim Sonnenbrand verlaufen, sie treten jedoch oft schneller und stärker auf. Sie können aber auch auf den Gesamtorganismus wirken. Photoallergische Reaktionen können bei Wiederholung bereits durch sehr kleine Stoffmengen in Verbindung mit UV-Strahlung ausgelöst werden. Im Arbeitsbereich begünstigen beispielsweise Teer, Pech, Ruß oder bestimmte pflanzliche Stoffe phototoxische und photoallergische Reaktionen. Gewisse Nahrungs- und Genussmittel, Medikamente oder Kosmetika können ebenfalls Auslöser solcher Reaktionen sein. In einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission werden in einer Liste phototoxische und photoallergische Substanzen aufgeführt [4].

Immunsuppression durch UV-Strahlung (C)

UV-Strahlung wirkt immunsuppressiv. Die immunsuppressive Wirkung ist im UV-B-Bereich am stärksten. Im UV-A- Bereich sind die immunmodulatorischen Effekte wesentlich schwächer ausgeprägt. Diese Effekte wirken nicht nur lokal im UV-exponierten Areal, sondern es werden auch immunologische Botenstoffe freigesetzt, die durch Zirkulation zu systemischen Immunsuppressionen (im ganzen Körper) führen. Diese immunmodulatorischen Effekte durch UV(B)-Expositionen können in eine Reihe regulatorischer Abläufe im Körper eingreifen.

Hautalterung –Elastose (B)

Nach langjähriger Einwirkung von UV-Strahlung, vornehmlich aus dem UV-A-Bereich, kann als chronische Schädigung eine vorzeitige Hautalterung (Elastose) auftreten. Diese photoinduzierte Bindegewebsveränderung ist durch eine faltige Lederhaut und mangelnde Hautelastizität gekennzeichnet.

Photokarzinogenese – Hautkrebs durch UV-Strahlung (B)

Als schwerwiegendste chronische Hautschädigung kann nach langjähriger Einwirkung hauptsächlich durch UV-B-Strahlung (natürlich oder künstlich) und/oder UV-C-Strahlung (nur künstlich) Hautkrebs entstehen. Auch die UV-A-Strahlung ist als krebserzeugend eingestuft. Wie viel UV-Strahlung die Haut verträgt, ist sehr individuell und von konstitutionellen Faktoren abhängig. Die Haut addiert lebenslang jede Einwirkung von natürlichen und künstlichen UV-Strahlungsquellen, sowohl aus dem beruflichen als auch dem privaten Bereich (Urlaub, Sonnenbad, Solarium). Bei jeder UV-Exposition der Haut kommt es zu Millionen von DNS-Schäden in den Hautzellen. Diese werden aber durch einen ausgeklügelten Reparaturmechanismus ausgeheilt, notfalls wird mit dem programmierten Zelltod (Apoptose) die Notbremse gezogen. Je häufiger UV-Expositionen im Leben erfolgen, oder bei UV-bewirkter Immunsuppression nach sehr hohen UV-Expositionen, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass diese Mechanismen versagen. Wer sich häufig an vielen Tagen im Jahr der UV-Strahlung aussetzt, erhöht so sein Risiko einen Hautkrebs auszubilden – auch wenn seine UV-Expositionen unterhalb der Schwelle für den Sonnenbrand lag.

Bei den UV-induzierten Hautkrebsarten wird zwischen dem Basalzellkarzinom, dem Stachelzellkarzinom („weißer Hautkrebs“; NMSC – non-melanoma skin cancer) und dem malignen Melanom („schwarzer Hautkrebs“) unterschieden.

Hautkrebs – Häufigkeit und Vorsorge

Nach Informationen des Instituts für Krebs epidemiologie e.V. gibt es auf der Basis des Krebsregisters Schleswig Holstein für Deutschland hochgerechnet jährlich etwa 224.000 Neuerkrankungen an Hautkrebs [10]. Eine Zahl die stetig ansteigt. Darunter fallen 25.570 Neuerkrankungen durch das maligne Melanom (invasiv und in situ), eine Krebsart, die im Vergleich zu den beiden anderen Krebsarten mit deutlich geringeren Erfolgsaussichten therapierbar ist. Mit ca. 197.890 jährlichen Neuerkrankungen treten die Krebsarten „des weißen Hautkrebses“ Basalzellkarzinom und Stachelzellkarzinom am häufigsten auf (invasiv und in situ). Sie entstehen vorwiegend auf den Hautpartien, die oft der UV-Strahlung ausgesetzt wurden, wie im Gesicht, an den Ohren, auf dem Kopf, an Unterarmen und Händen. Verschiedene Studien zeigen eindeutig, dass mit anwachsender UV-Bestrahlung das Erkrankungsrisiko steigt. Der weiße Hautkrebs ist gut therapierbar. Hierbei hat die Nachsorge eine große Bedeutung, da insbesondere beim Stachelzellkarzinom innerhalb von 5 Jahren ein Zweitumor auftreten kann.

Während beim weißen Hautkrebs die Fallzahlen der Neuerkrankungen ab dem 45. Lebensjahr ansteigen und am häufigsten im 75. Lebensjahr auftreten, ist beim malignen Melanom zu erkennen, dass die Betroffenen immer jünger werden. Innerhalb von 30 Jahren hat sich das Maximum der Erkrankungshäufigkeit vom sechsten Lebensjahrzehnt auf das vierte bis fünfte Lebensjahrzehnt verschoben. Das maligne Melanom kann an allen Stellen des Körpers auftreten, auch an Stellen, die nur selten der UV-Strahlung ausgesetzt sind. Auch hier haben wissenschaftliche Untersuchungen gezeigt, dass beim malignen Melanom ein Zusammenhang mit der UV-Strahlung besteht. Das Risiko einer Erkrankung ist insbesondere erhöht bei einer hohen Anzahl an Pigmentmalen (Muttermalen), nach intensiven UV-Bestrahlungen in der Kindheit, nach häufigen exzessiven UV-Expositionen im Urlaub und anwachsender UV-Bestrahlung im Berufs- und Freizeitbereich [11]

Wie bei vielen Krebsarten ist die Früherkennung ein wesentlicher Punkt für einen guten Heilungserfolg. Beim Hautkrebs ist zu erkennen, dass nach wie vor die Anzahl der Neuerkrankungen zunimmt, jedoch die Sterberaten beim schwarzen Hautkrebs in den letzten Jahren stabil geblieben und beim weißen Hautkrebs rückläufig sind. Neben verbesserten Therapiemöglichkeiten ist dies auf eine verbesserte Früherkennung zurückzuführen. Seit dem 1. Juli 2008 kann in Deutschland jeder Versicherte ab dem 35. Lebensjahr alle 2 Jahre seine Haut auf Hautkrebs kostenlos untersuchen lassen. Dies kann beim Dermatologen oder beim Hausarzt, sofern dieser eine entsprechende Fortbildung und Genehmigung vorweisen kann, erfolgen. Von großer Bedeutung ist die Selbstbeobachtung auf Hautveränderungen, um den Krebs bereits in einem frühen Stadium zu erkennen und bei Verdacht einen Arzt aufzusuchen.

4.4 Indirekte Wirkungen

Die UV-Strahlung kann Moleküle der umgebenden Luft, Gase oder Dämpfe photochemisch aufspalten und vor allem Ozon, eventuell auch Phosgen oder andere Substanzen, in toxischer Konzentration erzeugen. Leistungsfähige UV-Strahlenquellen zum photochemischen Aushärten von lösungsmittelfreien Farben sowie die Lichtbogenerschweißanlagen können wichtige betriebsinterne Quellen dieser schädigenden Gase sein. Ozon kann die Lunge schädigen. Es können Kopfschmerzen, Schmerzen in der Brust und Reizung durch Trockenheit der oberen Atemwege entstehen.

5 Gesetzliche Regelungen und Normen

Im nachstehenden Abschnitt werden wichtige gesetzliche Regelungen und Normen zur Anwendung von optischer Strahlung vorgestellt. Hierbei wird zwischen den Festlegungen für den privaten und gewerblichen Bereich unterschieden.

5.1 Privater Bereich

5.1.1 Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung

Das Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung (NiSG) wurde am 3. August 2009 im Bundesgesetzblatt bekannt gemacht [12]. Da die Bemühungen, auf freiwilliger Basis einen wirksamen Schutz vor nichtionisierender Strahlung zu erreichen, keinen ausreichenden Erfolg erzielt hatten, wurde mit diesem Gesetz eine Rechtsgrundlage zum Schutz bei der Anwendung von nichtionisierender Strahlung am Menschen geschaffen.

Das Gesetz regelt den Schutz vor schädlichen Wirkungen durch nichtionisierende Strahlung, die durch den Betrieb von Anlagen zur Anwendung nichtionisierender Strahlung verursacht werden können. Es gilt sowohl für Anlagen zur medizinischen Anwendung nichtionisierender Strahlung in der Heil- und Zahnheilkunde als auch für den gewerblichen Einsatz außerhalb der Medizin (Kosmetikbereich). Der Anwendungsbereich des Gesetzes umfasst die elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder, sowie Ultraschall und optische Strahlung und deckt mit diesen physikalischen Einwirkungen einen Großteil der Verfahren ab, die im medizinischen und nichtmedizinischen Bereich zum Einsatz kommen. Für die optische Strahlung wird der komplette Wellenlängenbereich von 100 nm bis 1 mm definiert und beinhaltet UV-Strahlung, sichtbare Strahlung und Infrarot-Strahlung.

In der Heil- oder Zahnheilkunde dürfen die, für die Anwendungsart noch in einer Verordnung festzulegenden Grenzwerte, nur nach einer Nutzen-Risiko-Bewertung durch den zugelassenen Arzt überschritten werden. Dieser muss über die notwendige Fachkunde zur Beurteilung der Gefahren durch nichtionisierende Strahlung verfügen.

Eine wichtige Festlegung ist das Verbot für Minderjährige zur Bestrahlung der Haut mit künstlicher UV-Strahlung zur kosmetischen Anwendung (Solarienbesuch). Diese Forderung wurde von Strahlenschutzexperten schon lange erhoben. Ein wesentlicher Hintergrund ist, dass die International Agency for Research on Cancer der WHO sowohl die künstliche UV-Strahlung als auch die solare UV-Strahlung der Spektralbereiche UV-A, UV-B und UV-C (bezüglich der Haut: Basalzellkarzinom, Plattenepithelkarzinom, Melanom; bezüglich der Augen: Melanom, insbesondere Aderhaut- und Ziliarkörpermelanom) als karzinogen nach K1, der höchsten kanzerogenen Gefährdung, eingestuft hat [13]

Es sind Rechtsverordnungen zu erstellen mit detaillierten Festlegungen für den medizinischen und nichtmedizinischen Bereich.

Festlegungen für die medizinische Anwendung:

- Grenzwerte für rechtfertigende Indikationen bestimmter Anwendungsarten
- Anforderungen an die Fachkunde der berechtigten Personen und Nachweis dieser Fachkunde.

Festlegungen für die nichtmedizinische Anwendung:

- Nachweis eines Qualitätsstandards für eine möglichst geringe Strahlenbelastung von Personen und Anleitung wie der Nachweis an die zuständige Behörde zu erfolgen hat
- Grenzwerte für bestimmte Anwendungen
- Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte (durch Messung oder Berechnung) sowie Festlegung der Zeitabschnitte der technischen Überprüfung der Anlagen
- Festlegung der Beratungs- und Informationspflichten
- Anbringung von Warnhinweisen
- Anforderungen zum Schutz Minderjähriger
- Anforderungen an die fachlichen Kenntnisse der Anwender und wie diese nachzuweisen sind.

Mit dem Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung wird eine Rechtsgrundlage zum Schutz bei der Anwendung nichtionisierender Strahlung am Menschen geschaffen. Es stellt die notwendigen rechtlichen Handlungsfelder zur Verfügung, um Anforderungen an den Betrieb von Anlagen zu stellen bei denen nichtionisierende Strahlung zum Einsatz kommt. Durch Rechtsverordnungen sind diese Anforderungen zu konkretisieren, mit dem Ziel, die Strahlenbelastung nachhaltig zu senken. Als erste Verordnung zum NiSG ist die UV-Schutz-Verordnung (UVSV) am 1. Januar 2012 in Kraft getreten [14]. In der DIN EN 60335-2-27; VDE 0700-27:2009-04: „Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke“ sind grundsätzliche Anforderungen für Solarien enthalten [15].

5.2 Gewerblicher Bereich

5.2.1 Europäische Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“ und nationale Umsetzungen

Ziel der Richtlinie [16] ist es, Mindestanforderungen für den Schutz der Arbeitnehmer vor einer Schädigung von Augen und Haut durch die Exposition gegenüber optischer Strahlung festzulegen oder zu definieren. Die Richtlinie ist für künstliche optische Strahlung aus künstlichen Quellen im Spektralbereich von 100 nm bis 1 mm anzuwenden und gilt für inkohärente und kohärente (Laser) optische Strahlung. In dieser Richtlinie werden verbindliche Expositionsgrenzwerte festgelegt, bei deren Einhaltung für Beschäftigte ein Schutz vor allen gesundheitlichen Auswirkungen durch optische Strahlung aus künstlichen Quellen gegeben ist. Die Expositionsgrenzwerte sind für inkohärente Strahlung aus künstlichen Quellen im Anhang I und für Laserstrahlung im Anhang II der Richtlinie festgelegt. Sie entsprechen den Empfehlungen der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) und sind für verschiedene Wellenlängenbereiche in Abhängigkeit von den gefährdeten Organen Auge und Haut festgelegt. Neben umfangreichen Tabellen mit Grenzwerten enthalten die Anhänge hierzu Berechnungsgrundlagen und weitere Begriffserläuterungen. Ein wichtiger Bestandteil der Richtlinie ist die Verpflichtung des Arbeitgebers bei der Exposition gegenüber künstlichen Strahlungsquellen das Ausmaß der Exposition zu bewerten und ggf. Messungen oder Berechnungen durchzuführen, um sicher zu stellen, dass die Expositionsgrenzwerte eingehalten werden. Die Gefährdungsbeurteilung ist von fachkundigen Personen in regelmäßigen Abständen zu wiederholen. Unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts und der Verfügbarkeit von Mitteln hat der Arbeitgeber die Pflicht, eine Gefährdung durch künst-

liche optische Strahlung auszuschließen oder zu minimieren. Dazu hat er bei einer Exposition gegenüber künstlichen Strahlungsquellen, die möglicherweise zu einer Überschreitung der Expositionsgrenzwerte führen könnte, ein Aktionsprogramm mit technischen und/oder organisatorischen Schutzmaßnahmen zu erstellen und zur Anwendung zu bringen.

In Anhang I der Richtlinie sind für inkohärente künstliche optische Strahlung aus künstlichen Quellen für den UV-Bereich folgende verbindlichen Expositionsgrenzwerte festgelegt:

- Für das Auge und für die Haut gilt für den Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm eine effektive Bestrahlung von $30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ als Tagesgrenzwert über 8 Stunden. Bei der Berechnung der effektiven Bestrahlung ist die spektrale Gewichtung unter Beachtung der Wellenlängenabhängigkeit der gesundheitlichen Auswirkungen von UV-Strahlung auf Auge und Haut zu berücksichtigen.
- Für das Auge darf für den Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm eine ungewichtete Bestrahlung von $10.000 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ nicht überschritten werden.

Mit der Unterrichtung und Unterweisung der Arbeitnehmer stellt der Arbeitgeber sicher, dass die Arbeitnehmer über mögliche gesundheitliche Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung sowie über Maßnahmen zur Vermeidung dieser Gefährdungen an ihrem Arbeitsplatz informiert werden. Weiterhin werden grundsätzliche Festlegungen zur Gesundheitsüberwachung getroffen. Die Richtlinie ist am 5. April 2006 in Kraft getreten. Die Mitgliedstaaten waren verpflichtet bis zum 27. April 2010 die Richtlinie in nationales Recht zu überführen.

5.2.2 Verordnungen

Mit der Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (OStrV) ist die EU-Richtlinie 2006/25/EG in nationales Recht umgesetzt worden. Sie ist am 27. Juli 2010 in Kraft getreten [17].

Die OStrV ist für jegliche Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung an Arbeitsplätzen verbindlich. Eine zentrale Forderung der OStrV ist die Ermittlung und Bewertung der Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung am Arbeitsplatz. Im Rahmen der **Gefährdungsbeurteilung** nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes [18] hat der Arbeitgeber zunächst festzustellen, ob Beschäftigte am Arbeitsplatz optischer Strahlung aus künstlichen Quellen ausgesetzt sind bzw. sein können. Ist dies der Fall, hat er alle hiervon ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten zu beurteilen und gegebenenfalls Maßnahmen zu ergreifen [19].

Da eine Arbeitsschutzverordnung aus prinzipiellen Erwägungen nicht zu sämtlichen in ihr enthaltenen Rechts- und Fachbegriffen Definitionen bzw. Erläuterungen enthalten kann, deren Erschließung und Verständnis für die Umsetzung einer Rechtsverordnung aber notwendig sind, hat das Bundesministerium für Arbeit und Soziales den Ausschuss für Betriebssicherheit (ABS) beauftragt, **Technische Regeln** zur OStrV zu ermitteln bzw. zu erarbeiten. Die Technischen Regeln sollen insbesondere die Festlegungen zur Gefährdungsbeurteilung und Messungen von optischer Strahlung aus künstlichen Quellen sowie für Schutzmaßnahmen konkretisieren.

In Österreich wurde die Richtlinie 2006/25/EG durch die 221. Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, veröffentlicht am 8. Juli 2010 im Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, über den Schutz der

Arbeitnehmer/innen vor der Einwirkung durch optische Strahlung (Verordnung optische Strahlung – VOPST) umgesetzt [\[20\]](#).

In der Schweiz ist die Richtlinie 2006/25/EG rechtlich nicht anwendbar. Dagegen bilden das Arbeitsgesetz und das Unfallversicherungsgesetz mit ihren Verordnungen die rechtliche Basis für den Schutz vor optischer Strahlung an Arbeitsplätzen. Grenzwerte und weitere Vorschriften sind in der Publikation „Grenzwerte am Arbeitsplatz“ der Suva verbindlich festgelegt [\[21\]](#).

5.2.3 Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG

Die europäische Richtlinie 2006/25/EG über „Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung)“ ist am 5. April 2006 in Kraft getreten. In Artikel 13 der Richtlinie wird die Kommission zur Erstellung eines praktischen Leitfadens verpflichtet. Der Leitfaden soll eine Hilfestellung geben, um die Richtlinie besser zu verstehen. Dies betrifft insbesondere die Bestimmungen zu Artikel 4 „Ermittlung der Exposition und Bewertung der Risiken“ und Artikel 5 „Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Risiken“ sowie zu den Expositionsgrenzwerten nach Anhang I „Inkohärente optische Strahlung“ und Anhang II „Laserstrahlung“. In den Anhängen des Leitfadens werden die Eigenschaften der optischen Strahlung, ihre biologische Wirkung auf das Auge und die Haut sowie der Gebrauch von Substanzen, die die Lichtempfindlichkeit von Menschen verstärken, erläutert. Weiterhin sind umfangreiche ausgearbeitete Beispiele für einige künstliche Quellen optischer Strahlung enthalten und Tätigkeitsbereiche beschrieben, wie z. B. in der Glas- und Stahlverarbeitung.

Der Leitfaden bietet für Arbeitgeber, insbesondere von kleinen und mittelständischen Unternehmen, eine gute Hilfestellung zur Anwendung der Europäischen Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“. Von wesentlicher Bedeutung sind die Auslegungen zu den sogenannten trivialen Quellen. Für die Praxis von großem Nutzen sind die im Anhang aufgeführten beispielhaften Gefährdungsbeurteilungen für verschiedene Anwendungen von optischen Strahlungsquellen. Der Leitfaden liegt in verschiedenen Landessprachen vor und wurde in der deutschen Fassung 2011 veröffentlicht [\[22\]](#).

5.2.4 Normen zur Anwendung der Richtlinie 2006/25/EG und der Verordnung OStrV

Nachstehend werden die wichtigsten Normen vorgestellt, die zur Anwendung der Richtlinie 2006/25/EG und der Verordnung OStrV von Bedeutung sind.

5.2.4.1 DIN EN 62471 (VDE 0837-471):2009-02, „Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen“

Ziel dieser Norm ist es, für die Bewertung von möglichen Gefahren, die von verschiedenen Lampen und Lampensystemen ausgehen können, ein standardisiertes Verfahren bereit zu stellen. Der Anwendungsbereich betrifft alle elektrisch betriebenen, inkohärenten, optischen Breitbandstrahlungsquellen für den Wellenlängenbereich von 200 nm bis 3 000 nm. Nachdem LED aus dem Anwendungsbereich der Laser-Norm DIN EN 60825-1 herausgenommen wurden, fallen sie jetzt unter den Anwendungsbereich der DIN EN 62471 [\[23\]](#). Laser werden weiterhin durch die

DIN EN 60825-1 [24] abgedeckt, für die gegenwärtig die 3. Ausgabe in der Endabstimmung ist.

Wichtiger Bestandteil der Norm DIN EN 62471 sind die Festlegungen zur Messung, als Grundlage für die Berechnung von photobiologisch wirksamen Strahlungsgrößen und ein Verfahren zur Klassifizierung von Lampen. Für die Klassifizierung gelten die Expositionsgrenzwerte der EU-Richtlinie zur künstlichen optischen Strahlung (2006/25/EG). In der ursprünglichen Version IEC 62471:2006 sind Grenzwerte für die Exposition von Personen in der Norm enthalten. Nach Beratung dieser Norm wurden die Festlegungen zu den Grenzwerten in der europäischen Norm EN 62471 als Information in den informativen Anhang ZB verschoben, da arbeitsschutzrelevante Expositionsgrenzwerte in der EU nicht in einer technischen Norm festgelegt werden dürfen. Das Klassifizierungsschema bezieht sich auf die Klassifizierung von Lampen, kann jedoch in ähnlicher Art auf Leuchten oder andere Systeme, die Lampen enthalten, Anwendung finden. Lampen werden in vier Risikogruppen eingeteilt, wobei die ansteigende Risikogruppe, auf ein ansteigendes potenzielles Risiko der Gesundheitsgefährdung hinweist (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Festlegung der Risikogruppen nach DIN EN 62471 und Beschreibung der Gefahren für Haut und Auge im UV-Bereich

Risikogruppe	Beurteilung	Gefahr für Haut und Auge im UV-Bereich 200 bis 400 nm	Gefahr für das Auge im UV-A-Bereich 315 bis 400 nm
Freie Gruppe	Lampe stellt keine photobiologische Gefahr dar	Keine Gefahr innerhalb einer 8-Stunden-Bestrahlung (30 000 s)	Keine Gefahr innerhalb von 1 000 s (ca. 16 min)
Risikogruppe 1 (geringes Risiko)	Lampe stellt bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine Gefahr dar	Keine Gefahr innerhalb von 10 000 s	Keine Gefahr innerhalb von 300 s
Risikogruppe 2 (mittleres Risiko)	Lampe stellt aufgrund von Abwendungsreaktionen bei hellen Lichtquellen oder durch thermische Unbehaglichkeit keine Gefahr dar	Keine Gefahr innerhalb einer Bestrahlung von 1 000 s	Keine Gefahr innerhalb von 100 s
Risikogruppe 3 (hohes Risiko)	Gefahr durch die Lampe sogar für flüchtige oder kurzzeitige Bestrahlung	Grenzwerte für Risikogruppe 2 (mittleres Risiko) werden überschritten	Grenzwerte für Risikogruppe 2 (mittleres Risiko) werden überschritten

Das Klassifizierungsschema der Norm enthält neben den in Tabelle 3 aufgeführten Festlegungen zur Gefährdung durch UV-Strahlung auch Anforderungen für sichtbare Strahlung und Infrarot-Strahlung.

5.2.4.2 DIN EN 12198-1:2000-10, „Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung, Teil 1: Allgemeine Leitsätze“

Mit der DIN EN 12198-1 werden die grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie 98/37/EG hinsichtlich der von Maschinen ausgehenden Strahlenemission konkretisiert. Diese Norm ist für optische Strahlungsquellen anzuwenden, sofern sie Bestandteil einer Maschine sind und nicht zur Beleuchtung verwendet werden. Sie gilt neben der optischen Strahlung auch für niederfrequente und hochfrequente Felder, jedoch nicht für ionisierende Strahlung und nicht für die Emission von Laserstrahlen. Maschinen sind so zu konstruieren, dass jede Strahlenemission auf eine für den Betrieb erforderliche Stärke begrenzt wird und dass die für Personen zugängliche Strahlung verhindert oder auf nichtgefährliche Anteile verringert wird. In der Norm ist ein Verfahren festgelegt, wonach der Hersteller eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen hat. Sie umfasst eine Ermittlung der Strahlenemission, eine Kennzeichnung aller Gefahren und Maßnahmen zur Verminderung der Risiken. Weiterhin ist nach einem Verfahren eine Einteilung der Maschinen in eine Kategorie erforderlich, wobei die ansteigende Kategorie die Höhe der Gefahr, die von der Strahlenemission ausgeht, wiedergibt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Sicherheitsklassifizierung von Maschinen nach DIN EN 12198-1 mit Angaben der wirksamen Bestrahlungsstärke für die Schädigung von Haut und Auge

Kategorie	Anforderungen und Schutzmaßnahmen	Informationen und Ausbildung	Wirksame Bestrahlungsstärke E_{eff} in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ für den UV-Bereich 180 bis 400 nm
0	Keine Anforderungen	Keine Informationen notwendig	$E_{\text{eff}} \leq 0,1 \cdot 10^{-3}$
1	Anforderungen, Zugangsbegrenzung, Schutzmaßnahmen können erforderlich sein	Informationen über Gefahren, Risiken und sekundäre Gefährdungen	$0,1 \cdot 10^{-3} < E_{\text{eff}} \leq 1,0 \cdot 10^{-3}$
2	Besondere Anforderungen und grundlegende Schutzmaßnahmen	Informationen über Gefahren, Risiken und sekundäre Wirkungen, spezielle Ausbildung kann erforderlich sein	$E_{\text{eff}} > 1,0 \cdot 10^{-3}$

Bei der Zuweisung einer Kategorie ist die Einricht-, Betriebs- und Reinigungsphase beim Einsatz der Maschine zu berücksichtigen. Für Maschinen, die nicht der Kategorie 0 entsprechen, ist die Strahlenemission für den beabsichtigten Einsatz zu beurteilen. Dabei ist neben dem Abstand von der Strahlungsquelle und möglichen Bestrah-

lungszeiten auch zu berücksichtigen, welche Personen der Strahlung ausgesetzt sein können (Erwachsene, Kinder, unterwiesene und nichtunterwiesene Personen usw.) [25].

Neben dem Teil 1 „Allgemeine Leitsätze“ sind weitere Anforderungen in Teil 2 „Messverfahren für die Strahlenemission“ und in Teil 3 „Verminderung der Strahlung durch Abschwächung oder Abschirmung“ festgelegt.

5.2.4.3 DIN EN 16237 Klassifizierung nicht elektrisch betriebener Quellen inkohärenter optischer Strahlung, Entwurf

Die E DIN EN 16237 behandelt Quellen, die nichtelektrisch betrieben werden [26]. Beispiele für nichtelektrisch betriebene Quellen sind Brenner, Öfen, Heizgeräte, Gasschweißen, thermisches Schneiden, chemische Flammen, heiße Werkstoffe usw.. Damit der Anwender die Risiken, die von diesen Quellen ausgehen, leichter beurteilen kann, enthält diese Norm eine in Abhängigkeit der Gefährdung spezifische Emissionsklassifizierung. Die Emissionsklassen sind abhängig von der Emission der Strahlungsquelle und von der maximalen Expositionsdauer Δt_{\max} , ab der die Expositionsgrenzwerte der Richtlinie 2006/25/EG überschritten werden können (siehe Tabelle 5). Für die Klassifizierung ist die Emission der Strahlungsquelle anhand von Strahlungsdaten, Messung oder zuverlässiger Schätzung zu bestimmen. In Abschnitt 5 der Norm sind Verfahren zur Bestimmung der optischen Strahlungsemissionen festgelegt. Für geeignete Messverfahren und –einrichtungen wird auf die DIN EN 14255-1 verwiesen. Darüber hinaus werden zu den Messverfahren und zur Durchführung von Messungen spezielle Festlegungen getroffen. In den informativen Anhängen sind Angaben enthalten zur Klassifizierung der Strahlungsemission, Bezugswerte für Verbrennungen der Haut und über geeignete Messverfahren nach DIN EN 14255-1.

Tabelle 5: Klassifizierung von Strahlungsquellen, die nichtelektrisch betrieben werden

Emissionsklassen	Δt_{\max}	E_s in $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ (180 nm bis 400 nm)	E in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ (315 nm bis 400 nm)
0	24 h	$\leq 0,35$	$\leq 0,12$
1	8 h	$0,35 < E_s \leq 1,0$	$0,12 < E \leq 0,35$
2	2,5 h	$1,0 < E_s \leq 3,3$	$0,35 < E \leq 1,1$
3	1 h	$3,3 < E_s \leq 8,3$	$1,1 < E \leq 2,8$
4	20 min	$8,3 < E_s \leq 25$	$2,8 < E \leq 8,3$
5	5 min	$25 < E_s \leq 100$	$8,3 < E \leq 33$
6	<5 min	>100	>33

Dabei sind: • Δt_{\max} die maximale Expositionsdauer, in der die Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden,

- E_S die wirksame Bestrahlungsstärke, bei der die Bewertungsfunktion $S(\lambda)$ für die Gefährdung durch Ultraviolettstrahlung Anwendung findet und
- E die Bestrahlungsstärke (unbewertet) für den Wellenlängenbereich 315 nm bis 400 nm (UV-A).

5.2.4.4 DIN EN 14255 „Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“

Die DIN EN 14255 „Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“ besteht aus vier Teilen. Der Teil 2: „Sichtbare und infrarote Strahlung künstlicher Quellen am Arbeitsplatz“ wird hier nicht behandelt. In Teil 4: „Terminologie und Größen für Messungen von UV-, sichtbaren und IR-Strahlungsexpositionen“ werden Begriffe und Formeln eingeführt, die in den Teilen 1, 2 und 3 zur Anwendung kommen. In diesem Leitfaden wird nur der Teil 1: „Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung“ behandelt. Darin ist für UV-Expositionen im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm ein Verfahren zur Messung und Beurteilung von künstlichen Strahlungsquellen festgelegt. Dabei sind nachstehende Schritte zu beachten:

- Voruntersuchung als Grundlage für die weitere Handlungsweise
- Ausführliche Analyse der Arbeitsaufgabe
- Auswahl des Messverfahrens und Messung der UV-Exposition
- Beurteilung der Messergebnisse und Expositionsbedingungen
- Entscheidung über die zu treffenden Schutzmaßnahmen
- Wiederholung der Messung und Beurteilung
- Inhalte zur Erstellung eines Berichts.

Bei der Voruntersuchung ist festzustellen, ob die Gefährdungsbeurteilung anhand von hinreichenden Herstellerangaben erfolgen kann oder ob sie auf der Grundlage von Messungen erfolgen muss. Die Analyse der Arbeitsaufgabe ist für jede Tätigkeit und Bestrahlungssituation durchzuführen. Wichtige Angaben zu dem Messverfahren sind die Messunsicherheit und der Messempfindlichkeitsbereich. Bei Messungen, deren Ergebnisse mit Expositionswerten verglichen werden, darf die Messunsicherheit nicht größer sein als 30 %, während für Übersichtsmessungen dieser Wert 50 % nicht überschreiten darf. Die Messempfindlichkeit muss in einem Bereich von 0,1-fachen bis zum 2-fachen des angewendeten Grenzwertes liegen (siehe auch Kap. 6). Bei der Beurteilung der Exposition ist das Messergebnis mit dem Grenzwert zu vergleichen und eine Entscheidung zu treffen, ob und welche Schutzmaßnahmen anzuwenden sind. Eine Wiederholung der Messung und Beurteilung ist dann erforderlich, wenn wesentliche Veränderungen der Arbeits- und Expositionsbedingungen vorliegen, z. B. nach Installation einer Strahlungsquelle mit anderen Emissionseigenschaften. Bei den Berichten wird unterschieden zwischen einem Kurzbericht, der die Ergebnisse der Voruntersuchung enthält und dem ausführlichen Bericht, der die Ergebnisse der Messung und Beurteilung umfassend darstellt. Die aufschlussreichen Anhänge enthalten ein Flussdiagramm zum Verfahrensablauf, Beispiele für die Ana-

lyse der Arbeitsaufgabe, sowie Informationen zu Messsystemen und Messverfahren und zur Auswahl von Schutzmaßnahmen [27].

5.2.5 Herstellerangaben

Künstlich erzeugte UV-Strahlung kann an Arbeitsplätzen entweder als „Nebenprodukt“ bei bestimmten Tätigkeiten (z. B. Schweißen, Umgang mit Schmelzen) oder zweckbestimmt durch den Einsatz kommerziell erworbener Arbeitsmittel (UV-Rissprüfung, Desinfektion usw.) auftreten. Im letzteren Fall besteht häufig die Möglichkeit, die Beurteilung aktueller Expositionsszenarien unter Zugrundelegung der Herstellerangaben (s. Kapitel 5.2.4.) zu erleichtern.

Hersteller oder Importeure dürfen Produkte grundsätzlich nur in Verkehr bringen, wenn sie nach allgemein „anerkannten Regeln der Technik“ so beschaffen sind, dass Benutzer oder Dritte bei ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung vor Gefahren aller Art für Leben und Gesundheit geschützt sind. Grundlegende Anforderungen bezüglich Sicherheit und Gesundheitsschutz stellt in Deutschland das „Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz - ProdSG)“. Das ProdSG stellt die Übertragung verschiedener entsprechender Richtlinien der EU in nationales Recht dar. Im Fall künstlich erzeugter UV-Strahlung handelt es sich dabei insbesondere um die Maschinenrichtlinie (2006/42/EG), die Niederspannungsrichtlinie (2006/95/EG) und die Richtlinie (93/42/EWG) über Medizinprodukte (siehe aber auch Medizinproduktegesetz). Konformität mit diesen Richtlinien wird am Produkt mit dem CE-Kennzeichen dokumentiert. Eine „Konformitätsvermutung“ besteht insbesondere, wenn vom Hersteller „harmonisierte“ Normen verwendet wurden, deren Vorgaben zur Einhaltung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Produktsicherheitsrichtlinien dienen. Diese harmonisierten Produktnormen werden unter den Richtlinien im Europäischen Amtsblatt gelistet. Solche Normen gibt es für verschiedene Produktgruppen auch zum Schutz vor UV-Strahlung, s. Tabelle 6.

Tabelle 6: Produktgruppen, für die harmonisierte und gelistete Normen zur optischen Strahlungssicherheit existieren.

Produktgruppen die UV-Strahlung emittieren	Harmonisierte Normen zur Produktsicherheit bzgl. optischer Strahlung – gelistet unter:	
	Maschinen- RL	Niederspannungs- RL
Lasereinrichtungen allgemein		EN 60825-1
UV-Strahlungsemissionen von Maschinen	EN 12198	
Lampen und Lampensysteme		EN 62471

Da beim Hersteller die zukünftigen Expositionsbedingungen unbekannt sind, erfolgt eine Bewertung der vom Produkt ausgehenden Emission. Für diese gibt es klassenweise gestaffelte Grenzwerte. Die Klassenzuordnung ermöglicht es dem Hersteller die gesetzlich verlangte Auskunft über die potenzielle Gefährdung durch sein Produkt zu geben. Jeder Klasse liegt eine bestimmte Sicherheitsphilosophie zugrunde. Tabelle 7 gibt eine Grobzuordnung der in den Produktnormen für optische Strahlungsquellen (Tabelle 6) verwendeten Klassen und Sicherheitsphilosophien. In deren konkreter Auslegung können die Auffassungen der jeweiligen Normungsgremien allerdings deutlich voneinander abweichen.

Tabelle 7: Grobzuordnung der Sicherheitsklassen und -philosophien der harmonisierten Produktnormen

Laserklassen für Laser nach EN 60825-1	Risikogruppen für Lampen und Lampensysteme, LED) nach DIN EN 62471	Kategorien für Strahlungsemissionen aus Maschinen nach EN 12198	Sicherheitsphilosophie
Laserklasse 1*)	Risikogruppe 0	Kategorie 0	unter allen Umständen sicher
Laserklasse 1	Risikogruppe 1	Kategorie 1	sicher bei normalem Umgang
Laserklasse 1M			
Laserklasse 2	Risikogruppe 2		Sicherheit basiert auf Abwendungsreaktionen
Laserklasse 2M			
Laserklasse 3R	Risikogruppe 3	Kategorie 2	potenziell gefährlich: Schutzmaßnahmen notwendig
Laserklasse 3B			
Laserklasse 4			

*) erweiterte Zeitbasis für Klasse 1 wenn absichtliche und langzeitige Beobachtung erforderlich

Bei der Bewertung/Messung der Emission werden nach den harmonisierten Normen zumeist Extremsituationen, sog. „Worst-Case“-Szenarien bezüglich der Nutzungsumstände (z. T. inkl. möglicher Fehlerbedingungen) angelegt. Die Emissionsgrenzwerte selbst beziehen sich im Rahmen der jeweiligen Sicherheitsphilosophien auf maximale, vorhersehbare Betrachtungsdauern. Für die Auslegung der anzuwendenden Messverfahren werden maximale Pupillenöffnung für den Durchmesser der Messblende sowie minimaler (Akkommodations-)Abstand für die Messposition zugrunde gelegt. In der Lasersicherheit wird dabei z. T. sogar noch der Einfluss von optischen Instrumenten durch erhöhte Strahlung z. B. infolge Reflexion und Fokussierung berücksichtigt – ein Grund für die stärkere Unterteilung bei den Laserklassen in Tabelle 7. Auf dieser Worst-Case-Basis wurden die Emissionsgrenzwerte der Normen übrigens direkt von den Grenzwerten der Exposition ermittelt, wie sie in der OStrV gelten. Die Zuordnung zu bestimmten (sicheren) Klassen kann also gleichzeitig die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte unter ungünstigsten Nutzungsumständen bedeuten.

Am einfachsten für die Bewertung von Expositionsszenarien ist es also, wenn Produkte und Arbeitsmittel verwendet werden, die vom Hersteller der Rubrik „unter allen Umständen sicher“ zugeordnet wurden. Dies bedeutet, dass man ununterbrochen über einen ganzen Arbeitstag (nach DIN EN 12198 bis zu 24 Stunden) unter den genannten ungünstigsten Bedingungen (Abstand, Pupillenöffnung) direkt in die Strahlungsquelle „starren“ könnte.

Da dies mit sehr restriktiven Grenzwerten verbunden und wohl in den seltensten Fällen realistisch ist, gibt es die nächsthöhere Rubrik „sicher bei normalem Umgang“ – d. h. unter Voraussetzung bestimmungsgemäßen Gebrauchs und üblichen Verhaltens können die Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden.

Das gilt im Grunde auch für die nächste herstellerseitige Zuordnung (Sicherheit basiert auf Abwendungsreaktionen) – allerdings wird hier auf die Auslösung willkürlicher

und unwillkürlicher Abwehreflexe durch die optische Strahlungsquelle gebaut, im Fall von UV-Strahlung z. B. ein Fluoreszieren der Augenlinse. Diese Abwendungsreaktionen können u. U. jedoch eventuell gar nicht oder erst verspätet auftreten, außer Kraft gesetzt sein oder überwunden werden. Bei Produkten und Arbeitsmitteln dieser beiden Kategorien ist also zu prüfen, ob die jeweiligen Sicherheitsphilosophien im Einzelfall auch gelten und ob bestimmungsgemäßer Gebrauch vorliegt. Am kritischsten sind natürlich die Produkte und Arbeitsmittel, die herstellerseitig den höchsten Kategorien zugeordnet wurden, weil hier die Expositionsgrenzwerte definitiv überschritten werden können. Insbesondere bei inkohärenten optischen Strahlungsquellen müssen aber auch frei betriebene höher klassifizierte Einrichtungen im realen Anwendungsfall nicht unbedingt gefährlich sein.

Mit Ausnahme von z. B. Excimer-UV-Lasern ist die UV-Strahlung von konventionellen UV-Quellen zumeist divergent – die Leistungsdichte verringert sich also stark mit dem Quellenabstand und damit auch die tatsächliche Gefährdung unter den meisten Anwendungsbedingungen.

In größerer Entfernung bei bestimmungsgemäßigem Gebrauch wird die Gefährdung durch die unter den o. a. Worst-Case-Konstellationen getroffene Risikogruppenzuordnung zumeist nicht mehr adäquat beschrieben. In derartigen Fällen bleibt zu prüfen, ob es arbeitsbedingte Situationen gibt, bei denen sich Personen diesen Strahlungsquellen über das übliche Maß hinaus annähern können. Da sich diese Klassen- oder Risikogruppenzuordnung durch den Hersteller nur auf einzelne Quellen beziehen kann, ist sie allerdings für die Beurteilung von gleichzeitigen Expositionen durch mehrere Strahler nur begrenzt aussagefähig. Dann können sich die Einwirkungen u. U. addieren. Derartige Umstände müssen bei der Verwendung der Herstellerangaben ggf. berücksichtigt werden und können u. U. eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung bzw. Messungen notwendig machen.

Die Hersteller der Anlagen und Geräte müssen in der Regel Angaben über die Strahlungsemission ihrer Geräte machen (siehe DIN EN 12198-1 für Maschinen und DIN EN 62471 für Lampen und Lampensysteme).

Muss die Gefährdungsermittlung durch optische Strahlung mittels Messung dennoch durchgeführt werden, können dem Messziel angepasste Messmethoden angewandt werden.

6 Messverfahren

Für die Ermittlung und Bewertung der Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung am Arbeitsplatz nach der OStrV ist die Kenntnis von einigen Strahlungsgrößen erforderlich. Falls Herstellerangaben für eine Abschätzung der Gefährdung nicht ausreichend sind, kann eine Messung dieser Größen notwendig sein. Diese Messungen und Berechnungen sind nicht trivial und sind nach dem Stand der Technik fachkundig zu planen und durchzuführen. Für inkohärente Strahlung im UV-Bereich sind Festlegungen zur Messung in der DIN EN 62471 „Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen“ [\[23\]](#) und in der DIN EN 14255-1 „Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“ enthalten. Bei der Planung zur Messung ist unter Berücksichtigung des Messzieles (Vergleich mit Grenzwerten oder Übersichtsmessung) festzulegen, welches Messverfahren angewendet werden soll. Nachstehend werden die Festlegungen zur Durchführung von Messungen nach der DIN EN 14255-1 und die prinzipiellen Unterschiede der Messverfahren – Spektralverfahren und Integralverfahren – vorgestellt.

6.1 Festlegungen zur Durchführung von Messungen nach DIN EN 14255-1

Messungen und Bewertungen der Exposition gegenüber UV-Strahlung sollten nach dem in der DIN EN 14255-1 [22] beschriebenen Verfahren durchgeführt werden. Das Verfahren umfasst folgende Schritte:

Erste Abschätzung der Exposition

Hierbei sollten alle Informationen über die Strahlenquelle und die möglichen Expositionen gesammelt werden, die eine Entscheidung darüber erlauben, ob eine Messung überhaupt notwendig ist. So ist z. B. beim Schweißen ohne Schutzausrüstung mit einer hohen UV-Exposition und mit der Überschreitung der Grenzwerte zu rechnen. Bei der Einwirkung von Licht durch übliche Beleuchtungseinrichtungen ist dagegen keine Grenzwertüberschreitung zu erwarten. In beiden Fällen kann eine aufwändige Messung der UV-Strahlenexposition unterbleiben. Ggf. sind, wie im Fall des Schweißens, sofort Schutzmaßnahmen zu ergreifen. In der BGI 5006 „Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung“ sind im Anhang Beispiele für die Notwendigkeit von Expositionsmessungen und für die Anwendung von Schutzmaßnahmen bei verschiedenen Tätigkeiten aufgeführt. Die Beispiele geben Hinweise, ob und unter welchen Voraussetzungen Messungen notwendig, eventuell notwendig oder nicht notwendig sind [28].

Analyse der Arbeitsaufgabe

Die Arbeits- und Expositionsbedingungen sollten vor der Messung möglichst genau festgestellt werden. Dazu gehören u. a. Informationen über die Strahlenquelle, den Abstand von Personen zur Strahlenquelle, die Aufenthaltsorte und die Zeiten der Expositionen von exponierten Personen und die Art der verwendeten Schutzausrüstungen.

Messung der Exposition

Mit Hilfe der vorhandenen Informationen ist als nächstes die Messung zu planen. Weitere Schritte sind die Festlegung der zu messenden Strahlungsgrößen, die Auswahl des oder der geeigneten Messverfahren, die Prüfung, ob das gewählte Messverfahren die nach der Norm festgelegten Anforderungen erfüllt, die Durchführung der Messung und die Darstellung der Messergebnisse in einer für den Vergleich mit den Grenzwerten geeigneten Form. Bei der Durchführung der Messung ist auf einen ausreichenden Schutz des Messpersonals zu achten.

Bewertung der Exposition

Zur Bewertung werden die Messergebnisse mit den Expositionsgrenzwerten verglichen. Es wird festgestellt, ob die Grenzwerte eingehalten sind oder überschritten wurden.

Anmerkung: Eine hilfreiche Größe ist die Angabe der **maximal zulässigen Bestrahlungszeit** pro Arbeitstag ohne Schutzmaßnahmen.

Entscheidung über Schutzmaßnahmen

Wurden die Expositionsgrenzwerte überschritten, dann ist in der Regel die Anwendung geeigneter Schutzmaßnahmen notwendig, um die Exposition zu reduzieren und unter die Grenzwerte zu bringen (Anwendung des Prinzips TOP – technische, organisatorische Schutzmaßnahmen oder Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung).

Wiederholung von Messungen und Bewertung

Das Messergebnis spiegelt die Expositionssituation zum Zeitpunkt der Messung wieder. Ergeben sich später Änderungen bei der Strahlungsquelle, bei den Expositionszeiten, in der Art der Arbeit, bei der Anwendung von Schutzmaßnahmen oder bei den Expositionsgrenzwerten, dann kann es notwendig sein, die Messung und Bewertung zu wiederholen.

Bericht

Zum Abschluss sollten alle wesentlichen Informationen über die Messung und Bewertung in einem Bericht zusammengefasst werden.

6.2 Spektralverfahren

Das Spektralverfahren ist ein grundlegendes aber aufwendiges Verfahren, bei dem mit einem Spektralradiometer die spektrale Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit von der Wellenlänge im betrachteten Spektralbereich absolut gemessen wird. Mit einem Prisma oder Gitter wird die Strahlung wellenlängenabhängig in schmale Bänder mit spektralen Bandbreiten von üblicherweise 1 nm, 2 nm oder 5 nm zerlegt. Die so ermittelten spektralen Bestrahlungsstärken, können durch Berechnungen unbewertet oder mit einem Wirkungsspektrum bewertet, für einen Vergleich mit Grenzwerten verwendet werden.

Wesentliche Komponenten eines Spektralradiometers sind:

- Eingangsoptik
- Spektralapparat
- Empfänger
- Erfassungs- und Auswerteeinheit.

Bei dem Spektralverfahren sind die Messgeräte in zwei Ausführungen zu unterscheiden:

- Spektralradiometer mit schrittweiser Abtastung der Wellenlänge
- Spektralradiometer mit Array-Detektor.

6.2.1 Spektralradiometer mit schrittweiser Abtastung der Wellenlänge

Bei diesem Gerätetyp wird in diskreten Schritten in einem vorgegebenen Spektralbereich jede Wellenlänge schrittweise abgetastet. Das Ergebnis ist ein Spektrum mit Informationen über die spektrale Strahlungsverteilung der Quelle. Ein Spektralradiometer kann als Einfach-Monochromator oder mit einem nachgeschalteten zweiten Monochromator als Doppelmonochromator ausgeführt sein. In Abbildung 5 ist schematisch der Aufbau eines Doppelmonochromators dargestellt.

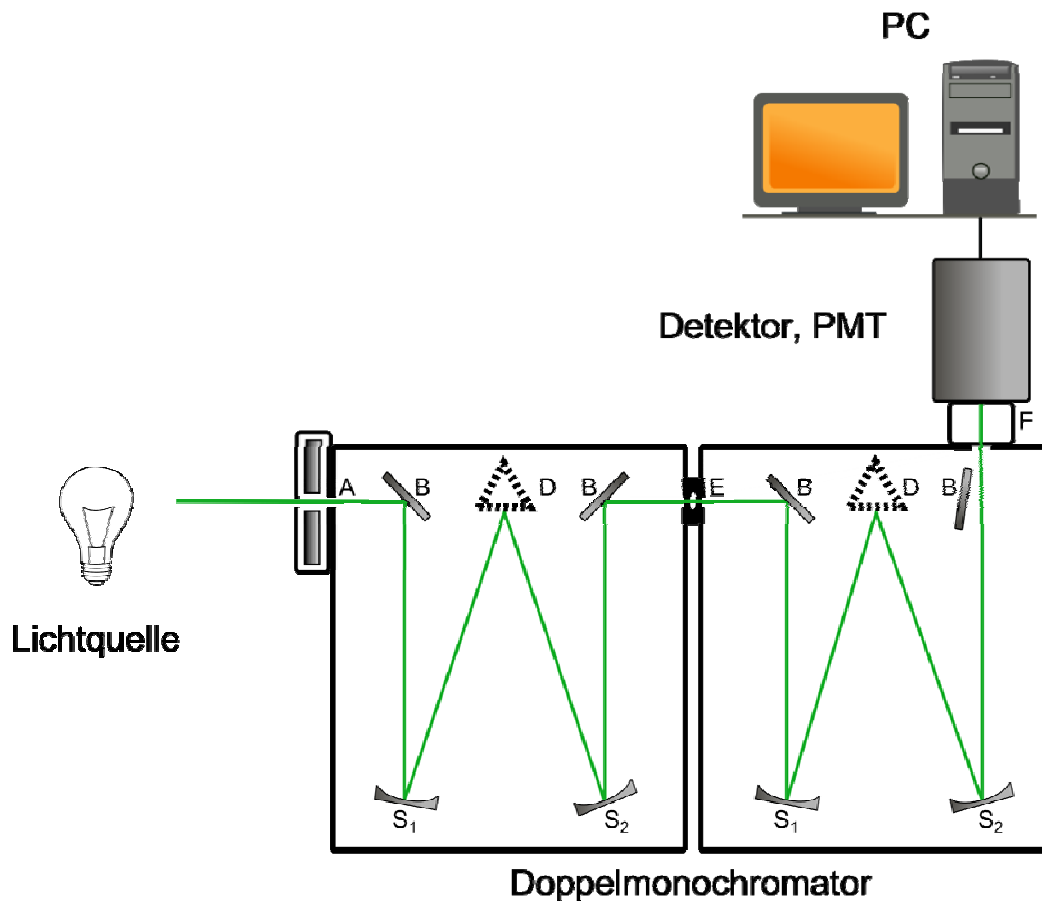


Abbildung 5: Schematischer Aufbau eines Doppelmonochromators

Dabei sind: A, E, F: Eintritts-, Mittel und Austrittsspalt
 B: Umlenkspiegel
 D: Holografische Gitter
 S₁, S₂: Hohlspiegel

Ein wesentlicher Unterschied zwischen diesen beiden Ausführungen liegt beim Doppelmonochromator in der deutlich besseren Streulichtunterdrückung von außerhalb der Messung gelegenen Wellenlängenbereichen. Zur UV-Messung von Strahlungsquellen mit hohen Anteilen im sichtbaren und IR-Bereich wird aus diesem Grunde zur Unterdrückung der Falschlichtanteile in der DIN EN 62471 die Verwendung eines Doppelmonochromators empfohlen. Eine hohe Genauigkeit ist insbesondere gefordert, wenn ein genaues Gewichten der spektralen Bestrahlungsstärke mit steilen Wirkungskurven für einen Vergleich mit Grenzwerten notwendig ist. Die Anwendung eines Einfach-Monochromators ist möglich, und zwar für Messungen von Strahlungsquellen deren Emission im Wesentlichen auf den UV-Bereich begrenzt ist oder wenn technische Ausführungen die Falschlichtanteile unterdrücken.

- Vorteile:**
- Messungen mit hoher Präzision bei konstanten Bestrahlungsstärken möglich
 - Genaue Gewichtung bei Bewertung mit Wirkungskurven.
- Nachteile:**
- Lange Messzeit
 - Nicht für Messung von Quellen mit zeitveränderlichen Bestrahlungsstärken geeignet.

6.2.2 Spektralradiometer mit Array-Detektor

Bei diesem Gerätetyp ist in einem Einfach-Monochromator ein Gitter fest positioniert und die Strahlung wird breitbandig auf ein Feld von Detektoren z. B. auf ein Photodiodenarray abgebildet. Jeder Detektor ist einer bestimmten Wellenlänge zugeordnet. Da bei dem Spektralradiometer mit Array-Detektor keine mechanische Abtastbewegung erforderlich ist, kann in sehr kurzer Zeit (Millisekunden) ein komplettes Spektrum aufgenommen werden und ist somit für die Messung von Quellen mit zeitveränderlichen Bestrahlungsstärken geeignet.

- Vorteile:**
- Bewertung von Quellen mit zeitveränderlichen Bestrahlungsstärken möglich
 - Erzeugt direkt ein Spektrum mit Informationen über die spektrale Strahlungsverteilung der Quelle
 - Kompaktes System verfügbar.
- Nachteile:**
- Eingeschränkte Messdynamik
 - Höhere Falschlichtanteile
 - Einfache Systeme können eine höhere Messunsicherheit aufweisen.

6.3 Integralverfahren

6.3.1 Radiometer zur Bewertung von Strahlungsquellen

Beim Integralverfahren wird die Strahlung mit einem Strahlungsempfängersystem gemessen, das aus einem Messkopf mit Eingangsoptik, Filter oder einer Filterkombination und einem Detektor besteht. Durch die Auswahl von geeigneten Filtern und einem Detektor mit selektiver spektraler Empfindlichkeit, wird eine Anpassung an einen definierten Spektralbereich oder an eine Bewertungsfunktion der zu messenden photobiologischen Größe erreicht. In der signalverarbeitenden Einheit wird der gemessene Wert mit der zugehörigen Korrektur berechnet und direkt angezeigt.

Für einen Vergleich mit Grenzwerten muss mit verschiedenen Filter-Empfängerkombinationen gearbeitet werden, wenn der gesamte UV-Wellenlängenbereich für Haut und Auge untersucht werden soll.

Der apparative Aufwand ist beim Integralverfahren wesentlich geringer als beim Spektralverfahren. Einige kommerzielle Messsysteme zeigen eine relativ schlechte spektrale Anpassung und sind deshalb nur für Übersichts- und Relativmessungen geeignet. Die systematischen Messabweichungen können bei bekannter Strahlungsquelle durch einen Korrekturfaktor verringert werden, der vom Hersteller für verschiedene Strahlungsquellen ermittelt worden ist.

Für Arbeitsplatzmessungen sind Messgeräte nach dem Integralverfahren besser geeignet, da die Handhabung und Auswertung einfacher ist als beim Spektralverfahren. Die nachweisbare Bestrahlungsstärke sollte unbewertet für den UV-A-Bereich $0,03 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ und $0,1 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ bewertet mit der spektralen Wirkungsfunktion für die UV-Gefährdung der Haut und Augen betragen. In Abbildung 6 ist ein Integral-Messgerät mit Detektorkopf und Anzeigeeinheit dargestellt.



Abbildung 6: Integral-Messgerät der Firma Gigahertz-Optik

- Vorteile:**
- Direkte Anzeige des Messergebnisses
 - Bewertung von Quellen mit zeitveränderlichen Strahlungsintensitäten möglich
 - Kompaktes Messgerät mit leichter Handhabung, Batteriebetrieb möglich; kostengünstig.
- Nachteile:**
- Unzureichende Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit an die Bewertungsfunktion
 - Einfache Systeme können eine höhere Messunsicherheit aufweisen.

6.3.2 Personendosimeter

Für Arbeitsbedingungen, bei denen die Einwirkung der optischen Strahlung stark schwankt, ist es vorteilhaft kompakte Integralmessgeräte zu nutzen, die als Personendosimeter zum Einsatz kommen. Hierbei wird zwischen elektronischem Dosimeter und Einmal-Polysulfonfilm oder DLR-Biofilm unterschieden (siehe Abbildung 7).

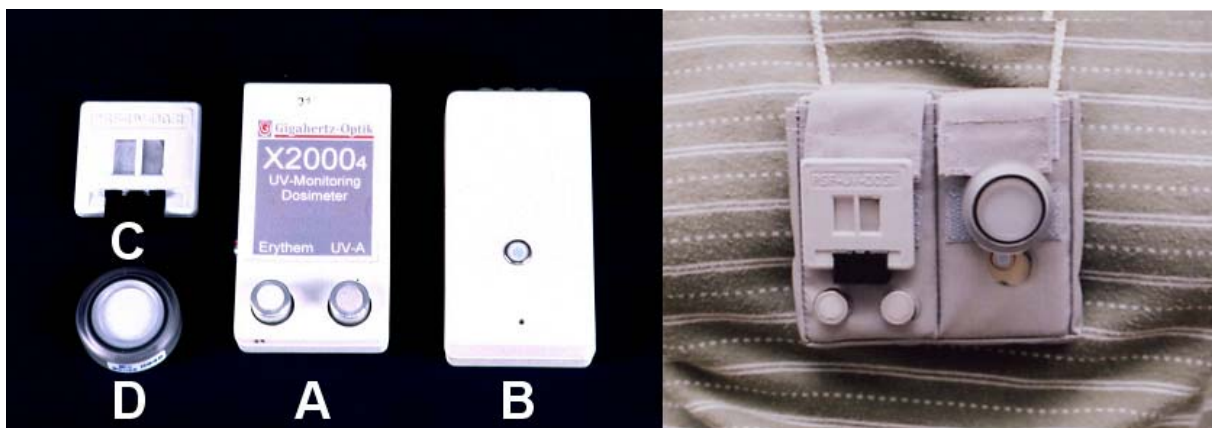


Abbildung 7: UV-Personendosimeter und 4 in 1-Dosimeter zur Interkalibrierung [29]

- (A) X-2000-Datenlogger-Dosimeter
- (B) UVDAN-Datenlogger-Dosimeter
- (C) Polysulfonfilm-Dosimeter
- (D) VioSpor-Dosimeter (Basis: Biofilm)

Elektronische Datenlogger-Dosimeter

Elektronische Dosimeter entsprechen prinzipiell den oben beschriebenen Integral-Radiometern. Ihre Sensoren können an unterschiedliche Bewertungsfunktionen angepasst sein. Typischerweise sind sie mit einer zeittakbaren Speicherfunktion ausgerüstet. Damit haben sie den Vorteil, dass zu der ermittelten Strahlungsgröße der zeitliche Bezug registriert wird.

- Vorteile:**
- Personen-/körperarealbezogene Messung
 - Registrierung des Zeitverlaufs der Messgröße
 - nach Messdatentransfer auf PC direkte Auswertung möglich
 - wieder verwendbar.

- Nachteile:**
- Unzureichende Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit an die Bewertungsfunktion
 - kostenintensiv in Relation zu Filmdosimetern.

Photochemische Filmdosimeter (Polysulfonfilm)

Photochemische Sensoren sind vorrangig Folien aus organischen Materialien – am verbreitetsten der Polysulfonfilm (PSF) –, die Änderungen optischer Eigenschaften im Material durch Einwirkung von UV-Strahlung nutzen. Für den Polysulfonfilm entspricht die spektrale Abhängigkeit der Änderung der optischen Dichte nicht direkt dem Aktionsspektrum von Photoeffekten wie UV-Erythem oder ICNIRP-Bewertungskurve [30]. Durch eine spezifische Kalibrierung kann eine Anpassung an das Aktionsspektrum des zu untersuchenden photobiologischen Effektes erreicht werden.

- Vorteile:**
- Personen-/körperarealbezogene Messung
 - problemloses Tragen, leicht, klein
 - kostengünstig.

- Nachteile:**
- Unzureichende Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit an die Bewertungsfunktion (über Kalibrierfaktoren erhebliche Verbesserung)
 - Messdatenauslesung in angepasstem Spektrophotometer
 - im langwelligen UV-A-Bereich nicht sensibel
 - nicht wieder verwendbar.

Biologische Filmdosimeter (DLR-Biofilm)

Das strahlungsempfindliche Material besteht vornehmlich aus einfachen biologischen Lebensformen (Bakteriensporen, Phagen, Zellen) oder Stoffwechselkomponenten (Pro-Vitamin D). Bei dem DLR-Biofilm handelt es sich um immobilisierte Sporen des Bakteriums *B. subtilis*, deren Anzahl unter UV-Exposition durch zerstörte DNA dosisabhängig reduziert wird. Bestimmt wird als Dosismaß die Überlebensrate der Bakterien aus messbaren Stoffwechselprodukten [31].

- Vorteile:**
- Personen-/körperarealbezogene Messung
 - problemlose Tragen, leicht, klein

- wasserdichte und staubdichte Ausführung verfügbar.
- Nachteile:** ■ Unzureichende Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit an die Bewertungsfunktion (über Kalibrierfaktoren erhebliche Verbesserung)
- Messdatenauslesung nach Laborpräparation der Bakterienfilme und Ausmessung in angepasstem Spektrophotometer
- nicht wiederverwendbar.

7 Schutzmaßnahmen für Arbeitsplätze

Ergibt die Gefährdungsermittlung und -bewertung eine Gefährdung, so müssen geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen werden [32]. 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 Art der Tätigkeit, Dauer der Arbeit und Häufigkeit ermittelt.

Die allgemeinen Regeln der Sicherheitstechnik lauten für UV-Strahlenquellen wie folgt:

Die Strahlenquelle muss, soweit technisch durchführbar, so abgeschirmt sein, dass keine gesundheitsgefährdende Strahlung nach außen treten kann. Verkleidungen und Verdeckungen, die häufig abgenommen oder geöffnet werden, müssen so mit der Strahlenquelle verriegelt sein, dass beim Öffnen oder Entfernen die Strahlenquelle zwangsläufig abgeschaltet wird. Verkleidungen und Verdeckungen, die nicht häufig oder nur für Instandhaltungsarbeiten abgenommen oder geöffnet werden, müssen nicht verriegelt, aber so befestigt sein, dass sie nur mit Werkzeugen gelöst werden können.

In den üblichen Fällen gilt eine UV-Abschirmung als genügend, wenn dadurch auch sichtbare Strahlung nicht austritt oder austreten könnte. Bleche aller Sorten und Herstellungsdicken, Holzplatten, undurchsichtige Kunststoffplatten außer Teflon, eignen sich als Abschirmung für UV-Strahlen. Gewöhnliches Glas und Acrylglas kann sich ebenfalls als Abschirmung eignen, da ihr spektraler Transmissionsgrad im UV-Bereich stark abnimmt. Die Abschirmungseigenschaften sind durch Messung oder anhand der Spezifikationen zu prüfen [33].

Können technische Schutzmaßnahmen nicht angewandt werden, sind organisatorische Schutzmaßnahmen zu treffen.

Organisatorische Schutzmaßnahmen können z. B. sein:

- die Expositionsdauer gegenüber ultravioletter Strahlung beschränken
- Gefahrenbereiche kennzeichnen und den Zugang beschränken
- spezielle Unterweisung von Personen, die sich im Gefahrenbereich aufhalten können.

Wenn technische und organisatorische Maßnahmen nicht durchführbar sind, wie z. B. beim Schweißen oder an Arbeitsplätzen im therapeutischen Bereich, so müssen geeignete persönliche Schutzausrüstungen verwendet werden. Im Vordergrund stehen Schutzschild, Schutzvorhang, Schutzbrille, Schutzanzug, eventuell auch Hautschutzcreme. Vielfach ist Schutz vor UV-Strahlung nur eine von vielen Anforderungen an die Schutzausrüstung.

Wo permanent mit Lichtbogen geschweißt wird, sollen zum Schutz anderer Personen in der Umgebung UV-absorbierende, unbrennbare Schweißvorhänge montiert werden. Auf praktisch allen glatten Oberflächen kann UV-Strahlung reflektiert und so in unerwünschte Bereiche gelangen. Zur Eindämmung dieser Reflexionen können solche Flächen aufgeraut, oder mit matter Lackfarbe oder Zinkoxidfarbe gestrichen werden.

Eine gesundheitsschädigende Konzentration von Ozon ist zu vermeiden. Das Ozon soll möglichst an der Entstehungsstelle abgesaugt und übers Dach an die Umgebungsluft abgegeben werden. Dabei müssen bestehende Emissions- oder Immissionsbegrenzungen eingehalten werden.

Zum Erreichen des persönlichen Schutzes des Beschäftigten muss ein Filter in ein geeignetes Augenschutzgerät eingebaut werden. Arten von Augenschutzgeräten sind in der DIN EN 166 beschrieben [34].

Zum Schutz gegen UV-Strahlung sollten Filter aus Tabelle 8 ausgewählt werden. Diese Filter können einen gelblichen Farbton haben, der die Farbwahrnehmung verändern kann.

Bei Verfahren, bei denen die Farberkennung wichtig ist, wird die Verwendung von UV-Filtern mit verbesserter Farberkennung empfohlen.

Schutzfilter nach dieser Norm sind nicht für das direkte Blicken in helle Lichtquellen wie Xenon-Hochdruckbogenlampen oder Lichtbögen geeignet. Für diese Zwecke sollte ein Schweißerschutzfilter nach der DIN EN 169 angewendet werden.

Die in Tabelle 8 (typische Anwendungen) angegebenen Richtlinien gelten nicht für Personen mit Photophobie oder die sich in einer medizinischen Behandlung befinden, die die Empfindlichkeit der Augen für optische Strahlung erhöhen kann.

Tabelle 8: Bezeichnung, Eigenschaften und typische Anwendungen von Augenschutzfiltern für den UV-Bereich

Schutzstufe	Farberkennung	Typische Verwendungen	Typische Strahlungsquellen
2 – 1,2 2 – 1,4 2 – 1,7	Kann verschlechtert sein, falls keine Kennzeichnung 2C-Schutzstufe	Zur Verwendung bei Strahlungsquellen, die überwiegend Ultraviolettstrahlung mit Wellenlängen kürzer als 313 nm emittieren und wenn Blendung kein wesentlicher Faktor ist. Dies deckt den gesamten UV-C- und den größten Teil des UV-B Bereiches ab ^a	Niederdruck-Quecksilberdampflampen wie Lampen zur Anregung von Fluoreszenz oder „schwarze Lampen“, aktinische Lampen und Lampen zur Entkeimung
2-2 2-2,5	Kann verschlechtert sein, falls keine Kennzeichnung 2C-Schutzstufe	Zur Verwendung bei Strahlungsquellen, die eine hohe Strahlung im UV-Bereich und im sichtbaren Spektralbereich emittieren und wo deshalb eine Schwächung der sichtbaren Strahlung erforderlich ist.	Mitteldruck-Quecksilberdampflampen wie Lampen für photochemische Prozesse
2 – 3 2 – 4			Hochdruck-Quecksilberdampflampen und Halogen-Metaldampflampen, wie Sonnenlampen für Solarien
2 - 5			gepulste Lampensysteme, Hochdruck- und Höchstdruck-Quecksilberdampflampen wie Sonnenlampen für Solarien
^a Diese Wellenlängenbereiche entsprechen der Empfehlung der CIE (d. h. UV-B: 280 nm bis 315 nm, UV-C: 100 nm bis 280 nm).			

7.1 Beispiele für Risikobewertungen

7.1.1 Erhitzen von Quarzglas

Beim Erhitzen von Quarzglas wird eine Glasformung vorgenommen. Hierbei entsteht UV-Strahlung, blendende sichtbare Strahlung und Infrarotstrahlung. Der Anteil an UV-Strahlung wird im Gegensatz zur blendenden sichtbaren Strahlung unterschätzt. Eine genaue Analyse der Strahlung ergibt, nach welcher Zeit in welchem Abstand die Grenzwerte überschritten werden. Zum Beispiel werden an einem typischen Arbeitsplatz die UV-Grenzwerte bis zum Unterarm nach 10 bis 30 Minuten pro Tag überschritten. Die Grenzwerte für die Augen werden im UV-, im sichtbaren und im infraroten Wellenlängenbereich derart überschritten, dass Schweißerschutzbrillen mit Faktor 2 getragen werden müssen. Ferner müssten die Hände bis zum Unterarm, je nach Leistung des Brenners, durch geeignete Schutzhandschuhe geschützt werden.

7.1.2 Schweißen

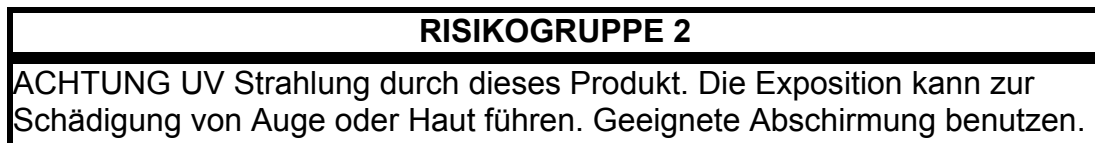
Beim Schweißen werden je nach Leistung und Schweißart die Grenzwerte im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich bereits nach 2 Sekunden bis 3 Minuten überschritten. Deshalb sind Schutzmaßnahmen zum Schutz vor optischer Strahlung beim Schweißen zwingend notwendig.

Als Schutzmaßnahmen sind hierbei zu berücksichtigen:

- Abschirmung mit Schweißerschutzglas
- PSA (Schweißerschutz-Brille, Schweiß-Helm, Schutzhandschuhe, z. B. Lederhandschuhe (Schutz)), richtige Schutzkleidung
- Absaugung (Ozonbildung und andere Gefahrstoffe)
- Unterweisung
- Gegebenenfalls arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung (§ 11 Arbeitsschutzgesetz) – Kennzeichnung, z. B. Warnung: „Vorsicht gefährliche optische Strahlung“ und Gebotszeichen: „Augenschutz tragen“.

7.1.3 Interpretation von Herstellerangaben

Nach einer Klassifizierung gemäß der DIN EN 62471 befindet sich auf einer optischen Strahlungsquelle mit divergenter UV-Emission folgendes Warnschild (gemäß Vorgabe in Beiblatt 1 zu DIN EN 62471):



Es werden keine Unterschiede zwischen den beiden UV-Gefährdungen gemacht. Wenn keine weiteren Angaben vorliegen bedeutet dies:

- Entweder liegt eine Gefährdung durch (aktinisches) UV-B oder durch UV-A vor.
- UV-B: der Risikogruppe 2 (RG2)-Grenzwert in effektiver Bestrahlungsstärke von $0,003 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ wird in 200 mm Abstand eingehalten
- UV-A: der RG2-Grenzwert in ungewichteter Bestrahlungsstärke von $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ wird in 200 mm Abstand eingehalten.

Erfolgt die Exposition aus diesem Abstand, darf deren Dauer/Tag maximal 1000 s (UV-B) bzw. 100 s (UV-A) betragen (entsprechend den jeweiligen Zeitbasen von RG2).

Ist die Quellengröße kleiner als ca. 20 mm (Wendel, Lichtbogen), kann die Exposition in anderen Abständen näherungsweise über das „quadratische Abstandsgesetz“ ($E_1 \cdot d_1^2 = E_2 \cdot d_2^2$) berechnet werden.

Unter diesen Voraussetzungen werden z. B. im Abstand von 1,1 m (bzgl. UV-B) bzw. 0,6 m (bzgl. UV-A) schon die Konditionen für die Freie (exempt)-Gruppe RG0 – d. h. für Dauerexposition über den gesamten Arbeitstag erreicht. Legt man RG1-Bedingungen als ausreichend zugrunde, liegen die entsprechenden Sicherheitsabstände bei 0,6 m (bzgl. UV-B) bzw. 0,35 m (bzgl. UV-A).

Da bei diesem Beispiel von der maximal in RG2 erlaubten Bestrahlungsstärke für die restriktivste UV-Wirkung ausgegangen wurde, kann man wohl allgemein sagen, dass der Gefährdungsbereich durch diese RG2-Quelle unter normalen Umständen bei max. 0,5 m liegt. Eine generelle Darstellung zur Analyse der Expositionsverhältnisse, basierend auf der restriktivsten Exposition durch UV-B, zeigt Abbildung 7. Sobald im realen Anwendungsfall die Kombination aus minimaler Quellenentfernung und maximaler Expositionsdauer unterhalb der roten Linie liegt, werden die UV-Grenzwerte eingehalten.

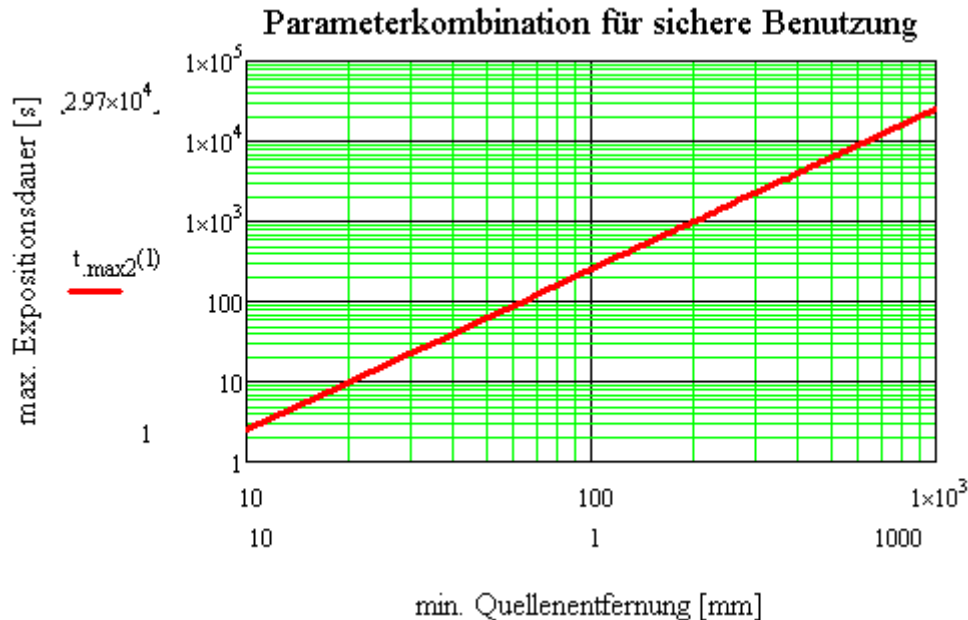


Abbildung 7: Parameterkombination für sichere Benutzung (Maximale Expositionsdauer in Abhängigkeit von der minimalen Quellenentfernung)

7.2 Kennzeichnung von Arbeitsplätzen mit gefährlicher optischer Strahlung

Können die Expositionsgrenzwerte wie z. B. an einem Schweißere Arbeitsplatz überschritten werden, so müssen in der Regel die Arbeitsplätze deutlich erkennbar und dauerhaft abgegrenzt und ggf. z. B. mit dem Warnzeichen „Warnung vor gefährlicher optischer Strahlung“ gekennzeichnet werden.

Zusätzliche Hinweise sollten am Zugang zu diesen Arbeitsplätzen gegeben werden, so kann das Warnzeichen durch einen Zusatz ergänzt werden, z. B. „Vorsicht gefährliche ultraviolette Strahlung“ (Abbildung 8)



Abbildung 8: Warn- und Hinweiszeichen für gefährliche ultraviolette Strahlung

8 Literatur

- [1] Lehmann, B., Meurer, M. (2010): Vitamin D metabolism. *Dermatol Ther.* 23(1):2-12
- [2] IARC. Vitamin D and Cancer. IARC Working Group Reports, Chapter 21. Vol. 5 (2008), Lyon, International Agency for Research on Cancer, ISBN 978 92 832 2446 4
- [3] DGE 2012. Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr - Vitamin D. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE), Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE), Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung (SGE), Schweizerische Vereinigung für Ernährung (SVE) (Hrsg.): Neuer Umschau Buchverlag, Neustadt a. d. Weinstraße, 1. Auflage, 4. korrigierter Nachdruck (2012), ISBN: 978-3-86528-128-9
- [4] Schutz des Menschen vor den Gefahren der UV-Strahlung in Solarien, Wissenschaftliche Begründung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet auf der 172. Sitzung der SSK am 08.06.2001
<http://www.ssk.de/de/werke/2001/kurzinfo/ssk0102.htm?thema> (Abrufdatum: 23.08.2012)
- [5] Knuschke, P., Lehmann, B., Püschel, A., Rönsch, H.: UV-abhängige Vitamin-D-Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D3-Bedarfs im menschlichen Körper. (2012) urn:nbn:de:0221-201210029658,
<http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-201210029658> (Abrufdatum: 23.08.2012)
- [6] Knuschke, P.: „Baseline-Reference of individual solar UV-Exposures“ to assess the additional rise caused by sunbed use. 5th International Conference of the European Society of Skin Cancer Prevention EUROSKIN, Hamburg, 14.-17.10.2007, Abstract
- [7] DIN 5031-10:2000-03: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren (in Überarbeitung)
- [8] Knuschke, P., Lehmann, B., Püschel, A., Rönsch, H.: UV-abhängige Vitamin-D-Synthese - Bilanzierung der Expositionszeit durch UV zur Produktion des optimalen Vitamin-D3-Bedarfs im menschlichen Körper. (2012) urn:nbn:de:0221-201210029658, unter <http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-201210029658>
- [9] Licht und Schatten- Schutz vor Sonnenstrahlung für Beschäftigte im Freien, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, ISBN 978-388261-570-8
http://www.baua.de/de/Publikationen/Broschueren/A53.pdf;jsessionid=DC90A0A909DB1FA65357B3DE05E2D641.1_cid246?_blob=publicationFile&v=8 (Abrufdatum: 23.08.2012)
- [10] Hochrechnung zur Häufigkeit von Hautkrebs in Deutschland 2009 (auf Basis des Krebsregisters Schleswig Holstein, 30.01.2012), Institut für Krebsepidemiologie e.V.
http://www.cancer-sh.de/aktuelles/PK_Hautkrebs_2012.pdf (Abrufdatum: 23.08.2012)

- [11] Die blauen Ratgeber 5 Hautkrebs, Deutsche Krebshilfe, ISSN 0946-4816 Stand 10/2011
http://www.krebshilfe.de/fileadmin/Inhalte/Downloads/PDFs/Blaue_Ratgeber/005_haut.pdf (Abrufdatum: 23.08.2012)
- [12] Gesetz zur Regelung des Schutzes vor nichtionisierender Strahlung, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2009, Teil I, Nr. 49, S. 2433, 3. August 2009
- [13] A review of human carcinogens, Part D: radiation, Special Report: Policy, Vol 10, August 2009
- [14] Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung (UV-Schutz-Verordnung - UVSV), V. v. 20.07.2011 BGBl. I S. 1412
- [15] DIN EN 60335-2-27; VDE 0700-27:2009-04: „Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Teil 2-27: Besondere Anforderungen für Hautbehandlungsgeräte mit Ultraviolett- und Infrarotstrahlung (IEC 60335-2-27:2002 + A1:2004, modifiziert + A2:2007, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60335-2-27:2003 + A1:2008 + A2:2008“
- [16] RICHTLINIE 2006/25/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)
- [17] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV) vom 19. Juli 2010, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2010 Teil I Nr. 38, ausgegeben zu Bonn am 26. Juli 2010
- [18] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG) vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 15 Absatz 89 des Gesetzes vom 5. Februar 2009 (BGBl. I S. 160) geändert worden ist
- [19] Reidenbach, H.-D., Brose, M., Ott, G., Siekmann, H., 2012: Praxis-Handbuch optische Strahlung, Erich Schmidt Verlag, ISBN: 978-3-503-13822-7, Berlin
- [20] 221. Verordnung: Verordnung optische Strahlung – VOPST und Änderung der Verordnung über die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz und der Verordnung über Beschäftigungsverbote und –beschränkungen für Jugendliche [CELEX-Nr.: 32006L0025], Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich. Jahrgang 2010, Ausgegeben am 8. Juli 2010, Teil II
- [21] Grenzwerte am Arbeitsplatz, Suva, Publikation 1903.d; www.suva.ch/waswo
- [22] Ein unverbindlicher Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung, 05.03.2010, Health Protection Agency im Auftrag der EU-Kommission
<http://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=148&langId=de&pubId=5926&type=2&furtherPubs=yes> (Abrufdatum: 24.08.2012)
- [23] DIN EN 62471; VDE 0837-471:2009-03: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471:2006, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62471:2008

- [24] DIN EN 60825-1; VDE 0837-1:2008-05:2008-05 Sicherheit von Lasereinrichtungen - Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen (IEC 60825-1:2007); Deutsche Fassung EN 60825-1:2007
- [25] DIN EN 12198-1: Sicherheit von Maschinen - Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung - Teil 1: Allgemeine Leitsätze; Deutsche Fassung EN 12198-1:2000+A1:2008, Ausgabedatum: 2008-11
- [26] E DIN EN 16237:2011-02: Klassifizierung nicht elektrisch betriebener Quellen inkohärenter optischer Strahlung; Entwurf
- [27] DIN EN 14255-1: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung - Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung; Deutsche Fassung EN 14255-1:2005 Ausgabedatum: 2005-06
- [28] BGI 5006 „Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung, Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Fachausschuss „Elektrotechnik“ der DGUV, Oktober 2004
- [29] Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien Knuschke, P., Unverricht, I., Ott, G., Janßen, M., Projekt 1777, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, ISBN 978-3-88261-060-4, Dortmund/Berlin/Dresden 2007
http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbeitraege/F1777.pdf;jsessionid=1AEA1F578B9EAF93BBEF04870CD8A531.1_cid246?_blob=publicationFile&v=7
(Abrufdatum: 31.08.2012)
- [30] Knuschke, P., Krins, A. (2000): UV-Personendosimetrie mit Verwendung des Polysulfonfilms als UV-Sensor. Hannover: Universitätsbibliothek und Technische Informationsbibliothek 2000. (F00B1544). Schlussbericht BMBF-Vorhaben
- [31] Quintern, L. E., Horneck, G., Eschweiler, U., Bücken, H. (1992): A biofilm used as a ultraviolet dosimeter. Photochem. Photobiol. 55, 389-395
- [32] Sutter, E. 2008: Schutz vor optischer Strahlung, VDE Verlag, ISBN: 978-3-8007-3072-8, Berlin
- [33] Schreiber, P., Ott, G. 1984: Schutz vor ultravioletter Strahlung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund
- [34] DIN EN 166:2002-04: Persönlicher Augenschutz - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 166:2001
- [35] Augenärzte informieren: Staroperation und Intraokularlinse, Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V. (BVA), 2009
<http://www.augeninfo.de/patinfo/catop.pdf> (Abrufdatum: 23.08.2012)

Weitere Norm:

DIN 5031-1 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Grössen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik

9 Adressen

Beratung und Messungen bei Sicherheitsbetrachtungen im Zusammenhang mit UV-Strahlung können z. B. durch die folgenden Stellen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) durchgeführt werden:

BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz- und Arbeitsschutzmedizin), Dortmund (Friedrich-Henkel Weg 1-25, 44149 Dortmund). Internet: www.baua.de

Bundesamt für Strahlenschutz, Williy-Brandt-Straße 5, 38226 Salzgitter, Internet: www.bfs.de

Niederländischer Gezondheidsraad, Parnassusplein 25 PB 16052 2511 VX S-Gravenhage

Oesterreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Donau-City-Straße 1 | 1220 Vienna | Austria.
Internet: www.arcs.ac.at

Schweizerische Unfallversicherungsanstalt SUVA, Bereich Physik, (Postfach 4358, CH-6002 Luzern).
Internet: www.suva.ch

BG ETEM, Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Gustav-Heinemann-Ufer 130, 50968 Köln
Internet: www.bgetem.de

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin
Internet: www.dguv.de/ifa

Anhang

Der ultraviolette Bereich des elektromagnetischen Strahlungsspektrums umfasst den Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm. Das obere Ende des Bereichs wird in verschiedenen Publikationen, Normen und bei Wirkungskurven zwischen 380 nm und 400 nm unterschiedlich angegeben.

Folgende Expositionsgrenzwerte (Tabelle 9) entsprechen den Expositionsgrenzwerten des Anhangs I der EU-Richtlinie 2006/25 EU. Die Formel a) dient dazu die effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} für den Wellenlängenbereich 100 nm bis 400 nm zu berechnen und die Formel b) bestimmt die absolute Bestrahlungsstärke E_{UVA} für den Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm.

$$a) \quad E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$b) \quad E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda=315\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

Tabelle 9: Expositionsgrenzwerte für den UV-Bereich

Kennbuchstabe	Wellenlänge in nm	Expositionsgrenzwert	Einheit	Körperteil	Gefährdung
a)	180-400 (UV-A, UV-B und UV-C)	$H_{\text{eff}} = 30$ Tageswert 8 Stunden	Jm^{-2}	Auge: Hornhaut Bindehaut Linse Haut	Photokeratitis Konjunktivitis Kataraktogenese Erythem Elastose Hautkrebs
b)	315-400 (UV-A)	$H_{\text{UVA}} = 10^4$ Tageswert 8 Stunden	Jm^{-2}	Auge: Linse	Kataraktogenese

Tabelle 10: Relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ für Einwirkungen auf die Augen und Haut im Wellenlängenbereich zwischen 180 nm und 400 nm

λ in nm	$S(\lambda)$	λ in nm	$S(\lambda)$	λ in nm	$S(\lambda)$	λ in nm	$S(\lambda)$	λ in nm	$S(\lambda)$
180	0,0120	228	0,1740	276	0,9440	324	0,000520	372	0,0000866
181	0,0127	229	0,1820	277	0,9280	325	0,000500	373	0,0000834
182	0,0134	230	0,1900	278	0,9120	326	0,000480	374	0,0000802
183	0,0141	231	0,2000	279	0,8960	327	0,000460	375	0,0000770
184	0,0148	232	0,2100	280	0,8800	328	0,000440	376	0,0000744
185	0,0155	233	0,2200	281	0,8580	329	0,000425	377	0,0000718
186	0,0162	234	0,2300	282	0,8360	330	0,000410	378	0,0000692
187	0,0169	235	0,2400	283	0,8140	331	0,000397	379	0,0000666
188	0,0176	236	0,2520	284	0,7920	332	0,000383	380	0,0000640
189	0,0183	237	0,2640	285	0,7700	333	0,000370	381	0,0000618
190	0,0190	238	0,2760	286	0,7440	334	0,000355	382	0,0000596
191	0,0201	239	0,2880	287	0,7180	335	0,000340	383	0,0000574
192	0,0212	240	0,3000	288	0,6920	336	0,000328	384	0,0000552
193	0,0223	241	0,3120	289	0,6660	337	0,000316	385	0,0000530
194	0,0234	242	0,3240	290	0,6400	338	0,000304	386	0,0000512
195	0,0245	243	0,3360	291	0,6200	339	0,000292	387	0,0000494
196	0,0256	244	0,3480	292	0,6000	340	0,000280	388	0,0000476
197	0,0267	245	0,3600	293	0,5800	341	0,000272	389	0,0000458
198	0,0278	246	0,3740	294	0,5600	342	0,000264	390	0,0000440
199	0,0289	247	0,3880	295	0,5400	343	0,000256	391	0,0000424
200	0,0300	248	0,4020	296	0,5000	344	0,000248	392	0,0000408
201	0,0342	249	0,4160	297	0,4600	345	0,000240	393	0,0000392
202	0,0384	250	0,4300	298	0,4067	346	0,000232	394	0,0000376
203	0,0426	251	0,4475	299	0,3533	347	0,000224	395	0,0000360
204	0,0468	252	0,4650	300	0,3000	348	0,000216	396	0,0000348
205	0,0510	253	0,4825	301	0,2400	349	0,000208	397	0,0000336
206	0,0558	254	0,5000	302	0,1800	350	0,000200	398	0,0000324
207	0,0606	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000192	399	0,0000312
208	0,0654	256	0,5460	304	0,0900	352	0,000184	400	0,0000300
209	0,0702	257	0,5720	305	0,0600	353	0,000176		
210	0,0750	258	0,5980	306	0,0487	354	0,000168		
211	0,0790	259	0,6240	307	0,0373	355	0,000160		
212	0,0830	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000154		
213	0,0870	261	0,6820	309	0,0205	357	0,000148		
214	0,0910	262	0,7140	310	0,0150	358	0,000142		
215	0,0950	263	0,7460	311	0,0120	359	0,000136		
216	0,1000	264	0,7780	312	0,0090	360	0,000130		
217	0,1050	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1100	266	0,8480	314	0,0045	362	0,000122		
219	0,1150	267	0,8860	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9240	316	0,002	364	0,000114		
221	0,1260	269	0,9620	317	0,0015	365	0,000110		
222	0,1320	270	1,0000	318	0,001	366	0,000107		
223	0,1380	271	0,9920	319	0,00120	367	0,000103		
224	0,1440	272	0,9840	320	0,00100	368	0,000100		
225	0,1500	273	0,9760	321	0,000835	369	0,000096		
226	0,1580	274	0,9680	322	0,000670	370	0,0000930		
227	0,1660	275	0,9600	323	0,000540	371	0,0000898		

Erläuterungen zur Tabelle 10:

Für UV-Strahlung, deren Wellenlänge nicht in Tabelle 10 angegeben ist, kann der Wert der relativen spektralen Wirksamkeit durch Interpolation (aus den Werten für die nächst kleinere und für die nächst größere Wellenlänge) berechnet werden.

Im folgenden Diagramm (Abbildung 9) ist die Funktion $S(\lambda)$ grafisch dargestellt:

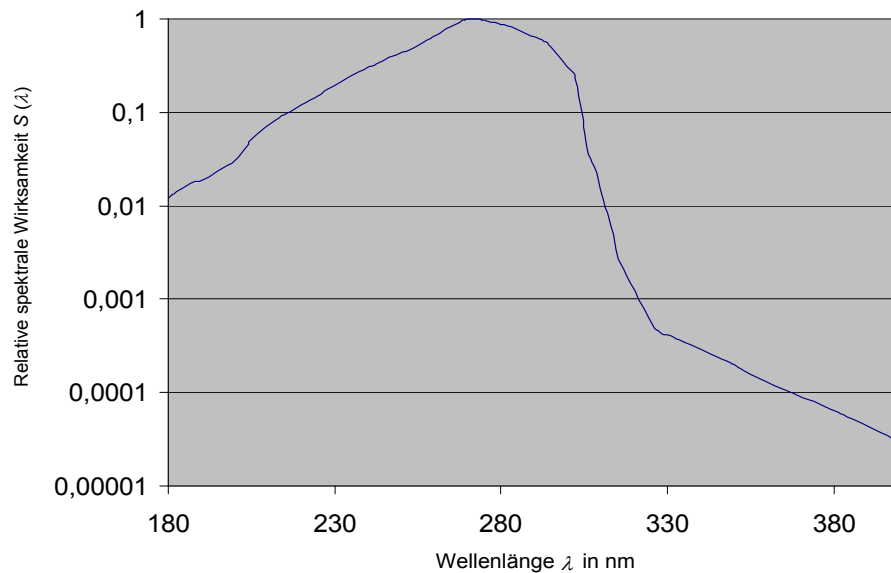


Abbildung 9: Grafische Darstellung der relativen spektralen Wirksamkeit $S(\lambda)$ für Einwirkungen auf die Augen und Haut im Wellenlängenbereich zwischen 180 nm und 400 nm

Tagesexpositionsgrenzwert der Bestrahlung $H_{(GW)}$ im Bereich 315 nm bis 400 nm

Die Bestrahlung H ist im Bereich von $\lambda_1 = 315$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm zu ermitteln. Der Tagesexpositionsgrenzwert für die Bestrahlung $H_{(GW)}$ durch UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm beträgt:

$$H_{(GW)} = 10000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tagesexpositionsgrenzwerte für Einwirkungen auf die Haut (180 nm bis 400 nm)

1. Der Tagesexpositionsgrenzwert für Hauteinwirkungen gilt für Einwirkungen durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz
2. für einmalige oder wiederholte UV-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Dauert die tägliche Arbeitszeit länger als 8 h, dann ist dafür die Gesamt-Dosis zu bestimmen, und es dürfen pro Arbeitstag dennoch die festgelegten 8 h Tagesexpositionsgrenzwerte nicht überschritten werden.

3. zum Schutz vor akuten Schädigungen der Haut (z. B. UV-Erythem).

Die effektive Bestrahlung H_{eff} für den Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 180$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm ist zu ermitteln. Hierbei sind die Werte für die relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ der Tabelle 10 zu entnehmen. Der Tagesexpositionsgrenzwert für die effektive Bestrahlung $H_{\text{eff(GW)}}$ durch Strahleneinwirkung auf die Haut im Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm beträgt.

$$H_{\text{eff(GW)}} = 30 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

Expositionsgrenzwerte für den Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 180 nm

Soll außer der Strahlung im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm auch Strahlung von 100 nm bis 180 nm bewertet werden, so ist die Berechnung von H_{eff} nach Gleichung a) über den Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 100$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm durchzuführen. Zwischen 100 nm und 180 nm kann für $S(\lambda)$ der Wert für 180 nm konstant über alle Wellenlängen verwendet werden.

Anmerkung:

Strahlung unterhalb von 180 nm wird in der Luft sehr stark absorbiert und kommt nur an wenigen Arbeitsplätzen vor. Bewertungen von Strahlungsexpositionen unterhalb von 180 nm sind daher nur sehr selten notwendig. Über die Bewertungsfunktion $S(\lambda)$ liegen unterhalb von 180 nm noch keine gesicherten Erkenntnisse vor.