

Fachverband für Strahlenschutz e.V.

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



Leitfaden „Sichtbare und infrarote Strahlung“

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 „Sichtbare und infrarote Strahlung“ soll allen Interessierten die notwendigen Informationen an die Hand geben, um mit sichtbarer und infraroter Strahlung richtig umgehen zu können.

Der Leitfaden „Sichtbare und infrarote Strahlung“ 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
- Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen
- Laserstrahlung
- Lichteinwirkungen auf die Nachbarschaft
- Elektromagnetische Felder
- Infraschall
- Ultraschall

Verfasser: Martin Brose
Hauke Brüggemeyer
Max Graf
Werner Horak
Hermann Jossen
Günter Ott
Hans-Dieter Reidenbach
Harald Siekmann
Manfred Steinmetz
Ernst Sutter
Daniela Weiskopf

Stand:15.12.2011

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, Telefax: +49 221 - 885256
E-Mail: hans.reidenbach@fh-koeln.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	5
2	Physikalische Grundlagen	5
2.1	Strahlungsgrößen.....	6
2.2	Strahlungsgesetze.....	8
2.3	Biologische Bewertungsgrößen.....	9
3	Strahlungsquellen.....	13
4	Biologische Wirkungen beim Menschen.....	14
4.1	Sichtbare Strahlung (Licht).....	14
4.1.1	Wirkung sichtbarer Strahlung auf die Haut	15
4.1.2	Wirkung sichtbarer Strahlung auf das Auge.....	15
4.2	Infrarotstrahlung	19
4.2.1	IR-Bestrahlung der Haut	19
4.2.2	IR-Einstrahlung auf das Auge	21
4.3	Indirekte Wirkungen.....	23
5	Grenzwerte	24
5.1	Expositionsgrenzwert	24
5.1.1	Expositionsgrenzwerte für das Auge.....	24
5.1.2	Expositionsgrenzwerte für die Haut	29
5.2	Empfehlungen bei fehlenden Grenzwerten	29
5.3	Emissionsgrenzwerte	30
5.4	Grenzwerte in der Schweiz.....	35
6	Messung von sichtbarer und infraroter Strahlung	35
7	Schutzmaßnahmen	37
7.1	Schutz vor sichtbarer Strahlung	37
7.2	Schutz vor infraroter Strahlung.....	40
8	Literatur	42
9	Adressen	44

1 Einleitung

Sowohl sichtbare (VIS: visible) als auch infrarote (IR-) Strahlung können an Arbeitsplätzen und in der Freizeit auf vielfältige Weise auf den Menschen einwirken. Diese Strahlenarten gehören zur vorhandenen Umgebung (Umwelt) des Menschen und werden durch natürliche (Sonne) und künstliche optische Strahlungsquellen emittiert. Durch Infrarotstrahlung und sichtbare Strahlung ist der Mensch ständig exponiert. Höhe, Dauer und Art der Exposition entscheiden darüber, ob durch die Einwirkung positive (zum Teil lebensnotwendige) Effekte hervorgerufen oder Schädigungen verursacht werden. Die Lage der Schädigungsschwellen und die Umstände, die zu Schädigungen führen können, sind daher von besonderem Interesse. Ebenso wichtig ist auch die Kenntnis der Wellenlängen, bei denen unterschiedliche biologische Wirkungen auftreten können. Die Laserstrahlung und die Sonnenstrahlung werden in diesem Leitfaden nicht behandelt; hierzu gibt es jeweils einen speziellen Leitfaden. Für den Wellenlängenbereich bis 400 nm ist zusätzlich der Leitfaden UV-Strahlung anzuwenden; der Wellenlängenbereich von 380 nm bis 400 nm ist sowohl der UV-Strahlung als auch der sichtbaren Strahlung zugeordnet.

2 Physikalische Grundlagen

Sichtbare und infrarote Strahlung sind Teile des elektromagnetischen Spektrums (Bild 1).

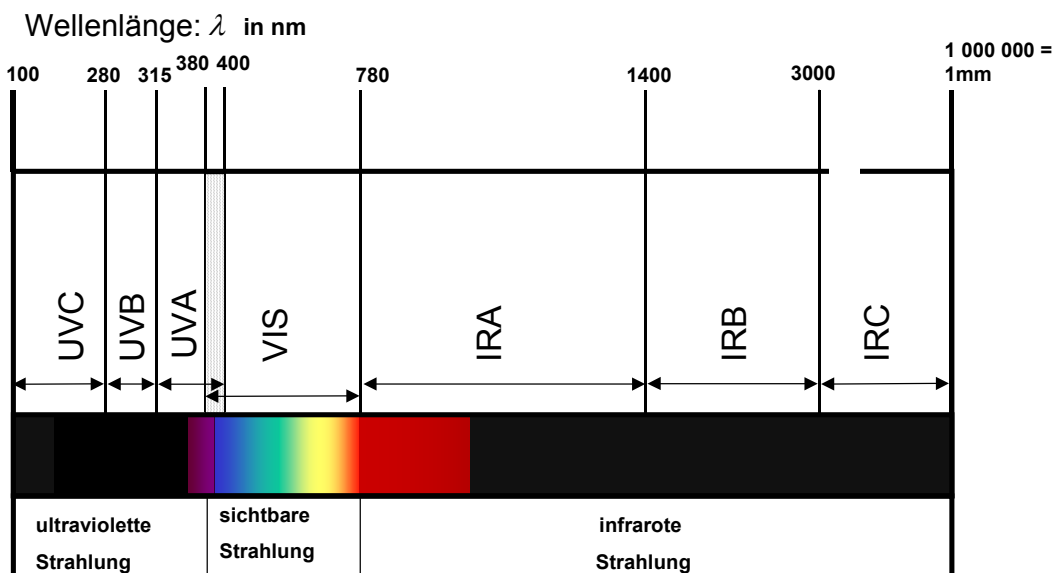


Bild 1: Ausschnitt aus dem elektromagnetischen Spektrum (in logarithmischer Darstellung): Bezeichnung der Spektralgebiete in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ und der Frequenz f .

Der für den Menschen sichtbare Teil des elektromagnetischen Spektrums (Licht) ist der Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm (DIN 5031-7).

Der Bereich elektromagnetischer Strahlung mit Wellenlängen von 780 nm bis 1 mm wird als Infrarotstrahlung bezeichnet. Auf Grund der biologischen Wirkung werden zusätzlich (nach DIN und der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE)) die folgenden Spektralbereiche unterschieden:

VIS	von 380 nm bis 780 nm
IR-A	von 780 nm bis 1 400 nm
IR-B	von 1 400 nm bis 3 000 nm und
IR-C	von 3 000 nm bis 1 mm.

Diese Unterteilung der elektromagnetischen Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 1 mm wird auch in der neuen Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdung durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV, 2010) vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960) verwendet.

Strahlungsquellen können entweder bei einzelnen diskreten Wellenlängen (z. B. Laser, LED, Gasentladungslampen) oder über einen breiten Wellenlängenbereich (z. B. Sonne, Glühlampe, Halogenglühlampen) emittieren. Auch die Kombination beider Emissionen ist möglich (z. B. Hochdruck-Entladungslampen).

2.1 Strahlungsgrößen

Zur quantitativen Bewertung elektromagnetischer Strahlung im sichtbaren und IR-Bereich sind folgende physikalische Größen von Bedeutung:

Die *Strahldichte* L (Einheit: $W/(m^2 \cdot sr)$) ist der Quotient aus der aus einer Fläche dA in einen bestimmten Raumwinkel $d\Omega$ austretenden Strahlungsleistung dP und dem Produkt aus diesem Raumwinkel und der Projektion der Fläche auf eine Ebene senkrecht zur Strahlungsrichtung:

$L = \frac{d^2P}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos \varepsilon}$ (siehe Bild 2).

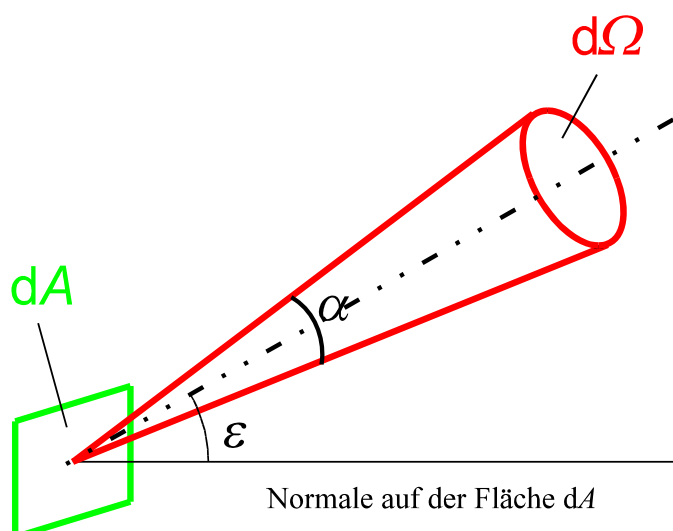


Bild 2: Größen zur Bestimmung der Strahldichte L .

Die *Bestrahlungsstärke* E (Einheit W/m^2) ist die pro Flächeneinheit auf eine Fläche auftreffende Strahlungsleistung.

Das Produkt aus Bestrahlungsstärke und Bestrahlungsdauer ergibt die *Bestrahlung* H (Einheit $W \cdot s/m^2 = J/m^2$).

Anm.: Anstelle von "Bestrahlung" werden in der Photobiologie auch die Begriffe „Dosis“ oder „Bestrahlungsdosis“ verwendet.

Wichtig ist bei der Angabe von Strahlungsmessgrößen auch die Angabe des jeweiligen Wellenlängenbereiches, auf den sich die Messgröße bezieht. Entweder wird die Messgröße auf ein gesamtes Wellenlängenintervall (z. B. 380 nm bis 780 nm) bezogen, oder sie wird als spektrale Größe angegeben. So ist z. B. die spektrale Bestrahlungsstärke $E_\lambda = \partial E / \partial \lambda$ die Bestrahlungsstärke bezogen auf ein infinitesimales Wellenlängenintervall.

Für die Lichttechnik verwendet man Messgrößen, die die spektrale Empfindlichkeit des Auges einbeziehen (DIN 5031-3, vgl. Tabelle 1). Da in diesem Beitrag aber nicht Fragen der Beleuchtung, sondern der biologischen Wirkung von Licht behandelt werden sollen, wird hierauf nicht näher eingegangen.

Tabelle 1: Photometrische und Radiometrische Strahlungsgrößen und deren Wirkungsweise.

Wirkungsweise der Strahlung	Radiometrische Größe	Fotometrische Größe
Strahlung, die von einer Quelle insgesamt emittiert wird	Strahlungsleistung (radiant power) Φ_e in W (Watt)	Lichtstrom (luminous flux) Φ_v in lm (Lumen)
Strahlung, die eine Oberfläche bestrahlt	Bestrahlungsstärke (irradiance) E_e in W/m^2 (Watt pro Fläche)	Beleuchtungsstärke (illuminance) E_v in $lm/m^2 = lx$ (Lumen pro Fläche)
Strahlung, die eine Oberfläche über eine bestimmte Zeit bestrahlt	Bestrahlung (radiant exposure) H_e in J/m^2 (Joule pro Fläche)	Belichtung (luminous exposure) H_v in $lx \cdot s$ (Lux multipliziert mit der Zeit)
Strahlungsleistung von einem gegebenen Punkt der Strahlungsquelle pro projizierter Fläche und Raumwinkel	Strahldichte (radiance) L_e in $W/(m^2 \cdot sr)$ (Watt pro Fläche und Raumwinkel)	Leuchtdichte (luminance) L_v in $lm/(m^2 \cdot sr) = cd/m^2$ (Lumen pro Fläche und Raumwinkel) cd = candela

2.2 Strahlungsgesetze

Für den idealen "schwarzen Körper" lässt sich das Verhalten durch das *Plancksche Strahlungsgesetz* vollständig beschreiben:

Das *Plancksche Strahlungsgesetz* gestattet die Berechnung der spektralen Strahl-
dichte als Funktion der Wellenlänge und der Temperatur (siehe Bild 3):

$$L_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\pi \cdot n^2 \cdot \lambda^5 \cdot (e^{c_2/(\lambda \cdot T)} - 1)}$$

Dabei bedeuten:

$$c_1 = 2 \pi \cdot h \cdot c_0^2 = 3,742 \cdot 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^2$$

$$c_2 = h \cdot c_0 / k = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{m}$$

$$h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

(Plancksche Konstante)

$$k = 1,380658 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

(Boltzmannsche Konstante)

n = Brechzahl des Umgebungsmediums

$c_0 = 299\,792\,458 \text{ m/s}$
(Vakuumlichtgeschwindigkeit)

λ = Wellenlänge, Einheit: m

T = Temperatur, Einheit: K

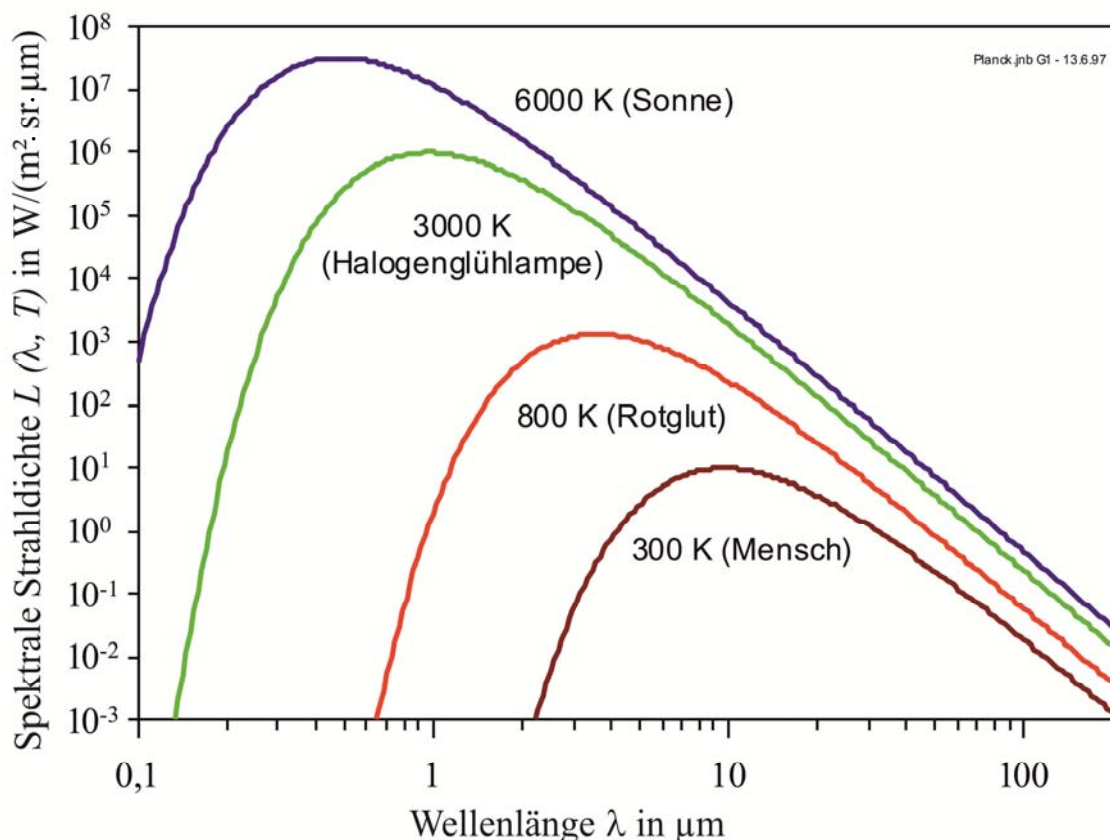


Bild 3: Spektrale Strahldichte des schwarzen Körpers für verschiedene Temperaturen in Kelvin [K].

Daraus lassen sich zwei weitere Beziehungen ableiten:

Das *Stefan-Boltzmannsche Gesetz* gibt die Abhängigkeit der gesamten Strahlungsleistung von der Temperatur an:

$$M(T) = \sigma \cdot T^4$$

mit

$M(T)$: spezifische Ausstrahlung, Einheit: W/m^2
 σ : Stefan-Boltzmann-Konstante = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

Die Wellenlänge für das Maximum der Verteilung kann man durch das *Wiensche Verschiebungsgesetz* berechnen:

$$\lambda_{\text{max}} = b / T$$

mit

$$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{m}$$

Diese Verschiebung ist sehr deutlich in Bild 3 zu erkennen.

Für reale Körper ist die Emission kleiner als für den idealen schwarzen Körper. Dieser Unterschied wird durch den Emissionsgrad $\varepsilon(\lambda, T)$ ausgedrückt, dessen Werte zwischen 0 und 1 liegen und für zahlreiche Stoffe in der Fachliteratur angegeben sind.

Wie Bild 3 zu entnehmen ist, ergeben sich für unterschiedliche Oberflächentemperaturen sehr unterschiedliche spektrale Strahldichten in den einzelnen Spektralgebieten. Während z. B. eine Zimmerwand bzw. der menschliche Körper bei etwa 300 K praktisch nur im IR-Bereich emittieren, befindet sich das Emissionsmaximum der Sonne im sichtbaren Spektralbereich.

2.3 Biologische Bewertungsgrößen

Für die Wirkung von Strahlungswärme auf den Energiehaushalt des menschlichen Körpers werden spezielle Messgrößen, wie die effektive Bestrahlungsstärke, eingeführt. Die effektive Bestrahlungsstärke (Nettoeinstrahlung) E_{eff} (Einheit: W/m^2) ergibt sich aus der Differenz zwischen der Einstrahlung von außen und der von der Körperoberfläche mit einer Temperatur von 32 °C ($T = 305 \text{ K}$) emittierten Strahlung (siehe z. B. DIN Fachbericht 128).

Neben der Bestrahlungsstärke, die häufig mit Gewichtungsfunktionen zu bewerten ist, und der Einwirkungsdauer, gibt es eine Reihe weiterer Messgrößen, die zur Bestimmung der Wärmebelastung einer Person bei gegebenen Umweltbedingungen ermittelt werden müssen. Sie hängt u. a. von Luftdruck, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Wärmeeinstrahlung, Energieerzeugung durch Arbeit, Bekleidungsisolation, Schweißrate ab. Es handelt sich um über 100 Messgrößen und sogenannte Klimasummenmaße, mit deren Hilfe die Wärmebilanz des Körpers ermittelt werden soll, um sie mit vorgegebenen Belastbarkeitsgrenzen vergleichen zu können. Ein Teil dieser Messgrößen und Klimasummenmaße berücksichtigt die Energiezu- und -abfuhr durch Strahlung. Da dieser Bereich sehr umfangreich ist und einer eigenen Behandlung

bedarf, wird hier auf die entsprechende Literatur verwiesen (z. B. DIN 33403, DIN ISO 7933).

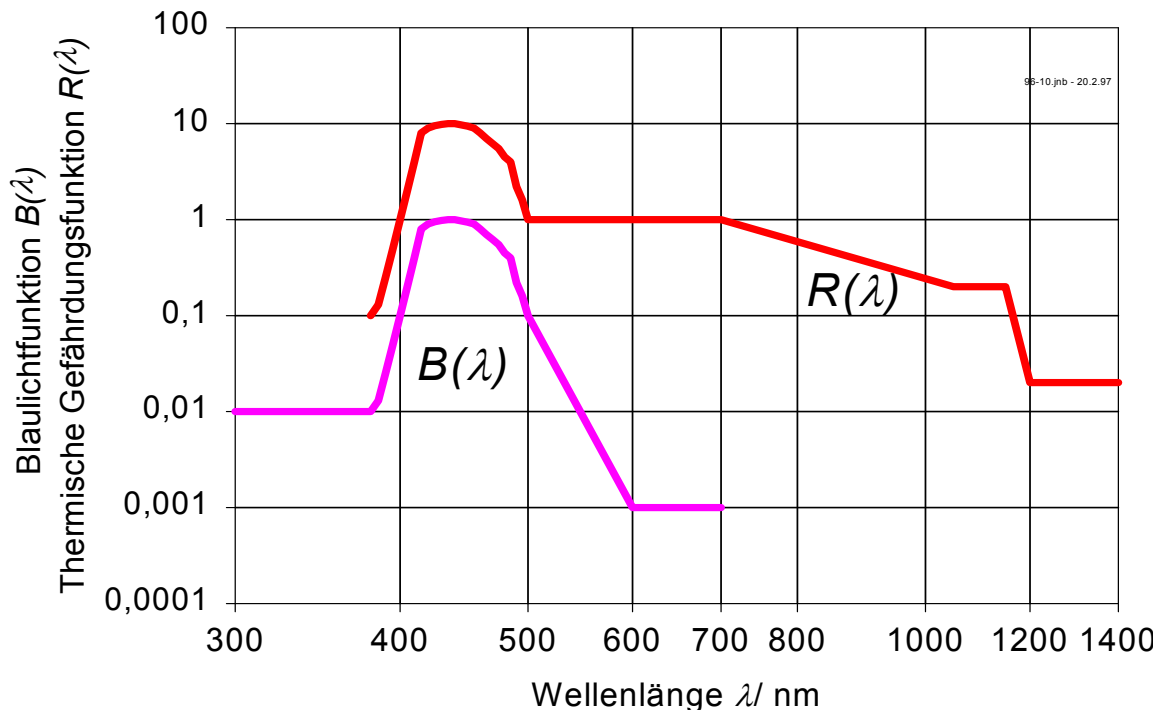


Bild 4: Wellenlängenabhängigkeit der thermischen Netzhautgefährdung $R(\lambda)$ und der photochemischen Netzhautgefährdung durch "Blaulicht" $B(\lambda)$. Bzgl. der $R(\lambda)$ -Gewichtungsfunktion enthält der ICNIRP-Draft von 2011 für inkohärente Strahlung eine Änderung (vgl. Tabelle 2).

Da die biologische Wirkung der optischen Strahlung wellenlängenabhängig ist, werden entsprechende spektrale Gewichtungsfunktionen zur biologischen Bewertung der erhaltenen Messgrößen herangezogen. So kann z. B. das Auge durch Strahlung im sichtbaren und nah-infraroten Wellenlängenbereich auf verschiedene Weise gefährdet werden. Daher werden zur Gewichtung der Strahldichte die Wirkungsfunktionen $R(\lambda)$ für die thermische Netzhautgefährdung im nah-infraroten Bereich und $B(\lambda)$ für die photochemische Netzhautgefährdung durch blaues Licht verwendet (siehe Bild 4).

Von Seiten der ICNIRP liegt ein neuer Entwurf der „Guidelines“ für inkohärente optische Quellen vor. In diesem wird hierbei als Änderung der $R(\lambda)$ -Funktion für die thermische Netzhautgefährdung ein anderer Verlauf angegeben (siehe Bild 5 und Tabelle 2).

Für andere biologische Wirkungen gibt es auch weitere spektrale Wirkungsfunktionen (z. B. Beeinflussung des Circadianen Rhythmus vgl. 4.1.2.1).

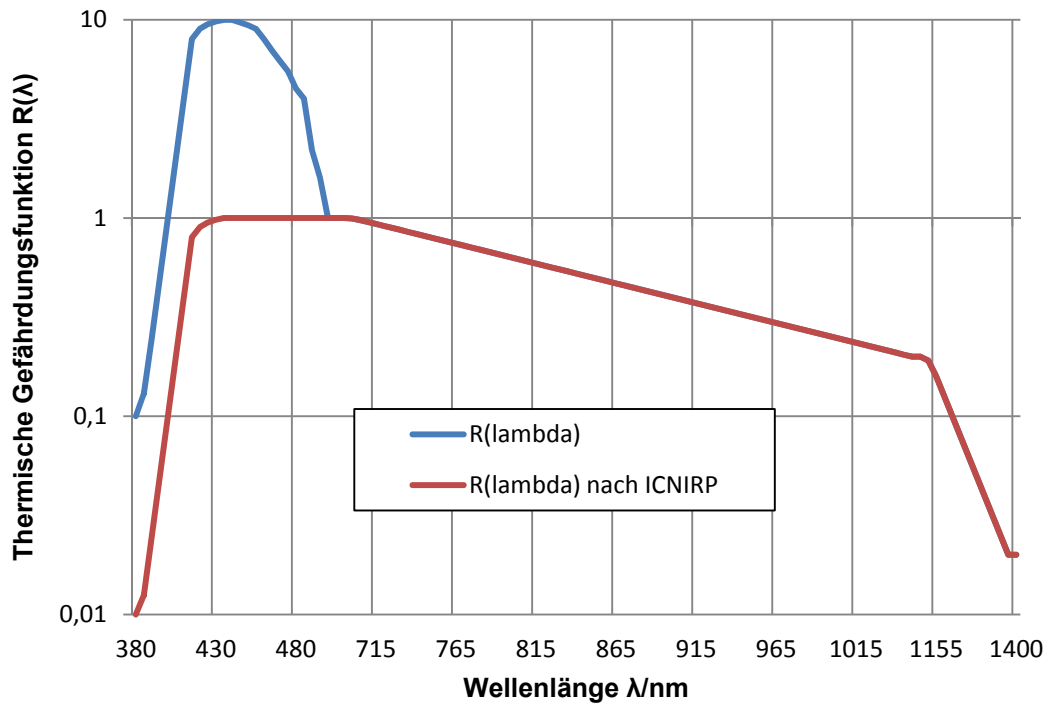


Bild 5: Vergleich der Gewichtungsfunktion der thermischen Netzhautgefährdung $R(\lambda)$, wie bisher gewertet (blaue Kurve) und nach dem neuen ICNIRP-Draft von 2011 für inkohärente optische Strahlung (rote Kurve) (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Gewichtungsfunktionen für die thermische Netzhautgefährdung und die Blaulichtgefährdung.

Wellenlänge nm	Blaulicht- Gewichtungs- funktion $B(\lambda)$	Thermische Gewichtungs- funktion $R(\lambda)$	Thermische Gewichtungs- funktion $R(\lambda)$ nach ICNIRP Draft
300-380	0,01		
380	0,01	0,1	0,01
385	0,013	0,13	0,0125
390	0,025	0,25	0,025
395	0,05	0,5	0,05
400	0,10	1,0	0,1
405	0,20	2,0	0,2
410	0,40	4,0	0,4
415	0,80	8,0	0,8
420	0,90	9,0	0,9
425	0,95	9,5	0,95
430	0,98	9,8	0,98
435	1,00	10,0	1,0
440	1,00	10,0	1,0
445	0,97	9,7	1,0
450	0,94	9,4	1,0
455	0,90	9,0	1,0
460	0,80	8,0	1,0
465	0,70	7,0	1,0
470	0,62	6,2	1,0
475	0,55	5,5	1,0
480	0,45	4,5	1,0
485	0,40	4,0	1,0
490	0,22	2,2	1,0
495	0,16	1,6	1,0
500	0,10	1,0	1,0
>500-600	$10^{0,02 \cdot (450 - \lambda/\text{nm})}$	1	1,0
>600-700	0,001	1	1,0
>700-1 050		$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda/\text{nm})}$	$10^{(700 - \lambda/\text{nm})/500}$
>1 050-1 150		0,2	0,2
>1 150-1 200		$0,2 \cdot 10^{0,02(1150 - \lambda/\text{nm})}$	$0,2 \cdot 10^{0,02(1150 - \lambda/\text{nm})}$
>1 200-1 400		0,02	0,02

3 Strahlungsquellen

Strahlungsquellen kann man in natürliche oder künstliche einteilen, die beide in der Arbeitsplatzumgebung eine Rolle spielen.

Die wichtigste natürliche Quelle ist die Sonne. Sie emittiert ähnlich der Strahlung eines schwarzen Körpers (Hohlraumstrahlers) eine Temperatur von ca. 6000 K, also mit einem Emissionsmaximum bei einer Wellenlänge von etwa 500 nm. Die von ihr erzeugte Bestrahlungsstärke oberhalb der Atmosphäre beträgt 1367 W/m² (Solar-konstante). Die auf die Erdoberfläche gelangende Sonnenstrahlung wird allerdings durch selektive spektrale Absorption der Atmosphäre z. T. erheblich reduziert (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Zusammenstellung der relativen Sonnenbestrahlungsstärkeanteile am Erdboden und außerhalb der Atmosphäre.

Spektralbereich	außerhalb der Atmosphäre	am Erdboden (Meereshöhe)
Infrarotstrahlung	44 %	42 %
sichtbare Strahlung	47 %	52 %
ultraviolette Strahlung	9 %	6 %

Es gibt eine Vielzahl von künstlichen Licht- und IR-Strahlungsquellen, wie Glühlampen, Entladungslampen, Flammen, erhitzte Werkstoffe, Öfen, Schweißbögen usw., mit sehr unterschiedlichen Emissionsspektren. Neben den breitbandigen Quellen emittieren die Laser meist nur in einem sehr schmalen Frequenzbereich. Letztere werden hier nicht behandelt (siehe z. B. Leitfaden "Laserstrahlung").

Moderne Lichtquellen, wie Lichtemittierende Dioden (LED), Halogenglühlampen und Kompaktleuchtstofflampen finden immer mehr ihren Weg nach dem Verkaufsverbot der herkömmlichen Glühlampen durch die EU seit 2008 zum Einsatz bei der allgemeinen Beleuchtung. Die spektrale Zusammensetzung dieser modernen Lichtquellen weist Anteile im UV, sichtbaren und IR auf, ebenfalls gerät immer wieder in die Diskussion, dass bei diesen Lichtquellen ein erhöhter Blaulichtanteil vorliegt. Eine Stellungnahme der Strahlenschutzkommission (SSK Stellungnahme Moderne Lichtquellen, 2010) beschäftigt sich mit dieser Fragestellung inwieweit die strahlenschutzrelevanten Grenzwerte bei der Nutzung dieser Leuchtmittel eingehalten werden. Die SSK kommt zu dem Ergebnis, dass diese Lichtquellen sich nicht stark von den bisher verwendeten Lichtquellen unterscheiden.

Ein weiterer Einsatz von künstlichen Lichtquellen, die mit einer hohen Bestrahlungsstärke im sichtbaren und infraroten Spektralbereich arbeiten, sind die sog. IPL-Geräte (IPL: intense pulsed light), wie sie in der Kosmetik seit Mitte der 90er verstärkt zur Haarentfernung eingesetzt werden. Hierbei werden mittels einer Hochleistungs-Blitzlicht-/Kurzbogenlampe kurze Lichtimpulse auf die Haut gesandt. Da hier eine biologische Wirksamkeit – Haarentfernung – erreicht werden soll und auch anders als bei einem Laser ein breites Spektrum vorliegt, liegen die Wirkung und die Nebenwirkung auf Haut und Auge näher beieinander. So können z. B. Verbrennungen der Haut durch die Verwendung eines IPL-Gerätes entstehen (FA ET 3, 2009).

Zu den typischen Berufsgruppen, die an Arbeitsplätzen intensiver künstlicher und/oder

natürlicher sichtbarer und/oder infraroter Strahlung ausgesetzt sind, gehören:

- | | | | | |
|--------------------|---|-----------------------|---|---------------------|
| - Glasbläser | - | Beleuchter | - | Graphisches Gewerbe |
| - Hochofenarbeiter | - | Schauspieler | - | Feuerwehr |
| - Stahlverarbeiter | - | Bedienungspersonal an | - | Bauarbeiter |
| - Schweißer | - | Trocknern und Härtern | - | Landarbeiter |

4 Biologische Wirkungen beim Menschen

Im Folgenden wird die Wirkung von Licht und IR-Strahlung auf die Haut und das Auge des Menschen genauer behandelt. Dabei muss zwischen kurzzeitiger und langwährender Einwirkung unterschieden werden.

4.1 Sichtbare Strahlung (Licht)

Die Photonenenergie von Licht ist zu gering (3,26 eV bis 1,59 eV), um ionisierend zu wirken. Aber Strahlung mit Wellenlängen bis ca. 550 nm kann noch einige kovalente Molekülbindungen aufbrechen und bis ca. 660 nm noch ionische Bindungen. Insbesondere für größere Wellenlängen ist der wesentliche Mechanismus neben diesen photochemischen Prozessen die Umwandlung der Strahlungsenergie in Wärme. Deren Wirkung beruht auf der entsprechenden Temperaturerhöhung. Die Eindringtiefe der Strahlung ins Gewebe und der Ort der Umwandlung in Wärme hängen stark von der Wellenlänge ab. In Bild 6 wird dies an Hand der unterschiedlichen Eindringtiefe in leicht pigmentierte Haut schematisch dargestellt. Den spektralen Transmissionsgrad für die verschiedenen Teile des Auges zeigt Bild 9. Von den einzelnen Schichten der Haut und des Auges wird immer nur ein Teil der einfallenden Strahlung absorbiert.

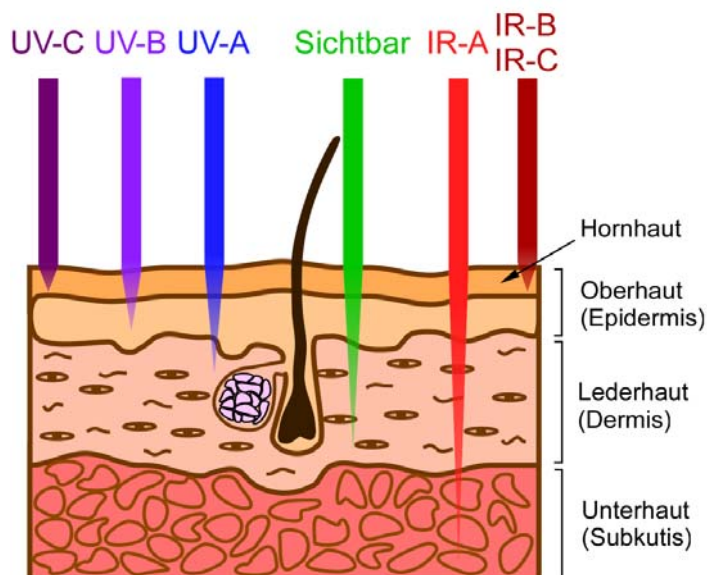


Bild 6: Eindringtiefe von optischer Strahlung in die menschliche Haut. Genauere Angaben über die mittlere Eindringtiefe von verschiedenen Wellenlängen in die Haut sind in Health Council of the Netherlands 1993 aufgeführt.

4.1.1 Wirkung sichtbarer Strahlung auf die Haut

Bestrahlungsstärken im sichtbaren Spektralbereich können, wie bei der Infrarotstrahlung, zu mehr oder weniger starker Hauterwärmung führen. Über dadurch verursachte Hautschäden wurde bisher wenig bekannt.

Durch Licht, vermutlich auch UV-A, kann eine Lichtdermatose, vielfach "Lichtallergie" genannt, ausgelöst werden. Dabei scheint ein körpereigenes Allergen aktiviert zu werden, was sich in einer Art Nesselsucht äußert, bei der Jucken, Brennen, Rötung und Quaddeln auftreten können.

4.1.2 Wirkung sichtbarer Strahlung auf das Auge

4.1.2.1 Kurzzeitige Lichteinstrahlung auf das Auge

Wirkt Licht hoher Bestrahlungsstärke auf das Auge ein, so kann es zu thermischen Schäden im Bereich der Netzhaut kommen (z. B. Blitzlampen). Daneben führen hohe Leuchtdichten zu einer Blendwirkung. Diese hängt nicht unwesentlich vom Adaptationszustand der Augen ab. Aufgrund der Blendwirkung in Verbindung in erster Linie mit den Abwendungsreaktionen (meist innerhalb 1 s) sind thermische Netzhautschäden durch starke Lichtquellen bisher selten. Dies kann sich durch technische Entwicklungen von z. B. LED ändern. Eine Möglichkeit des Auftretens von Schäden sind sehr intensive Lichtblitze, für die diese Reaktionen nicht schnell genug ablaufen oder unterdrückt werden (Schauspieler im Scheinwerferlicht).

Circadianer Rhythmus:

Die „Innere Uhr“ beeinflusst viele biologische, neuronale und hormonelle Vorgänge beim Menschen, die unabhängig vom eigentlichen äußeren Tag-Nacht-Ablauf sind. Diese neuronalen und hormonellen Prozesse laufen nach einem so genannten circadianen Rhythmus ab. In den letzten Jahren war die Steuerung des Tag-Nacht-Rhythmus der Lebewesen durch Lichteinfluss auf das Auge Gegenstand mehrerer Forschungsarbeiten. So zeigten sich Hinweise darauf, dass schmalbandiges kurzwelliges Licht abhängig vom Zeitpunkt der Einwirkung die Melatoninausschüttung unterdrückt und dadurch ein Anstieg der Herzrate erfolgt, die Thermoregulation beeinflusst wird und so zu verstärkter Wachheit führt. Es konnte gezeigt werden, dass diese Wirkung von Licht im blauen Spektralbereich auf das Auge unabhängig ist vom eigentlichen Sehen, sondern melanopsinhaltige Ganglienzellen als Photorezeptor dienen und so der circadiane Rhythmus gesteuert wird (Thapan et. al. 2001). Das Licht dient somit als Zeitgeber für die „Innere Uhr“. So kann Licht z. B. die Wachphase eines Menschen sowohl nach vorne als auch nach hinten verschieben. Weiteren Einfluss auf den circadianen Rhythmus besitzen u. a. der Lidschluss des Auges, die Augenbewegung und die Durchlässigkeit des Augenmediums besonders im blauen Wellenlängenbereich (Brainard et. al., 1997).

In Bild 7 ist das Wirkungsspektrum für die Unterdrückung von Melatonin in der Nacht abhängig von der Wellenlänge dargestellt. Das Maximum des Wirkungsspektrums liegt bei 450 nm und somit im blauen Spektralbereich (Brainard et. al, 2001).

Die bisher durch Forschung gewonnenen Erkenntnisse des Lichteinflusses auf den circadianen Rhythmus führten bereits zur Erarbeitung einer Vornorm, der DIN V 5031:100. Diese Vornorm soll es später ermöglichen, dass eine vereinheitlichte Bewertung von Lichtquellen und Beleuchtungssituationen im Hinblick auf deren biologische Wirkung stattfinden kann. Jedoch gilt hier die Datenlage als noch nicht gesichert und es wird in den kommenden Jahren sicher zu der einen oder anderen Anpassung, u. a. des in Bild 7 angeführten Wirkungsspektrums, kommen.

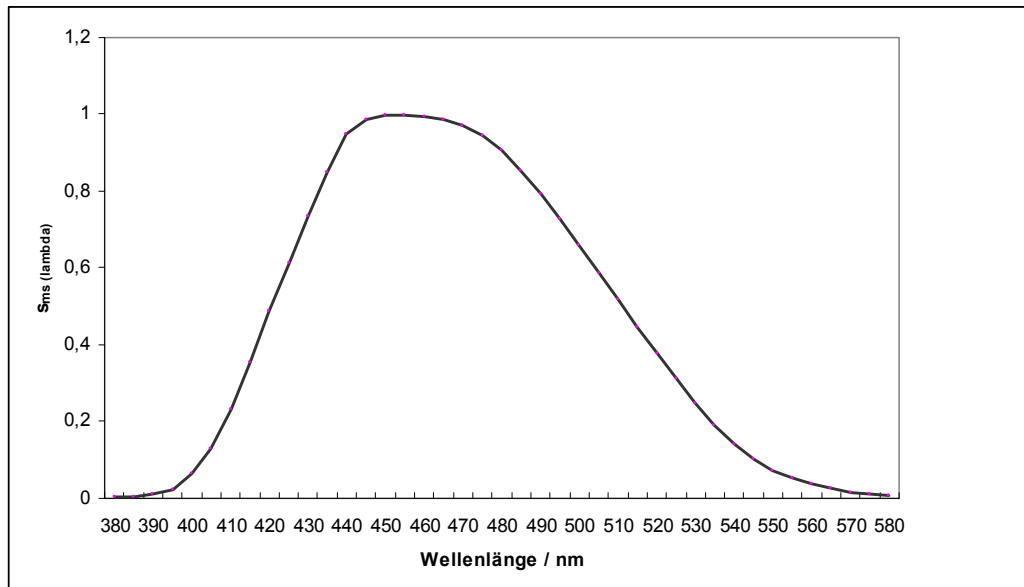


Bild 7: Wirkungsspektrum für die Unterdrückung von Melatonin in der Nacht $s_{ms}(\lambda)$ in Abhängigkeit der Wellenlänge λ .

Physiologische Schutzwirkungen:

Hinsichtlich der körpereigenen Schutzwirkung ist man lange Zeit davon ausgegangen, dass diese durch Abwendungsreaktionen einschließlich des Lidschlussreflexes gewährleistet ist, und zwar zumindest soweit es deren Auftreten betrifft. Neuere Untersuchungen, die insbesondere die Ermittlung der Häufigkeit dieser physiologischen Schutzreaktionen bei sichtbarer Laserstrahlung zum Ziel hatten, aber auch auf inkohärente optische Strahlung ausgedehnt worden waren, zeigten, dass sie viel seltener auftraten, als bisher angenommen worden war. So hatten ca. 10 – 20% der getesteten Versuchsteilnehmer keinen Lidschlussreflex, wenn sie leicht schräg von der Seite durch einen kommerziellen Fotoblinker angeblitzt wurden (Reidenbach und Wagner). Noch detaillierter wurden Untersuchungen zum Auftreten des Lidschlussreflexes und anderer Abwendungsreaktionen, wie insbesondere Augen- und Kopfbewegungen, bei der Bestrahlung durch verschiedenfarbige LEDs und durch Weißlicht-LEDs durchgeführt.

Diese Untersuchungen waren nicht zuletzt dadurch motiviert und begründet worden, dass LEDs seit 1993 als Laser zu klassifizieren waren und daher hinsichtlich der Sicherheitsphilosophie auch gleich behandelt wurden. Ihnen wurde lediglich eine um einen Faktor größere Leistung zugebilligt, die sich strahlengeometrisch aus dem Verhältnis der Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle zu derjenigen einer

Punktquelle ergab, und maximal das 66,7fache eines kollimierten Laserstrahls betragen durfte.

Unter diesen normativ festgelegten Bedingungen durchgeführte Untersuchungen zeigten zwar eine größere Häufigkeit beim Auftreten des Lidschlussreflexes und anderer Abwendungsreaktionen, insbesondere wenn die Exposition beidäugig erfolgte und von großflächigen LED-Arrays ausging, als bei monokularer (einäugiger) Exposition mittels vergleichbarer Laserstrahlung, aber dennoch waren die ermittelten Häufigkeiten für die Rechtfertigung eines darauf basierenden Sicherheitskonzeptes eindeutig zu gering (Reidenbach et al., 2003 und 2006).

Diese Erkenntnisse sind bedauerlicherweise bislang nicht in das Risikogruppenkonzept von Lampen in der DIN EN 62471 übernommen worden, so dass zumindest bei so genannten Hochleistungslampen, wozu im Sonderfall auch z. B. kleinflächige königsblaue LEDs und eventuell auch Weißlicht-LEDs, die nach dem Prinzip der Konversion von blauer LED-Strahlung durch geeignete Phosphore hergestellt sind, gehören können, nach wie vor Abwendungsreaktionen mit einer Zeitdauer von 0,25 s die entsprechende Schutzfunktion zugesprochen wird.

4.1.2.2 Blendung durch Lichtquellen

Insbesondere geht man davon aus, dass die Blendwirkung heller bzw. sehr heller Lichtquellen der Garant für das Auftreten physiologischer Schutzreaktionen ist. Dies muss aufgrund vorliegender Forschungsergebnisse aber in Frage gestellt werden und man sollte, ähnlich wie das bei Laserstrahlung aus Lasern der Klassen 2, 2M und 3R (im sichtbaren Spektralbereich) seit 2008 in der 2. Ausgabe der Lasersicherheitsnorm DIN EN 60825-1 der Fall ist, stattdessen aktive Schutzreaktionen, d. h. das sofortige Schließen der Augen und Wegbewegen des Kopfes aus dem jeweiligen Lichtstrahl empfehlen.

Nicht zuletzt die neue Arbeitsschutzverordnung für künstliche optische Strahlung fordert die Berücksichtigung indirekter Gefährdungen durch vorübergehende Blendung bei der Gefährdungsbeurteilung. Insofern war es nur folgerichtig, dass Forschung zur Blendung durch Lichtquellen eine höhere Bedeutung zukam.

Als neuere Erkenntnis lässt sich festhalten, dass als Folge einer Blendung durch Exposition mittels LED-Strahlung z. B. das Farbkontrastsehvermögen bis zu ca. 3 Minuten beeinträchtigt werden kann, m. a. W. können farbige Gegenstände eine relativ lange Zeitdauer nicht in ihrer Objektfarbe korrekt wahrgenommen werden (Reidenbach et al., 2008). Die Ursache solcher Farbsehstörungen liegt im Wesentlichen in den photochemischen Vorgängen in der Netzhaut, die von der jeweiligen Bestrahlung ausgehen und zu einem lang anhaltenden Nachbild führen.

Sehfunktionsstörungen, die z. B. die Sehschärfe und die Lesefähigkeit betreffen, sind individuell zwar sehr verschieden und dauern etwa 10 bis 30% der Nachbilddauer an, ihnen sollte aber in jedem Fall die entsprechende Beachtung im Umgang mit Lichtquellen geschenkt werden, die über ein entsprechendes Blendpotenzial verfügen. Bislang kann auch hier festgestellt werden, dass man diesen Paradigmenwechsel bei Laserstrahlung bereits vollzogen hat, bei Lampen, zu denen auch LEDs gehören, ist aber Blendung – zumindest was die damit zusammenhängende photobiologische Gefährdung betrifft – noch immer ein Fremdwort, d. h. hier gibt es in der

entsprechenden Norm bislang nicht einmal deren Erwähnung. Zumindest der Grundsatz, dass Blendung die Sehbedingungen nicht verbessert, sollte erst genommen werden, um Gefährdungen durch vorübergehende Blendung weitgehend zu vermeiden. Weiteres zur Blendung findet sich ebenfalls im Leitfaden zur Laserstrahlung.

4.1.2.3 Langzeitige Lichteinstrahlung auf das Auge

Licht hoher Leuchtdichte ($> 10^4 \text{ cd/m}^2$) kann bei Einwirkung auf das Auge über längere Zeiten (Bereich Sekunden bis Stunden) durch photochemische Reaktionen zu einer Netzhautschädigung, wie z. B. die Photoretinitis, führen. Dies gilt insbesondere für den kurzwelligen Bereich unterhalb von 500 nm (Blaulichtgefährdung). Netzhautschäden sind irreversibel.

Für Personen, bei denen die Augenlinse durch eine künstliche Linse ersetzt wurde, sowie für Kinder, ist das Risiko erhöht, da deren Augenlinse, insbesondere im UV, durchlässiger als bei Erwachsenen ist. Moderne Implantate sind allerdings meist mit entsprechenden UV-Absorbern ausgestattet.

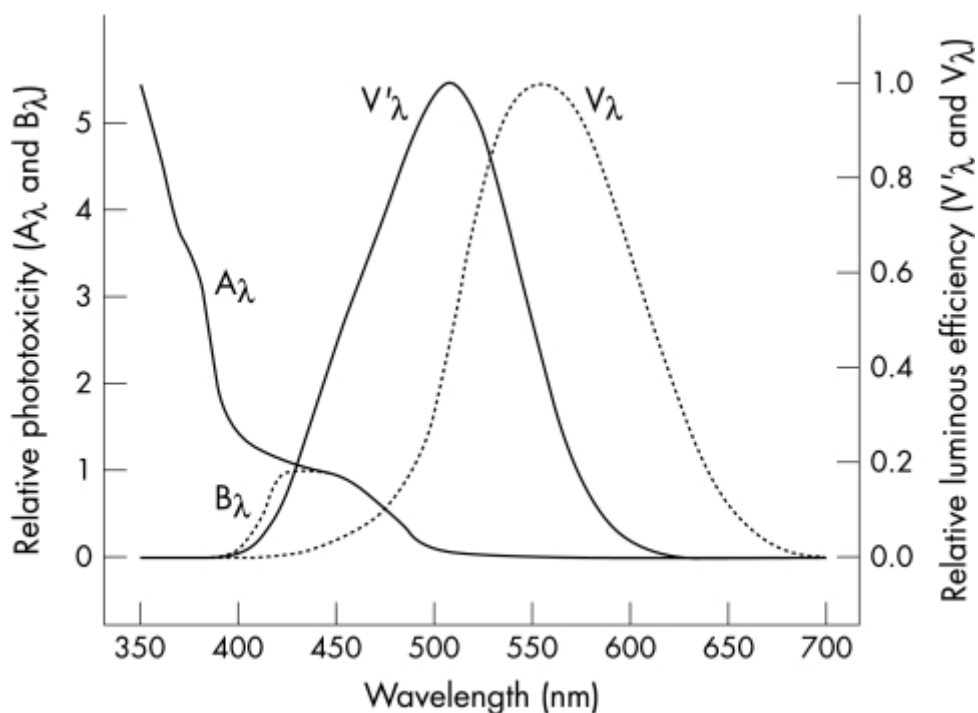


Bild 8: Wirkungsfunktionen A_λ und B_λ für das aphakische und normale Auge (Mainster, M. A. et al. 2003)

4.2 Infrarotstrahlung

Die Photonenenergie ($1,59 \text{ eV}$ bis $1,24 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$) von IR-Strahlung ist zu gering, um chemische Reaktionen auszulösen oder gar ionisierend zu wirken. Der wesentliche Mechanismus bei der Einwirkung von IR-Strahlung auf menschliches Gewebe beruht auf der Umwandlung der Strahlungsenergie in Wärme. Die Wellenlängenabhängigkeit des Eindringens von IR-Strahlung in leicht pigmentierte Haut und in das Auge sind in den Bildern Bild 6, Bild 9 und Bild 12 dargestellt.

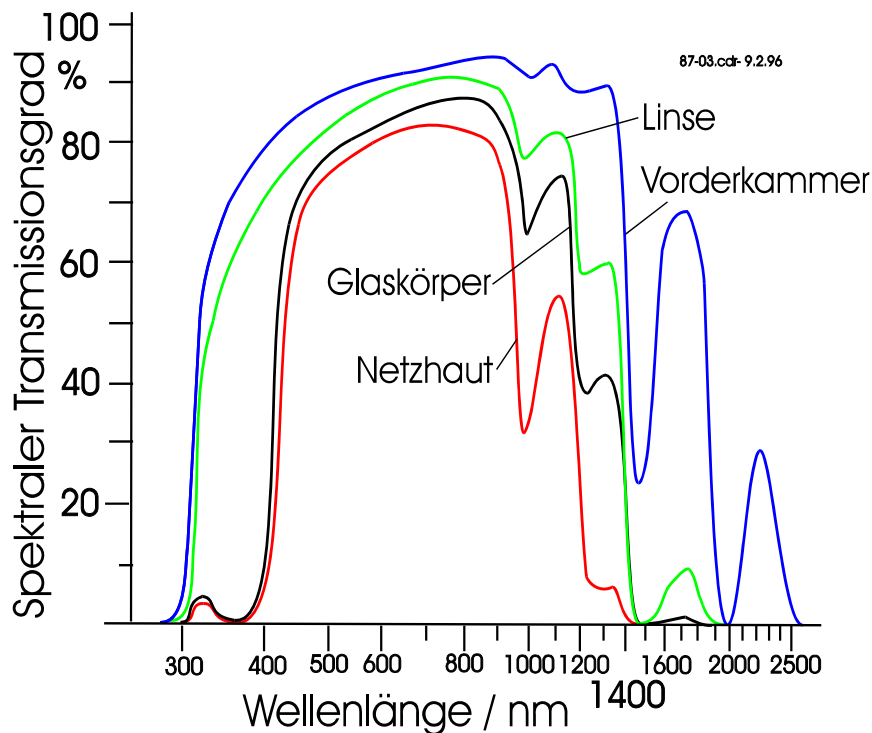


Bild 9: Spektraler Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ bis zur Vorderseite der im Bild angegebenen Teile des Auges (Boettner et al. 62). Untersuchungen am Auge von Rhesusaffen (Maher 78) führen zu sehr ähnlichen Werten.

4.2.1 IR-Bestrahlung der Haut

4.2.1.1 Kurzzeitige Hautbestrahlung

Bei Einwirkung hoher Bestrahlungsstärken von IR-Strahlung auf die Haut kann es zur Verbrennung der Haut kommen. IR-Strahlung dringt in Abhängigkeit von der Wellenlänge unterschiedlich weit in die Haut ein (siehe Bild 6). Strahlung von $1 \mu\text{m}$ Wellenlänge wird überwiegend bis in etwa 1 mm Tiefe in der Haut absorbiert, längerwellige Strahlung bereits in der Epidermis, d. h. in einigen $10 \mu\text{m}$ Tiefe, also in der aus abgestorbenen Zellen bestehenden Hornhaut.

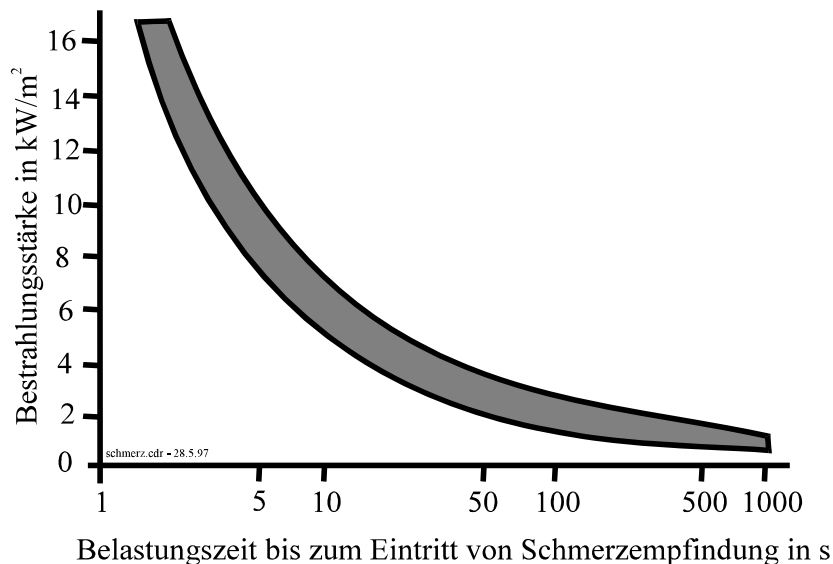


Bild 10: Schmerzgrenze der unbedeckten Haut in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke (DIN 33403-3)

Insbesondere bei größeren Wellenlängen (z. B. 10 μm) führt dies bei hoher Bestrahlungsstärke zu starker lokaler Erwärmung. Wegen der beteiligten Wärmetransportvorgänge ist die Bestrahlungsstärke, die zu einer Verbrennung führt, von der Dauer der Einwirkung abhängig. Diese Abhängigkeit ist in DIN 33 403-3 (Bild 10) dargestellt. Dabei ist in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer diejenige Bestrahlungsstärke aufgezeichnet, die zu einer Schmerzempfindung führt; dies bildet das Vorstadium zu einer Verbrennung. So führt z. B. eine Bestrahlungsstärke von etwa 7 kW/m^2 bis 10 kW/m^2 nach etwa 5 s zu einer Schmerzempfindung und kurz darauf zur Verbrennung. Aber schon Bestrahlungsstärken von ca. 1,5 kW/m^2 führen bei längerer Bestrahlung (über 10 min) zu Schmerzempfindungen.

4.2.1.2 Langandauernde Hautbestrahlung

Eine IR-Strahlungswirkung kann auch unterhalb der Verbrennungsschwelle zu einer thermischen Belastung des Menschen führen. Durch die Zufuhr von Wärme über die Strahlung wird der Wärmehaushalt des Menschen beeinflusst. Dieser Wärmehaushalt befindet sich in einem Gleichgewicht zwischen Wärmeerzeugung (Energieumwandlung der aufgenommenen Nahrung, Muskelarbeit) und Wärmeabgabe (Wärmeleitung, Konvektion, Schwitzen). Das Gleichgewicht ist auf einen engen Temperaturbereich beschränkt. Eine großflächige Wärmestrahlungseinwirkung, wie sie z. B. an einem Schmelzofen auftritt, kann dieses Gleichgewicht stören und zu einer Erhöhung der Körpertemperatur führen. In *Bild 11* aus DIN 33403-3 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Man sieht, dass ohne Muskelarbeit eine effektive Bestrahlungsstärke von ca. 300 W/m^2 die Grenze derjenigen Strahleneinwirkung darstellt, die über 8 Stunden erträglich ist. Dieser Wert liegt allerdings nach Vorgabe der Grenzwerte durch die OStrV bzw. 2006/25/EG bei 100 W/m^2 . Bei schwerer Muskelarbeit von z. B. 200 W liegt die Erträglichkeitsgrenze für eine 8-stündige Exposition bei nur noch 140 W/m^2 .

Auf Wirkungen, die durch langzeitige IR-Exposition verursacht werden, gibt es in der Literatur einige Hinweise. Genannt werden z. B. Degradation (Verschlechterung) der Haut und Schädigung der Atemwege. Es gibt aber nur sehr wenige Untersuchungen, so dass die Relevanz dieser Effekte eher als gering eingeschätzt werden kann.

Es wird vereinzelt auch die Frage diskutiert, ob nicht auch sichtbare und infrarote Strahlung Hautkrebs auslösen kann. Belastbare Hinweise dafür, dass durch sichtbare und IR-Strahlung karzinogene oder genetische Wirkungen ausgelöst werden, sind aber bisher nicht gefunden worden.

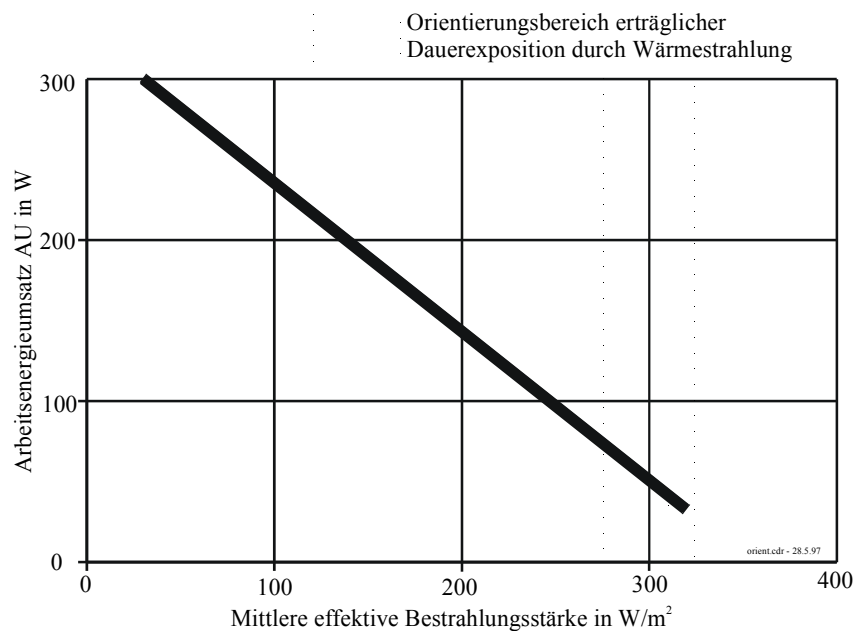


Bild 11: Orientierungsbereiche für die IR-Strahlungsexposition in Abhängigkeit vom Arbeitsenergieumsatz AU nach DIN 33403-3

4.2.2 IR-Einstrahlung auf das Auge

Während sichtbare Strahlung die Netzhaut weitgehend ungeschwächt erreicht, ergibt sich durch den gallertartigen Glaskörper und die davorliegenden Augenteile, die alle einen hohen Wassergehalt aufweisen, im IR-Bereich eine stärkere, wellenlängenabhängige Schwächung. Durch die Hornhaut kommt nur ein kleiner Anteil von Strahlung, die langwelliger ist als 2 000 nm. Die vordere Augenkammer absorbiert alle Strahlung über 2 000 nm. Die Iris absorbiert weitgehend alle infrarote Strahlung. Durch Linse und Glaskörper werden alle Wellenlängen größer 1 400 nm herausgefiltert (siehe Bild 9 und die schematische Darstellung in Bild 12). Auf die Retina (Netzhaut) kann im Wesentlichen Strahlung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1 400 nm fallen. Die Energie der Infrarotstrahlung, die das Auge absorbiert, wird in Wärme umgewandelt.

Wegen der Absorption im vorderen Teil des Auges kann es, insbesondere in der Augenlinse, zu Schädigungen durch IR-Strahlung kommen. Zwar ist auch eine Schädigung der Hornhaut möglich; wegen der Schmerzempfindung bei Einwirkung von so

intensiver Strahlung wird das Auge aber normalerweise reflexartig geschlossen, so dass in der Praxis Hornhautschädigungen selten beobachtet werden.

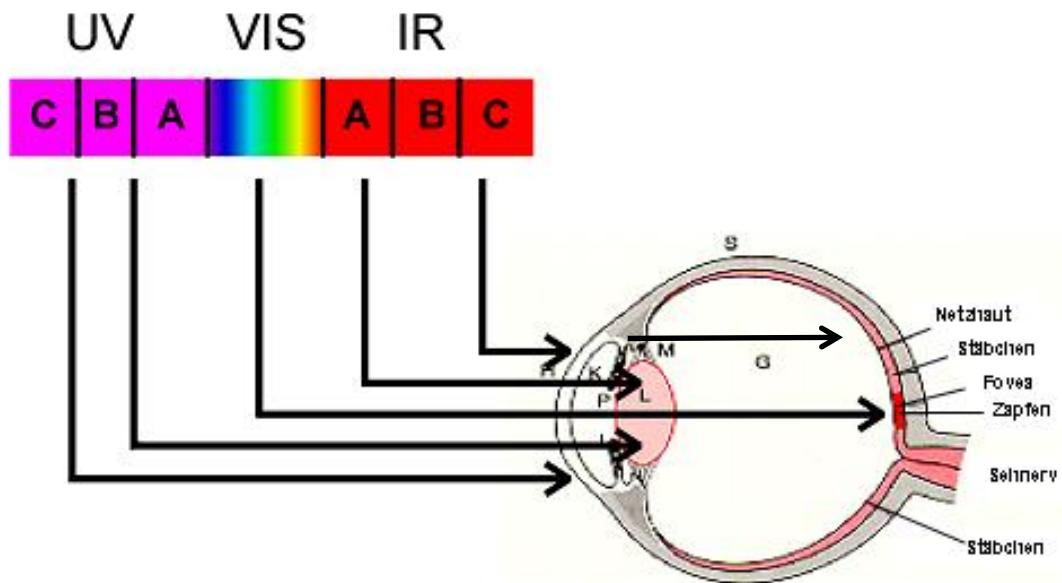


Bild 12: Schnitt durch das menschliche Auge und schematische Darstellung der Eindringtiefe von Strahlung verschiedener Wellenlängenbereiche (S: Sklera, G: Glaskörper, L: Linse, M: Ziliarmuskel, P: Pupille, K: vordere Augenkammer)

4.2.2.1 Kurzzeitige IR-Strahleneinwirkung auf das Auge

Bei Absorption sehr intensiver IR-Strahlung in der Linse wird deren Temperatur erhöht, was zu einer Trübung der Linse führen kann. Dieses kann auch durch Wärmeenergie ausgelöst werden, die nach Strahlenabsorption in Iris, Hornhaut oder vorderer Augenkammer über Wärmeleitung in die Linse gelangt (Vos u. a.). In der Literatur sind Werte zwischen 1 kW/m^2 und 4 kW/m^2 für die Bestrahlungsstärke genannt, die bei kurzzeitiger Einwirkung unmittelbar zu einer Trübung der Linse führen. Solche Werte sind meist Ergebnisse von Tierversuchen. In der Praxis kommt es, außer bei Lasern und LEDs, kaum vor, dass solch hohe Bestrahlungsstärken unbemerkt auf ein ungeschütztes menschliches Auge einwirken. Die in Frage kommenden Strahlungsquellen sind in der Regel Breitbandquellen, die auch intensiv im sichtbaren Bereich emittieren. Wegen der Blendwirkung und Hitzeeinwirkung geschieht der beabsichtigte Blick in solche intensiven Strahlungsquellen praktisch immer mit geschützten Augen. Eine unmittelbare Trübung der Augenlinse durch IR-Einwirkung ist daher sehr unwahrscheinlich. Nur bei Infrarot-Strahlungsquellen ohne wesentlichen sichtbaren Anteil (z. B. IR-LED) besteht die Möglichkeit erhöhter Exposition im IR-A-Bereich, und zwar insbesondere auch wegen der dadurch längeren Expositionsdauer.

4.2.2.2 Langandauernde IR-Strahleneinwirkung auf das Auge

Auch eine langzeitige schwache IR-Strahlungseinwirkung kann zu einer Trübung der Augenlinse (Katarakt) führen. Diese Erkrankung wird als Feuerstar oder Glasbläserstar bezeichnet und trat früher häufiger als heute bei Arbeiten in Metallschmelzen und in Glasbläsereien auf. Die erforderlichen Einwirkungszeiten liegen im Bereich von 10 bis 30 Jahren. Die Trübung beginnt am hinteren Pol der Augenlinse (Bild 12) und breitet sich von dort zu den Seiten hin aus. Der genaue Wirkungsmechanismus ist bis heute umstritten. Möglicherweise wird durch die Strahleneinwirkung die Genese der Linsenzellen gestört, so dass die wachsenden Zellen nicht mehr durchsichtig sind. Ob dies durch Temperaturerhöhung oder einen anderen Mechanismus verursacht wird, ist unklar.

Es hat eine Reihe von Untersuchungen gegeben, um die Bestrahlung (Bestrahlungsstärke mal Einwirkungsdauer) zu ermitteln, die zu einer solchen Erkrankung führen kann. Naturgemäß ist es aber schwierig, bei Einwirkungszeiten im Bereich von Jahrzehnten, genaue Zahlenwerte zu ermitteln. Bei Einhaltung des Expositionsgrenzwertes für IR-Bestrahlung von 100 W/m^2 wird eine Kataraktbildung nach langjähriger Einwirkung nach heutiger Kenntnis vermieden. Beim Tragen von Kontaktlinsen in der Nähe von starken Infrarot-Quellen kann es zu Reizungen der Bindehaut durch Austrocknung der Tränenflüssigkeit kommen. Meldungen, wonach Kontaktlinsen durch Strahlungseinwirkungen mit der Hornhaut verkleben können und bei deren Herausnehmen die Hornhaut mit abgezogen werden kann, haben sich nicht bestätigt.

4.3 Indirekte Wirkungen

Über indirekte Wirkungen von Licht und IR-Strahlung ist nicht sehr viel bekannt. Viele Quellen infraroter Strahlung sind auch sehr heiß und können daher Verbrennungen hervorrufen oder entzündliche Gemische zur Explosion bringen.

Bei offenen Flammen und Schmelzen muss immer mit giftigen Dämpfen oder Gasen gerechnet werden, beim Schweißen z. B. mit NO_x .

Es ist bekannt, dass durch gleichzeitige Einwirkung von IR- und UV-Strahlung die Schwelle für das Auftreten eines UV-Erythems und einer Katarakt gesenkt wird.

Die Blendwirkung bei hohen Bestrahlungsstärken durch Lichtquellen kann Unfälle verursachen. Dies gilt insbesondere für den Straßenverkehr, aber auch an entsprechenden Arbeitsplätzen.

Zu den durch Blendung besonders gefährdeten Tätigkeiten gehören alle diejenigen, bei denen ein an Schienen oder nicht an Schienen gebundenes Landfahrzeug (z. B. Bahn, Auto) gelenkt bzw. gesteuert wird. Darüber hinaus kann dies beim Bedienen einer Maschine, bei Wartungs- und Servicearbeiten usw. zutreffen und sollte entsprechend Berücksichtigung finden.

5 Grenzwerte

5.1 Expositionsgrenzwert

5.1.1 Expositionsgrenzwerte für das Auge

Für den Bereich Licht und Infrarotstrahlung gibt es seit 2010 in Deutschland die Verordnung zum Schutz der Beschäftigten durch künstliche optische Strahlung, kurz OStrV (BGBl. I S. 960). Dies ist die nahezu direkte Umsetzung der EU-Richtlinie 2006/25/EG vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch künstliche optische Strahlung. Die bisher für einige Teilbereiche der optischen Strahlung (Laser, UV-Strahlung) geltenden Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaft und Normen, in denen Grenzwerte festgelegt waren, werden durch diese gesetzliche Regelung der OStrV abgelöst. Die zugehörigen Technischen Regeln für inkohärente und kohärente Strahlung, die die Anwendung der OStrV erleichtern sollen, sind zurzeit noch in der Vorbereitung. Expositionsgrenzwerte die durch das in Kraft tretende der OStrV in Deutschland für inkohärente optische Strahlung gelten sind der zugehörigen EU-Richtlinie zu entnehmen und sind hier in Tabelle 4 für den sichtbaren und infraroten Spektralbereich zusammengestellt.

Die Expositionsgrenzwerte in der EU-Richtlinie 2006/25/EG beruhen auf Empfehlungen der ICNIRP. Bei der Bewertung der Grenzwerte ist zu beachten, dass sie nicht als scharfe Trennlinie zwischen "sicher" und "unsicher" anzusehen sind.

Tabelle 4 enthält die gültigen Expositionsgrenzwerte für das Auge nach der EU-Richtlinie 2006/25/EG. In der ersten Spalte ist der jeweilige Wellenlängenbereich angegeben, in der zweiten Spalte die zugehörige Größe des Expositionsgrenzwerts mit der entsprechenden Formel, wie diese Größe zu bestimmen ist. In der dritten Spalte finden sich zugehörige Anmerkungen, unter welchen Bedingungen der Grenzwert und die Formel anzuwenden sind und in der vierten Spalte befindet sich, welcher Part des Auges vom Wellenlängenbereich betroffen ist. Bei den Expositionsgrenzwerten ist ebenfalls der sog. Sehwinkel (Winkelausdehnung) der optischen Quellen mit zu berücksichtigen.

Daneben gibt es weitere Aktivitäten auf dem Gebiet der Grenzwerte für inkohärente optische Strahlung. Von der American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) werden jährlich aktualisierte Grenzwertsätze veröffentlicht. Von der International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) wurden Richtwerte in Health Physics veröffentlicht, ebenso liegt ein neuer Entwurf der ICNIRP für eine Empfehlung für inkohärente Strahlung von 380 nm bis 3000 nm vor.

Tabelle 4: Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung für das Auge gemäß Tabelle 1.1 der EG-Richtlinie 2006/25/EG bzw. nach der Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (OStrV).

Wellenlänge/nm	Expositionsgrenzwert	Anmerkung	Körperteil
300 — 700 (Blaulicht)	$L_B = \frac{1 \cdot 10^6}{t} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr}}$ bei $t \leq 10\,000 \text{ s}$	bei $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$	Auge Netzhaut
	$L_B = 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr}}$ bei $t > 10\,000 \text{ s}$		
	$E_B = \frac{100}{t} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ bei $t \leq 10\,000 \text{ s}$	bei $\alpha < 11 \text{ mrad}$ siehe Anmerkung 2	
	$E_B = 0,01 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ bei $t > 10\,000 \text{ s}$		
380 – 1400 (sichtbar und IR-A)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr}}$ bei $t > 10 \text{ s}$	$C_\alpha = 1,7$ bei $\alpha \leq 1,7 \text{ mrad}$ $C_\alpha = \alpha$ bei $1,7 \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$	

	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$ <p>bei $10 \mu s \leq t \leq 10\,000\ s$</p>	$C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100\ mrad$ $\lambda_1 = 380\ nm$ und $\lambda_2 = 1400\ nm$	
	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$ <p>bei $t < 10 \mu s$</p>		
780 – 1400 (IR-A)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$ <p>bei $t > 10\ s$</p>	$C_\alpha = 11$ bei $\alpha \leq 11\ mrad$ $C_\alpha = \alpha$ bei $11 \leq \alpha \leq 100\ mrad$	Auge Netzhaut
	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$ <p>bei $10 \mu s \leq t \leq 10\,000\ s$</p>	$C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100\ mrad$ (Messgesichtsfeld: 11 mrad)	
	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$ <p>bei $t < 10 \mu s$</p>	$\lambda_1 = 780\ nm$ und $\lambda_2 = 1400\ nm$	
780 – 3.000 (IR-A und IR-B)	$E_{IR} = 18.000 \cdot t^{-0,75} \frac{W}{m^2}$ <p>bei $t \leq 1.000\ s$</p>		Auge Hornhaut Linse

	$E_{IR} = 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ gemäß BGI 5006: $H_{IR} = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ bei $t > 1.000 \text{ s}$		
380 – 3.000 (sichtbar, IR-A und IR-B)	$H_{skin} = 20.000 \cdot t^{0,25} \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$ bei $t < 10 \text{ s}$		Haut

Anmerkung 1:

Der Bereich von 300 nm bis 700 nm deckt den Teil der UV-B-Strahlung, die gesamte UV-A-Strahlung und den größten Teil der sichtbaren Strahlung ab; damit verbundene Gefährdung wird gemeinhin als Gefährdung durch „Blaulicht“ bezeichnet. Blaulicht deckt jedoch streng genommen nur den Bereich von ca. 400 nm bis 490 nm ab.

Anmerkung 2:

Bei stetiger Fixierung von sehr kleinen Quellen mit einer Winkelausdehnung von weniger als 11 mrad kann L_B in E_B umgewandelt werden. Dies ist normalerweise nur bei ophthalmischen Instrumenten oder einer Augenstabilisierung während einer Betäubung der Fall. Die maximale „Starrzeit“ errechnet sich anhand der Formel $t_{\max} = 100/E_B$ in $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ausgedrückt wird. Wegen der Augenbewegung bei normalen visuellen Anforderungen werden 100 s hierbei nicht überschritten.

Bezeichnungen:

- E_B : effektive Bestrahlungsstärke (Blaulicht): berechnete Bestrahlungsstärke, spektral gewichtet mit $B(\lambda)$, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter [$W \cdot m^{-2}$]
- E_{IR} : Gesamtbestrahlungsstärke (thermische Schädigung): berechnete Bestrahlungsstärke im infraroten Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter [$W \cdot m^{-2}$]
- H_{IR} : Bestrahlung für den infraroten Wellenlängenbereich von 780 nm bis 1 mm nach BGI 5006, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter [$J \cdot m^{-2}$]
- H_{skin} : Bestrahlung: das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit und die Wellenlänge oder die Summe der Bestrahlungsstärke im sichtbaren und Infrarot-Wellenlängenbereich von 380 nm bis 3000 nm, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter [$J \cdot m^{-2}$]
- L_B : effektive Strahldichte (Blaulicht): berechnete Strahldichte, spektral gewichtet mit $B(\lambda)$, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$]
- L_R : effektive Strahldichte (thermische Schädigung): berechnete Strahldichte, spektral gewichtet mit $R(\lambda)$, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$]

5.1.2 Expositionsgrenzwerte für die Haut

Zum Schutz der Haut, als Vorbeugung vor Verbrennung wurden in der EU-Richtlinie 2006/25/EG Expositionsgrenzwerte definiert, die durch das in Kraft treten der OStrV Anwendung im deutschen Arbeitsschutz finden. In

Tabelle 5 ist der nach OStrV gültige Expositionsgrenzwert für die Haut von 380 nm bis 3000 nm für Expositionszeiten unter 10 s angeführt.

Dieser Grenzwert soll vor Verbrennungen schützen. Für längere Zeiten als 10 s ist kein Grenzwert festgelegt. Der Grund dafür ist, dass natürliche Abwendungsreaktionen gegen eine zu hohe langdauernde Bestrahlung schützen sollen. Dies ist aber bei einigen Arbeitsplätzen in der Praxis häufig nicht möglich. Daher wird in Abschnitt 5.2 auf ein mögliches weiteres Vorgehen bei Expositionen über 10 s eingegangen.

Tabelle 5: Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung für die Haut gemäß Tabelle 1.1 der EG-Richtlinie 2006/25/EG bzw. nach der Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung.

Wellenlänge/nm	Expositionsgrenzwert	Körperteil
380 — 3000 (sichtbare, IR-A und IR-B)	$H_{skin} = 20.000 \cdot t^{0,25} \frac{J}{m^2}$ <p>gemäß BGI 5006</p> $H_{skin} = 18.000 \cdot t^{0,25} \frac{J}{m^2}$ <p>bei $t < 10$ s</p>	Haut

5.2 Empfehlungen bei fehlenden Grenzwerten

Die Grenzwerte der EU-Richtlinie 2006/25/EG und damit auch die der deutschen Umsetzung der EU-Richtlinie, die OStrV, basieren auf den Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP). Diese Grenzwerteempfehlungen weisen jedoch Lücken auf. So sind für den Spektralbereich von 380 nm bis 3000 nm keine Expositionsgrenzwerte für die Haut definiert, die über 10 s hinausgehen. Vor allem in der Industrie, wie z. B. der Metallverarbeitung oder der Glasverarbeitung, kann es zu verstärkten Erwärmungen der Haut bis hin zu Verbrennungen durch hohe Wärmestrahlungsexpositionen kommen. Hier haben die Beschäftigten häufig nicht die Möglichkeit der Exposition auszuweichen.

Um diese Lücken zu schließen, wurde vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) ein neues Berechnungsmodell entwickelt, das sich bemüht, die Lücken der Grenzwerte zu schließen.

Für diese Fragen kann auch die DIN 33 403-3 zur Hilfe genommen werden. Sie gibt (siehe Bild 10) diejenige Bestrahlungsstärke an, die nach einer bestimmten Einwirkzeit zu einer Schmerzempfindung und danach zu einer Verbrennung führt (siehe auch Abschnitt 4.2.1.1).

Das IFA kombiniert die EU-Grenzwerte und die DIN 33 403-3 so, dass zwischen 1 s und 10 s die EU-Grenzwerte eingehalten werden und ab 10 s bis 1000 s eine Annäherung an die Werte aus DIN 33 403-3 erfolgt (IFA, Januar 2011).

Tabelle 6: EU-Expositionsgrenzwert und IFA-Empfehlung zum Schutz der Haut vor Verbrennung durch Wärmestrahlung. (IFA, Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Haut vor Verbrennungen durch Wärmestrahlung, Januar 2011)

Wellenlänge/nm	Expositionsgrenzwert	Einheit	Körperteil/ Gefährdung	Quelle
380 — 20000 (sichtbare, IR-A und IR-B)	$E_{skin} = 20.000 \cdot t^{-0,75}$ bei $t < 10$ s	E: [W/m ²] t: [s]	Haut/ Verbren- nungen	Tabelle 1.1, Kennbuchstabe o. der EU- Richtlinie 2006/25/EG, umgerechnet in E_{skin} , ausgeweitet bis 20000 nm Wellenlänge
380 — 20000 (sichtbare, IR-A und IR-B)	$E_{skin} = 7.700 \cdot t^{-0,34}$ Bei 10 s $\leq t < 1000$ s	E: [W/m ²] t: [s]	Haut/ Verbren- nungen	IFA- Empfehlung

5.3 Emissionsgrenzwerte

Der Begriff Emissionsgrenzwerte wird im Zusammenhang mit der EU-Richtlinie 2006/25/EG und somit auch der OStrV häufig verwendet, daher soll in diesem Abschnitt auf den Unterschied zu den Expositionsgrenzwerten näher eingegangen werden. Grenzwerte für die zugängliche Emission werden von Herstellern zur Sicherheitsklassifizierung von Produkten herangezogen, indem eine Einteilung z. B. bei Leuchtmitteln in sogenannte Risikogruppen vorgenommen wird. Wenn bei der Gefährdungsbeurteilung Daten der Emission aus den Normen verwendet werden, ist zu überprüfen, ob die Arbeitsbedingungen mit den in der Norm angesetzten Bedingungen kompatibel sind. Dies ist z. B. bei Arbeiten, die näher an Lampen vorgenommen werden, als durch die Norm vorgesehen, der Fall.

Sicherheitsklassifizierung von Produkten

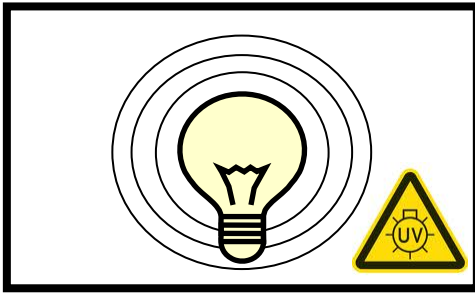
Auf Basis der Expositionsgrenzwerte ist eine flexible, den lokalen Gegebenheiten anpassbare (Abstand, Dauer) Gefährdungsanalyse möglich. Es ist in jedem Fall sicherzustellen, dass die angeführten Grenzwerte nicht überschritten werden. Derartige Bewertungen können allerdings recht aufwendig und komplex werden. In der Regel werden jedoch kommerziell erworbene optische Strahlungsquellen oder entsprechende Arbeitsmittel verwendet. Hersteller oder Inverkehrbringer dürfen diese 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 (ProdSG, bisher GPSG). Konformität mit dieser allgemeinen Anforderung kann vermutet werden, wenn entsprechende „harmonisierte“ und „gelistete“ Produktsicherheitsnormen angewendet werden. Solche Normen gibt es für verschiedene Produktgruppen auch zum optischen Strahlenschutz, s. Tabelle 7.

Tabelle 7: Produktgruppen, für die harmonisierte und gelistete Normen zur optischen Strahlungssicherheit existieren

Produktgruppen die optische Strahlung emittieren	Harmonisierte Normen zur Produktsicherheit bzgl. optischer Strahlung – gelistet unter:	
	Maschinen- RL	Niederspannungs- RL
Lasereinrichtungen allgemein		EN 60825-1
Lasereinrichtungen für die Materialbearbeitung allg.	EN ISO 11553-1	EN 60825-4
Handgeführte Laserbearbeitungsgeräte	EN ISO 11553-2	
Laser und LED in der Lichtwellenleitertechnik		EN 60825-2
Laser in der Freiraum-Datenübertragung		EN 60825-12
Strahlungsemissionen von Maschinen (auch optisch)	EN 12198	
Lampen und Lampensysteme		EN 62471

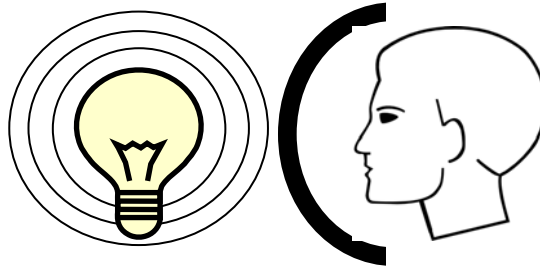
Da beim Hersteller von Produkten, die optische Strahlung abgeben, die zukünftigen Expositionsbedingungen zumeist unbekannt sind, erfolgt gemäß den anzuwendenden Normen eine Bewertung der vom Produkt ausgehenden zugänglichen Emission – schematisch s. Bild 13.

Klassifizierung der Emission durch den Gerätehersteller



z. B. durch eine Einhausung:
Klassifizierung auf Basis der
zugänglichen Strahlung

Kontrolle der Exposition von Beschäftigten



z. B. durch **t**echnische (z. B. Ab-
schirmung), **o**rganisatorische oder
persönliche Schutzmaßnahmen

Bild 13: Schematische Darstellung der Klassifizierung der Emission und Exposition

Die OStrV verlangt die Kontrolle der Exposition (Bild 13 rechts) und die Einhaltung entsprechender Expositionsgrenzwerte – gegebenenfalls durch zu ergreifende (hierarchisch gestaffelte) Schutzmaßnahmen. Im Gegensatz dazu sind Produktsicherheitsnormen auf eine Klassifizierung der Emission ausgelegt (Bild 13 links). 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.

Die Grenzwerte der zugänglichen Emission leiten sich direkt von den Expositionsgrenzwerten her. Sie sind klassenweise gestaffelt (aufsteigende Nummer – aufsteigende Gefährdung), wobei zumeist jeder Klasse eine bestimmte Sicherheitsphilosophie zugrunde liegt. Hierin sind alle oben genannten Normen grundsätzlich gleich. In der konkreten Auslegung bzw. der zugrunde gelegten Sicherheitsphilosophie können die Normen allerdings deutlich voneinander abweichen.

Tabelle 8 gibt eine Grobzuordnung der in den Produktnormen für optische Strahlungsquellen (Tab. 7) verwendeten Klassen und Sicherheitsphilosophien.

Augenfällig ist, dass inkohärente Quellen nach der Maschinenrichtlinie nur in drei Emissionskategorien sortiert werden. Diese entsprechen maximalen Expositionsdauern von 24, 8 und kleiner 8 Stunden. Die Lasernorm hingegen unterscheidet scheinbar sieben bzw. acht Klassen. Grund für diese starke Differenzierung ist, dass wegen der spezifischen Eigenschaften der Laserstrahlung im Sinne der Worst-Case-Betrachtung noch die Wirkung von optischen Instrumenten berücksichtigt wird. Reduziert auf den Blick mit „unbewaffnetem Auge“, sind zumindest die wohl am häufigsten anzuwendenden Normen EN 60825 (Laser) und EN 62471 (Lampen) in Klassenstruktur und Sicherheitsphilosophie weitgehend identisch. Die Emissionsgrenzwerte der einzelnen Klassen werden aus den in Tab. 4 angegebenen Expositionsgrenzwerten entsprechend der zugrunde gelegten Sicherheitsphilosophien hergeleitet. Für Blaulichtgefahr nach Tab. 4 ergibt sich beispielsweise für die Kategorie „unter allen Umständen sicher“ für maximale

Expositionsdauer ($t > 10000 \text{ s}$) der minimale Emissionsgrenzwert von $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$ in Risikogruppe 0. Für Risikogruppe 2 wird in diesem Fall eine durch Abwendungsreaktionen auf $0,25 \text{ s}$ begrenzte Expositionsdauer angesetzt und (als t) in die entsprechende Formel in Tabelle 4 eingesetzt, was in dieser Gruppe zu einem Blaulicht-Emissionsgrenzwert von $4 \cdot 10^6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$ führt.

Tabelle 8: Grobzuordnung von optischen Strahlungsquellen in Produktnormen

Lasereinrichtungen EN 60825-Reihe Laser in Maschinen EN ISO 11553-1 EN ISO 11553-2	Lampen und Lampensysteme, LED (elektrisch betriebene optische Strahlungsquellen) EN 62471	inkohärente optische Strahlungs- emissionen aus Maschinen EN 12198	Sicherheits- philosophie
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 Abwendungs- reaktionen bzw. auf kurzzeitiger Exposition
Laserklasse 2M			
Laserklasse 3R	Risikogruppe 3	Kategorie 2	potenziell gefährlich: Schutz- maßnahmen
Laserklasse 3B			
Laserklasse 4			

**: erweiterte Zeitbasis für Klasse 1 wenn absichtliche und langzeitige Beobachtung erforderlich (entspr. EN 60825-1, §8.3 e) 3))*

Auf diese Weise wurden z. B. in IEC 62471 die Emissionsgrenzwerte der einzelnen Gefährdungen sowie Risikogruppen festgelegt, s. Tabelle 9.

Tabelle 9: Emissionsgrenzwerte und Risikogruppen (aus EN 62471 bzw. DIN EN 62471)

Risiko	Wirkungsspektrum	Symbol	Grenzwerte der zugänglichen Emission			Einheit
			RG0	RG 1	RG 2	
Actinic UV	S(λ)	E _S	0,001 (30000 s)	0,003 (10000 s)	0,3 (1000 s)	W/m ²
Near UV		E _{UVA}	10 (1000 s)	33 (300 s)	100 (100 s)	W/m ²
Retinal Thermal	R(λ)	L _R	2,8x10 ⁴ / α (10 s)	2,8x10 ⁴ / α (10 s)	7,1x10 ⁴ / α (0,25 s)	W/(m ² ·sr)
Blue Light	B(λ)	L _B	100 (10000 s)	1x10 ⁴ (100 s)	4x10 ⁶ (0,25 s)	W/(m ² ·sr)
Blue Light small source	B(λ)	E _B	1 (10000 s)	1 (100 s)	400 (0,25 s)	W/m ²
Cornea/Lens IR		E _{IR}	100 (1000 s)	570 (100 s)	3200 (10 s)	W/m ²
Retinal IR, weak visual stimulus	R(λ)	L _{IR}	6000/ α (1000 s)	6000/ α (100 s)	6000/ α (10 s)	W/(m ² ·sr)

Bewertungsvorschriften

Für die Klassifizierung, d.h. den Vergleich mit den Emissionsgrenzwerten, sind in den betreffenden Normen die Messverfahren zur Ermittlung der zugänglichen Emission fest vorgegeben. Diesen liegen auch Annahmen bezüglich der späteren Nutzungsumstände zugrunde. Der Durchmesser der anzuwendenden Messblende entspricht z. B. allgemein der maximalen Pupillenöffnung (7 mm Durchmesser) und für die Messposition wird ein minimaler (Akkommodations-) Abstand zugrunde gelegt. (In der Lasersicherheit wird dabei z. T. noch die Wirkung von optischen Instrumenten berücksichtigt.)

In der Kombination ergibt sich z. B. für eine inkohärente optische Strahlungsquelle der Risikogruppe 0 (Tabelle 9), dass man in diese über den gesamten Arbeitstag von 8 Stunden direkt aus dem gefährlichsten/geringsten Betrachtungsabstand von 200 mm mit max. Pupillenöffnung „starren“ dürfte. Dies ist wohl in den seltensten Fällen realistisch und weist auf die Randbedingungen bei der Übertragung solcher Herstellerangaben auf reale Expositionsszenarien hin.

Für die Bewertung von Expositionsszenarien auf Basis der Herstelleraussagen ist es jedenfalls am einfachsten, wenn Produkte und Arbeitsmittel verwendet werden, die vom Hersteller der Rubrik „unter allen Umständen sicher“ zugeordnet wurden. Wie sich ebenfalls andeutet, ist dies u. U. mit sehr restriktiven Grenzwerten verbunden und wohl prinzipiell in den seltensten Fällen realistisch. Am kritischsten sind natürlich die Produkte und Arbeitsmittel, die herstellerseitig den höchsten Kategorien zugeordnet wurden, weil hier im Extremfall die Expositionsgrenzwerte definitiv überschritten werden können. Entgegen dem Anschein bedeutet allerdings eine hohe Klasse/Risikogruppe nicht gleichzeitig „immer gefährlich“. Insbesondere bei inkohärenten optischen Strahlungsquellen müssen auch frei betriebene höher

klassifizierte Einrichtungen im realen Anwendungsfall nicht gefährlich sein.

Im Gegensatz zur meist kollimierten Laserstrahlung, wo die Leistungsdichte im Strahl über große Entfernungen quasi unverändert bleibt, ist die Strahlung von Lampen, Leuchten und LED zumeist divergent – die Leistungsdichte verringert sich also stark mit dem Quellenabstand und damit auch die tatsächliche Gefährdung unter den meisten Anwendungsbedingungen. Anders als bei kollimierter Laserstrahlung spiegelt die im ungünstigsten Abstand ermittelte Risikogruppe oder Kategorie einer Quelle die Gefährdung im Realfall meist nicht mehr wider. Geht man z. B. von den Grenzwerten der Risikogruppe 2 nach EN 62471 aus, werden in vielen Fällen (mit Einschränkungen bei dominierender Blaulichtgefährdung) im Abstand von ca. 0,5 m bereits die Konditionen für Risikogruppe 1 erreicht. In derartigen Fällen bleibt es (im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung) zu prüfen, ob es 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 begrenzt aussagefähig. Dann können sich die Einwirkungen u. U. addieren. Dies gilt insbesondere für Gefährdungen, die in Bestrahlungsstärken definiert sind (s. Tabelle 4).

5.4 Grenzwerte in der Schweiz

Die Grenzwerte für fotochemische und thermische Schädigungen der Netzhaut sowie für thermische Schädigung der Augenhornhaut und der Haut für sichtbare Strahlung und Infrarot sind zurzeit im Dokument Suva 1903.d „Grenzwerte am Arbeitsplatz“ noch nicht aufgeführt. Das Dokument wird regelmäßig aktualisiert. Eine künftige Fassung wird die entsprechenden Expositionsgrenzwerte der Richtlinie 2006/25/EG, die Grenzwertempfehlungen der ACGIH sowie die ICNIRP-Empfehlungen berücksichtigen.

6 Messung von sichtbarer und infraroter Strahlung

In Abhängigkeit von der jeweiligen Gefährdung, die untersucht werden soll und von den anzuwendenden Grenzwerten, ist die Strahldichte bzw. die Bestrahlungsstärke entweder spektral aufgelöst oder integral in einem vorgegebenen Wellenlängenbereich zu messen:

- a) Im Wellenlängenbereich zwischen 300 nm und 1 400 nm muss die spektrale Strahldichte der Quelle gemessen werden. Daher sind in diesem Spektralbereich Messgeräte erforderlich, die spektral aufgelöst messen, sogenannte Spektroradiometer. Es gibt auch integral messende Systeme, die die jeweiligen Bewertungsfunktionen mit Filtern nachbilden. Allerdings haben diese meist eine größere Messunsicherheit.
- b) Ferner muss auch die Winkelausdehnung der Quelle vom Ort des Beschäf-

tigten aus gemessen werden, um den Faktor C_α bestimmen zu können.

c) Für die Beurteilung von chronischen IR-Expositionen der Augen im Wellenlängenbereich 780 nm bis 3 000 nm sind integral messende Messgeräte für die Bestrahlungsstärke erforderlich. Die Geräte müssen eine konstante spektrale Empfindlichkeit haben, d. h. sie müssen unselektiv sein. Die Begrenzung des Wellenlängenbereiches wird durch eine Kombination mit geeigneten optischen Filtern erreicht (Durch Differenzbildung der Messergebnisse mit verschiedenen Filterkombinationen lassen sich Messungen in unterschiedlichen Bereichen realisieren). Meist ist es jedoch einfacher, einen breitbandigen Empfänger zu verwenden (z. B. Thermoelemente, Bolometer oder pyroelektrische Empfänger) und den Spektralbereich zum Kurzwelligen hin mit einem Kantenfilter einzuengen, z. B. mit einem RG 780 und beim Messsignal entsprechend zu kalibrieren.

d) Will man bei Fragen der Hautverbrennung die gesamte Strahlungsbelastung bewerten, so sind für die Messung integral messende, unselektive Systeme für einen großen Wellenlängenbereich ausreichend, die man am besten ganz ohne Filter verwenden sollte.

e) An Hitze Arbeitsplätzen müssen zur Beurteilung des Klimas und zur Festlegung der Erträglichkeitsbereiche (siehe DIN 33403-3) und weiterer Maßnahmen Messungen durchgeführt werden. Hierzu gibt es Messgeräte, die die "effektive" Bestrahlungsstärke als Nettowert der Ein- und Ausstrahlung auf einen oder von einem menschlichen Körper erfassen. Daneben gibt es eine Reihe von Raumklimamessgeräten zur Ermittlung von Klimasummenmaßen, die neben der Strahlungseinwirkung auch die Lufttemperatur, die Luftfeuchte und die Windgeschwindigkeit berücksichtigen.

f) Strahldichtemessungen sind sehr aufwendig und meist mit großen Fehlern behaftet. Man kann sich die Messung dadurch vereinfachen, dass man zunächst nur die Bestrahlungsstärke misst und unter vereinfachenden Annahmen, die zur sicheren Seite gehen, den Strahldichtegrenzwert in einen Bestrahlungsstärkegrenzwert umrechnet. Ist dann dieser Grenzwert unterschritten, dann erspart man sich die Strahldichtemessung.

Eine derartige vereinfachende Annahme wäre, dass der Strahler eine kleine Quelle ist, d. h. dass ihre Ausdehnung vom Betrachter aus gesehen kleiner als 1,5 mrad ist. In diesem Fall errechnet sich der Grenzwert für die Bestrahlungsstärke E aus dem Grenzwert für die Strahldichte L (mit $\Omega = \alpha^2 \cdot \pi / 4$, siehe Bild 2) nach der Formel

$$E = L \cdot \Omega = L \cdot \alpha^2 \cdot \pi / 4, \text{ d. h.}$$

$$E = L \cdot 0,0015^2 \cdot \pi / 4 = L \cdot 1,77 \cdot 10^{-6}$$

7 Schutzmaßnahmen

Für Schutzmaßnahmen gegenüber Einstrahlung sichtbarer und infraroter Strahlung hoher Strahlungsleistung gilt die im Arbeits- und Strahlenschutz übliche Priorität: Man wird zunächst - soweit mit vertretbarem Aufwand möglich - durch technische oder organisatorische Maßnahmen eine Strahlenexposition überhaupt vermeiden. Ein Beispiel ist die Automatisierung im Bereich von Hoch- und Schmelzöfen. Dann kommen Maßnahmen wie Abschirmung, Verringerung der Expositionsdauer und Vergrößerung des Abstandes zur Strahlenquelle. Als letzte Möglichkeit ist der Einsatz persönlicher Schutzausrüstungen anzusehen. Dabei fordert die EU-Richtlinie über persönliche Schutzausrüstungen (89/686/EWG), dass alle persönlichen Schutzausrüstungen mit dem CE-Zeichen versehen sein müssen. Das CE-Zeichen ist weder ein Qualitäts- noch ein Sicherheitszeichen. Es wird auf Grund einer einmaligen Bauartprüfung vergeben und bescheinigt die Übereinstimmung mit den wesentlichen Anforderungen der EU-Richtlinie. Dieses Wort „*wesentlich*“ wird von den Prüf- und Zertifizierungsstellen sehr unterschiedlich interpretiert. Will man daher ein höheres Niveau an Sicherheit und Qualität, sollte man auf persönliche Schutzausrüstungen mit den GS-Zeichen bzw. dem DIN-Prüf- und Überwachungszeichen zurückgreifen.

Weitere Hinweise für die Wahl geeigneter Schutzbrillen enthält z. B. die BG-Regel „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“ (BGR 192).

7.1 Schutz vor sichtbarer Strahlung

Der häufigste Fall, bei dem man sich vor intensiver sichtbarer Strahlung schützen muss, ist das Schweißen. Dabei muss nicht nur das Auge vor einem Schaden geschützt werden, sondern es muss auch die Leuchtdichte des Schweißlichtbogens so weit reduziert werden, dass man den Schweißvorgang blendfrei beobachten kann. Verbunden mit dieser Dämpfung der Strahlung im Sichtbaren sind nach der Norm für Schweißerschutzfilter DIN EN 169 hohe Anforderungen an den UV- und IR-Schutz. Den Schweißerschutzfiltern sind Schutzstufen zwischen 1,4 und 16 zugeordnet, wobei eine höhere Schutzstufennummer einem niedrigeren Lichttransmissionsgrad entspricht. Transmissionskurven typischer Schweißerschutzfilter aus Glas zeigt Bild 14. Man erkennt die sehr gute Absorption der Strahlung im UV und im IR.

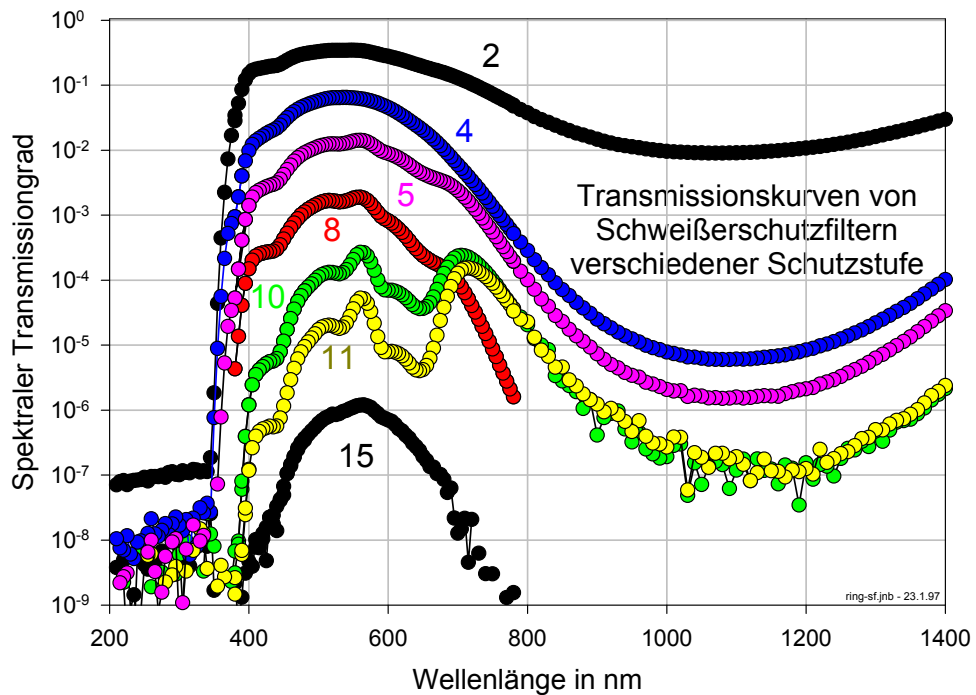


Bild 14: Spektraler Transmissionsgrad von Schweißerschutzfiltern der Schutzstufen 2, 4, 5, 8, 10, 11 und 15.

Neben diesen Schweißerschutzfiltern mit fester Schutzstufe gibt es auch Schweißerschutzfilter, die beim Zünden des Schweißlichtbogens von einem Hellzustand (typische Schutzstufe 4) in einen Dunkelzustand umschalten, der vielfach noch wähl- bzw. einstellbar ist oder sich sogar automatisch an die Helligkeit des Schweißlichtbogens anpasst. Dieses Umschalten erfolgt innerhalb von größenordnungsmäßig 1 ms. Die Anforderungen an diese Filter, auch an die Schaltzeit, sind in DIN EN 379 geregelt. Diese Filter sind sehr zu empfehlen, da dann die Gefahr des „Verblitzens“, die beim Ansetzen der Schweißelektroden durch unvorschriftsmäßiges Vorbeiblicken am Schweißerschild entsteht, vermieden wird.

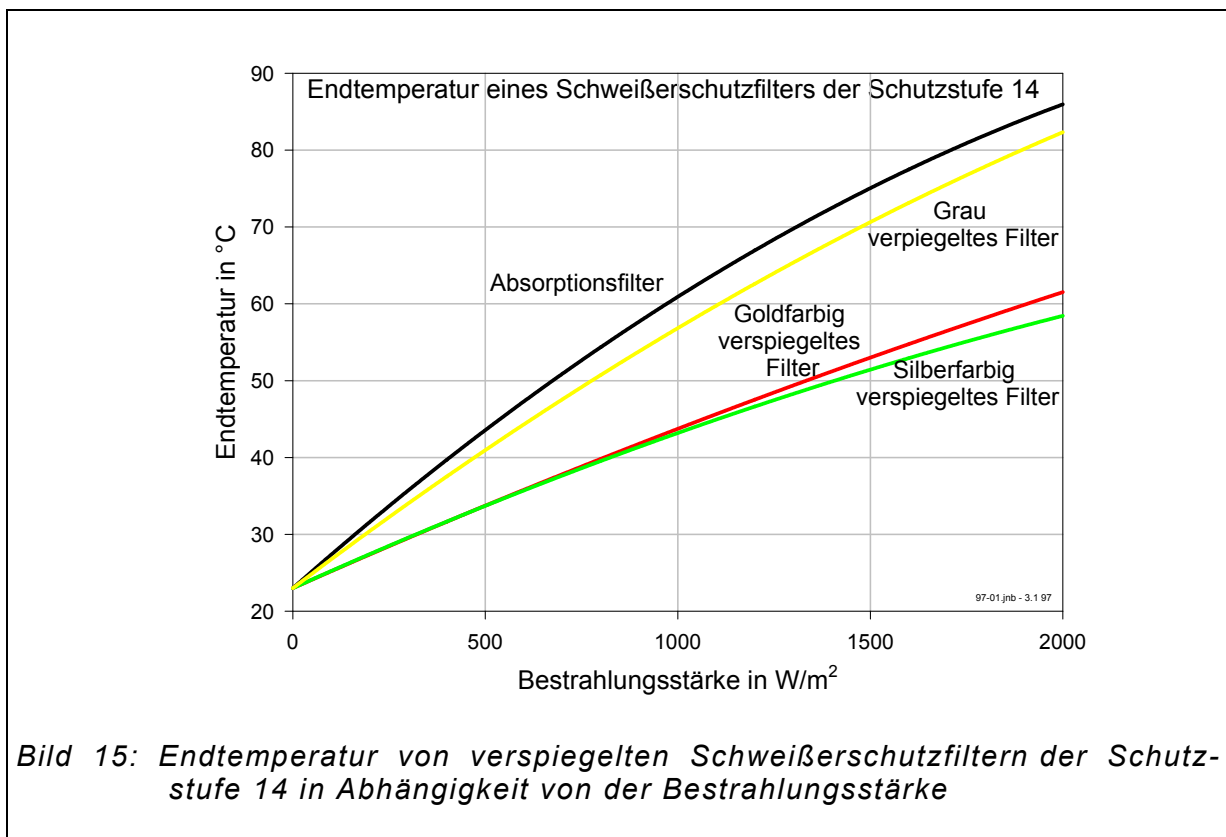
Ist der Blick in einen Strahler sehr hoher Leuchtdichte erforderlich (z. B. eine Xenon- oder eine Quecksilberdampf-Hochdrucklampe), so empfiehlt sich ebenfalls die Verwendung von Schweißerschutzfiltern.

Eine Augengefährdung durch sichtbare Strahlung entsteht auch beim Beobachten einer Sonnenfinsternis. Bei jedem derartigen Ereignis wird regelmäßig über viele Augenverletzungen berichtet. Auch hier empfiehlt sich die Verwendung von Schweißerschutzfiltern, typischerweise der Schutzstufen 12 bis 16 (Sutter 1999).

Eine weitere Schutzvorrichtung zum Schutz vor primär sichtbarer Strahlung sind die so genannten Schweißervorhänge. Diese sind in der DIN EN 1598 geregelt. Sie dienen hauptsächlich dazu, Schweißearbeitsplätze gegeneinander und von Verkehrswegen abzuschirmen. Sie können aber auch dazu verwendet werden,

Arbeitsplätze, an denen nicht geschweißt wird, von denen aber durch helle Lichtquellen Irritationen ausgehen, gegeneinander abzuschirmen.

Bei Schweißverfahren, bei denen ein großer Wärmestrahlungsanteil entsteht und in gleicher Weise bei Schweißverfahren, für die hohe Schutzstufen verwendet werden müssen, empfiehlt es sich, verspiegelte Schweißerschutzfilter einzusetzen. Derartige Filter reflektieren einen hohen Prozentsatz der Infrarotstrahlung und halten die Temperatur des Schweißerschutzfilters daher niedriger (Sutter, Ott). Andernfalls können im Augenbereich durchaus Strahlenbelastungen bis in die Gegend von 100 W/m^2 entstehen. Bild 15 zeigt den Einfluss der Verspiegelung auf die Endtemperatur T von Schweißerschutzfiltern nach mehrminütigem Schweißen. Man erkennt eine deutliche Verminderung der Filtertemperatur. Da die Gesamtstrahlung nach dem *Stefan-Boltzmannschen Gesetz* proportional zu T^4 ist, wirkt sich auch eine geringe Temperaturänderung stark aus. Seit der Ausgabe 2001 der europäischen Norm EN 166 müssen Augenschutzfilter, für die ein erhöhter Reflexionsgrad im Infraroten behauptet wird, zwischen 780 nm und 2 000 nm einen mittleren spektralen Reflexionsgrad von mindestens 60 % aufweisen, so dass Hersteller mit minderwertigen Spiegelschichten („grau verspiegelt“ in Bild 15) nicht mehr mit der Verspiegelung werben dürfen. Ist die Reflexionsanforderung erfüllt, wird dies durch ein „R“ im Kennzeichen ausgedrückt.



Auch die Sonne ist eine intensive Strahlungsquelle. Bei längeren Arbeiten im Freien ist für ausreichenden Schutz (Schutzbrille, Kopfbedeckung, geeignete Bekleidung) zu sorgen (nähere Angaben siehe Leitfaden „Sonnenstrahlung“).

7.2 Schutz vor infraroter Strahlung

Infrarotschutz wird hauptsächlich bei thermischen Strahlern relativ niedriger Temperatur erforderlich. Anforderungen an Augenschutzfilter für diese Anwendung sind in DIN EN 171 festgelegt. Auch hier kann die Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen vielfach durch apparative Schutzmaßnahmen ersetzt werden, z. B. durch Sichtschuttscheiben an den jeweiligen Arbeitsplätzen.

Häufig werden als Schutzscheiben gegen IR-Strahlung Schweißerschutzfilter eingesetzt. Wie aus Bild 14 hervorgeht, haben manche (aber nicht alle) Schweißerschutzfilter eine hohe Absorption im Infraroten. Trotzdem kann diese Lösung ungeeignet sein. Besser ist der Einsatz von IR-Schutzfiltern nach Norm. Die Norm gibt dabei (siehe Tabelle 10) die für die jeweilige Strahlertemperatur geeignete Schutzstufe an.

Tabelle 10: Bezeichnung und typische Anwendung von Infrarotschutzfiltern

Schutzstufe	Typische Anwendung bei der mittleren Temperatur der Strahlungsquelle °C
4 – 1,2	bis 1050
4 – 1,4	1070
4 – 1,7	1090
4 – 2	1110
4 – 2,5	1150
4 – 3	1190
4 – 4	1290
4 – 5	1390
4 – 6	1510
4 – 7	1650
4 – 8	1810
4 – 9	1990
4 – 10	2220

Die Bemerkung hinsichtlich der Temperaturerhöhung von Schweißerschutzfiltern gilt hier in besonderem Maße: bei sehr intensiven, insbesondere großflächigen IR-Strahlern kann die Erwärmung normaler Schutzscheiben durch Strahlungsabsorption so stark werden, dass reflektierende Beschichtungen verwendet werden müssen (siehe Bild 15).

Schweißerschutzfilter sind meist grün, IR-Schutzfilter meist blau. Eine derartige Eigenfarbe kann das Erkennen von Farben im Umfeld erschweren. Wo eine gute Farberkennung notwendig ist, z. B. bei kunstgewerblichen Glasbläserarbeiten, sind weitgehend farblose Schutzfilter wünschenswert. Diese Forderung wird z. B. weitestgehend sowohl von infrarotabsorbierenden Gläsern der Typen Schott KG 3 und KG 5 erfüllt, als auch von Gläsern, die mit so genannten „Hitzespiegeln“ beschichtet sind. Dabei handelt es sich um Reflexionsschichten, die vorzugsweise den infraroten Spektralbereich reflektieren. Nach der Ausgabe 2002 der europäischen Norm EN 171 für Infrarotschutzfilter werden Filter, die eine

Farberkennung erlauben, in der Kennzeichnung mit einem "C" kenntlich gemacht.

Arbeiten in der Nähe starker IR-Quellen bedeuten häufig auch eine erhöhte Ganzkörperbelastung bei erhöhter Temperatur und damit erschwerte Arbeitsbedingungen. Deshalb sind technische Schutzmaßnahmen, wie eine weitgehende Abschirmung der Strahlungsquelle, zu empfehlen.

Schutzmaßnahmen vor der Einwirkung intensiver IR-Strahlung auf die Haut sind reflektierende Hitzeschutzanzüge und -handschuhe.

An Arbeitsplätzen, an denen durch Strahlungsquellen die Thermoregulation des Körpers belastet werden kann (z. B. an Hochöfen), sind einige Vorkehrungen zu treffen:

- a) Für diese Arbeiten dürfen nur Personen eingesetzt werden, die vorher arbeitsmedizinisch auf ihre Eignung hin untersucht worden sind.
- b) Es sind ausreichende Eingewöhnungs- und Akklimatisierungszeiten vorzusehen.
- c) Wenn nicht Hitzeschutzkleidung getragen werden muss, ist auf gut ventilierbare Kleidung zu achten.
- d) Eine ausreichende Versorgung der Beschäftigten mit Getränken und eine Zufuhr der durch den Schweiß ausgeschiedenen Salze, Mineralstoffe und Vitamine sind sicherzustellen.
- e) Kann es an bestimmten Arbeitsplätzen zu einem Wärmestau (der Körper kann die erzeugte Wärme nicht mehr abgeben) kommen, sind Hitzepausen oder eine Verringerung der Arbeitsschwere vorzusehen.
- f) Auf eine ausreichende Belüftung der Arbeitsplätze ist zu achten.

Um eine Gefährdung von Arbeitnehmern weitgehend zu vermeiden, sind intensive Infrarot-Quellen mit einem Gefahrenhinweis zu versehen. Dies gilt besonders dann, wenn von diesen Quellen keine intensive sichtbare Strahlung ausgeht, sodass nichts auf eine Gefährdung hinweist.

Eine Einweisung und Belehrung des Bedienungspersonals an den betreffenden Anlagen sollte immer durchgeführt werden.

8 Literatur

- ACGIH: Guide to Occupational Exposure Values - 2002. The American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati (2002)
- Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960) geändert worden ist
- Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960)
- BGV A1: Grundsätze der Prävention, Carl Heymanns Verlag, Köln
- BGR 192: Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz; Carl-Heymanns Verlag, Köln (2001)
- Boettner E.A., Wolter J.R.: Invest. Ophthalmol. 6 (1), 776 (1962)
- Brainard, G.C., Rollag, M. D., Hanifin, J.P.: Photic regulation of melatonin in humans. Ocular and neural signal transduction. J Biol Rhythmus, 12, 537-546, (1997)
- Brainard, G.C., Hanifin, J.P., Greeson, J.M., Bryne, B., Glickman, G., Gerner, E., Rollag, M. D.: Action Spectrum for melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor; J. of Neuroscience, 21(16), 6405-6412, (2001)
- DIN EN 60825-1: Sicherheit von Laser-Einrichtungen, Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen, Beuth Verlag, Berlin (2008)
- DIN EN ISO 7933: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung; Beuth-Verlag Berlin (2004)
- DIN EN 166: Persönlicher Augenschutz – Anforderungen; Beuth-Verlag, Berlin (2002)
- DIN EN 169: Persönlicher Augenschutz – Filter für das Schweißen und verwandte Techniken; Transmissionsanforderungen und empfohlene Anwendung; Beuth-Verlag, Berlin (2003)
- DIN EN 171: Persönlicher Augenschutz – Infrarot-Schutzfilter; Transmissionsanforderungen und empfohlene Verwendung; Beuth-Verlag, Berlin (2002)
- DIN EN 172: Persönlicher Augenschutz – Sonnenschutz für den betrieblichen Gebrauch; Beuth-Verlag, Berlin (2002)
- DIN EN 379: Persönlicher Augenschutz – Automatische Schweißerschutzfilter; Beuth-Verlag, Berlin (2009)
- DIN EN 1598: Arbeits- und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren; Durchsichtige Schweißvorhänge, -streifen und -abschirmungen für Lichtbogenschweißprozesse; Beuth-Verlag, Berlin (Norm:2002; Entwurf: 2010)
- DIN EN 1836: Persönlicher Augenschutz – Sonnenbrillen und Sonnenschutzfilter für den allgemeinen Gebrauch und Filter für die direkte Betrachtung der Sonne; Beuth-Verlag, Berlin (2007)
- DIN EN 62471: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen; Beuth-Verlag, Berlin (2009)
- DIN 5031-3: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik, Beuth Verlag, Berlin (1982)
- DIN 5031-7: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Benennung der Wellenlängbereiche, Beuth Verlag, Berlin (1984)

- DIN V 5031-100: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Über das Auge vermittelte nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren, Beuth Verlag, Berlin (2009)
- DIN Fachbericht 128: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Grundlagen zur Klimaermittlung; Beuth-Verlag, Berlin (2003)
- DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße; Beuth-Verlag, Berlin (2011)
- Fachausschussinformation FA ET 3 Gepulste intensive Lichtquellen (nicht Laserquellen) für medizinische und kosmetische Anwendungen, DGUV, 2009
- Grandolfo M., Rindi A., Sliney D. H.: Light, Lasers, and Synchrotron Radiation; a Health Risk Assessment. Plenum Press, New York (1991)
- Grenzwerte am Arbeitsplatz, Arbeitshygienische Grenzwerte für physikalische Einwirkungen, Schweiz, Dokument 1903.d www.suva.ch/waswo
- Health Council of the Netherlands: Acceptable Levels of Micrometre Radiation 65 E. Ministry of Health and Environmental Protections, Leidschendam (1979)
- Health Council of the Netherlands: Optical radiation Health based exposure limits for electromagnetic radiation in the wavelength range from 100 nanometre to 1 millimetre; Gezondheidsraad, LM The Hague (1993)
- Hübner H. J., Sutter E., Wicke K.: Messung der Strahlungsleistung beim Schweißen und Folgerungen für den Schutz der Augen gegen Infrarot-Strahlung; Optik 31, 5 (1970)
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection): Guidelines of limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0,38 to 3 µm), Health Physics 73 (1997), p. 539-554
- IFA, Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Haut vor Verbrennungen durch Wärmestrahlung, Januar 2011
- Internationales Wörterbuch der Lichttechnik; CIE Publikation 50(845), (1987)
- IRPA: Non-Ionizing Radiations. Australian Radiation Laboratory, Yallambie (1988)
- Lydahl, E.: Infrared cataract, Acta Ophthalmol.; Suppl. 166, 1-63 (1984)
- Maher E. F.: Transmission and absorption coefficients for ocular media of the rhesus monkey; Report SAM-TR-78-32, USAF (1978)
- Mainster, M. A.; Sparrow J. R.: How much blue light should an IOL transmit?, Br J Ophthalmol. 2003 December; 87(12): 1523–1529; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1920564/>)
- Munker H.: Hitzeschutz am Arbeitsplatz. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund (1978)
- Reidenbach, H.-D., Dollinger, K., Hofmann, J. : Überprüfung der Laserklassifizierung unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes, Schriftreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Fb 985, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 2003
- Reidenbach, H.-D., Hofmann, J., Dollinger, K., Ott, G.: Abwendungsreaktionen des Menschen gegenüber sichtbarer Laserstrahlung, Schriftreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Fb 1069, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 2006
- Reidenbach, H.-D.; Dollinger, K.; Ott, G.; Janßen, M.; Brose, M.: Blendung durch optische Strahlungsquellen; 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2008. ISBN: 978-3-88261-093-2, 407 Seiten

- Reidenbach, H.-D.; Wagner, A.: Ein Beitrag zum Lidschlussreflex bei inkohärenter optischer Strahlung; In: 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, 27.09. – 01.10.1999, Köln, NIR Band II, 935-938 (1999)
- Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen (89/686/EWG)
- Siekmann H.: Infrarotstrahlung - Wirkung, Grenzwerte, Schutzmaßnahmen; In: Strahlenschutz für Mensch und Technik, Tagungsband des Fachverbandes für Strahlenschutz, Verlag TÜV Rheinland, Köln (1990)
- Sliney D., Wolbarsht M.: Safety with Lasers and other Optical Sources. Plenum Press, New York (1980)
- Söderberg P.G.: Infrared radiation and the eye; In: Grandolfo M., Rindi A., Sliney D. H.: Light, Lasers, and Synchrotron Radiation; a Health Risk Assessment. Plenum Press, New York (1991)
- Strahlenschutzkommission (SSK), Moderne Lichtquellen – Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, Juli 2010
- Sutter, E.: Ocular Safety During the Observation of the Sun and of Planckian Radiators, PTB-Mitteilungen 3/1999, 123-130
- Sutter, E.: Schutz vor optischer Strahlung – Laserstrahlung, inkohärente Strahlung, Sonnenstrahlung, VDE-VERLAG Berlin Offenbach (1999/2002/2008)
- Sutter, E., Ott, G.: Physikalisch-optische Eigenschaften von Augenschutzgeräten und deren Messung, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven (1992)
- Thapan, K. Arendt, J., Skene, D.J.: An Action Spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans; J. of Physiology 535, 261-267 (2001)
- Vos J.J., Norren van D.: Weighting the relative significance of three heat dissipation mechanisms to produce cataract; Laser and Light in Ophthalmology, Vol 6, 2 (1994)
- Wagner E., Dändliker R., Spenner K. (Hrsg.): Optical Sensors; VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim (1992)
- WHO: Nonionizing Radiation Protection. WHO Regional Publications, European Series, No.25, Copenhagen (1989)
- WHO: Environmental Health Criteria 23; Lasers and Optical Radiation. World Health Organisation, Geneva (1982)

9 Adressen

- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund, www.baua.de
- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Alte Heerstr. 111, 53757 Sankt Augustin, www.dguv.de/ifa/de/index.jsp
- Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Gustav-Heinemann-Ufer 130, 50968 Köln, www.bgetem.de
- Freie Sachverständige (Auskunft erteilt die Industrie- und Handelskammer)
- Fachhochschule Köln, Forschungsbereich Medizintechnik und nichtionisierende Strahlung, Betzdorferstr. 2, 50679 Köln
- Gezondheidsraad, PO Box 90517, N-2509 LM The Hague

- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), An der Scharlake 39, 31135 Hildesheim
- Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf: Hauptabteilung Strahlenschutz, A-2444 Seibersdorf
- Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA), Bereich Physik, CH-6002 Luzern