

## Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung

# TROS Inkohärente Optische Strahlung Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung

Stand: November 2013  
geändert und ergänzt: 12. Mai 2014  
(GMBl. Nr. 28/29 vom 03. Juni 2014, S. 610)

## Inhaltsverzeichnis dieses Ausdrucks

Titel . . . . .	3
1 Anwendungsbereich . . . . .	3
2 Begriffsbestimmungen . . . . .	3
3 Messungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung . . . . .	3
3.1 Grundsätzliches . . . . .	4
3.2 Informationsermittlung . . . . .	4
3.3 Analyse der Arbeitsaufgaben und Expositionsbedingungen . . . . .	5
3.4 Messung . . . . .	6
3.4.1 Planung . . . . .	6
3.4.2 Auswahl der zu messenden Strahlungsgrößen . . . . .	7
3.4.3 Wahl des Messverfahrens . . . . .	7
3.4.4 Anforderungen an das Messverfahren . . . . .	8
3.4.5 Spektralverfahren . . . . .	8
3.4.5.1 Spektralradiometer mit schrittweiser Abtastung der Wellenlänge . . . . .	8
3.4.5.2 Spektralradiometer mit Array-Detektor . . . . .	9
3.4.6 Integralverfahren . . . . .	10
3.4.6.1 Radiometer mit selektiver spektraler Empfindlichkeit . . . . .	10
3.4.6.2 Personendosimeter . . . . .	10
3.4.6.2.1 Elektronische Datenlogger-Dosimeter . . . . .	10
3.4.6.2.2 Fotochemische Filmdosimeter (Polysulfonfilm) . . . . .	11
3.4.6.3 Biologische Filmdosimeter . . . . .	11
3.4.7 Durchführung der Messung . . . . .	12
3.4.8 Auswertung der Messergebnisse . . . . .	12
3.4.9 Bewertung der Exposition . . . . .	14
3.5 Anwendung von Schutzmaßnahmen . . . . .	14
3.6 Wiederholung von Messung und Bewertung . . . . .	14
3.7 Bericht . . . . .	14
4 Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung . . . . .	15
4.1 Rechenprogramme . . . . .	15
4.2 Strahlungsexpositionen durch thermische Strahler . . . . .	15
4.3 Berechnung von Expositionen aus Emissionsdaten von Strahlungsquellen . . . . .	16
5 Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung . . . . .	16
6 Vorgehensweise bei nicht durch die EGW erfassten Expositionssituationen . . . . .	16
6.1 Wellenlängenbereich von 100 nm bis 180 nm . . . . .	16
6.2 Wellenlängenbereich von 3 000 nm bis 1 mm . . . . .	17
6.3 EGW zum Schutz vor Verbrennungen der Haut durch IR-Strahlungsexpositionen für Expositionszeiten größer als 10 s . . . . .	17
6.4 Anwendung der Expositionsgrenzwerte bei zeitlich veränderlichen Expositionen . . . . .	17
Anhang 7 Literaturhinweise . . . . .	18
Anlage 1 - Beispiele für die Berechnung von IR-Strahlungsexposition . . . . .	20
Anlage 2 - Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung . . . . .	23
Anlage 3 - Rechenprogramme zur Expositionsabschätzung . . . . .	32
Anlage 4 - Beispiele für die Notwendigkeit von Expositionsmessungen und die Anwendung von Schutzmaßnahmen bei verschiedenen Tätigkeiten . . . . .	33

Die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Inkohärente Optische Strahlung) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitsplatzhygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch inkohärente optische Strahlung wieder.

Sie werden vom **Ausschuss für Betriebssicherheit** unter Beteiligung des Ausschusses für Arbeitsmedizin ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gegeben.

Diese TROS IOS, Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“, konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs die Anforderungen der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung und der Verordnung zur Arbeitsmedizinischen Vorsorge. Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnungen erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

## 1 Anwendungsbereich

(1) Der Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“ der TROS IOS beschreibt das Vorgehen bei den Messungen und Berechnungen von Expositionen nach dem Stand der Technik, wie es in der OStrV gefordert wird. Es werden Anforderungen an fachkundige Personen gestellt, Expositionsgrenzwerte (EGW) erläutert und weiterführende Anwendungshinweise dazugegeben.

(2) Die TROS IOS gilt für inkohärente optische Strahlung aus künstlichen Quellen im Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 1 mm.

(3) Unabhängig von den in dieser TROS IOS beschriebenen Vorgehensweisen sind vom Arbeitgeber die Beschäftigten oder ihre Interessenvertretung, sofern diese vorhanden ist, aufgrund der einschlägigen Vorschriften zu beteiligen.

## 2 Begriffsbestimmungen

In diesem Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“ der TROS IOS werden Begriffe so verwendet, wie sie im Teil „Allgemeines“ der TROS IOS definiert und erläutert sind.

## 3 Messungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung

## 3.1 Grundsätzliches

(1) Nach § 3 der OStrV hat der Arbeitgeber im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung die auftretenden Expositionen durch künstliche optische Strahlung an Arbeitsplätzen zu ermitteln und zu bewerten. Er kann sich die notwendigen Informationen beim Wirtschaftsakteur nach § 2 Ziffer 29 ProdSG (Hersteller, Bevollmächtigter, Einführer oder Händler) der verwendeten Produkte/Arbeitsmittel oder mit Hilfe anderer zugänglicher Informationsquellen beschaffen.

(2) Lässt sich mit den vorhandenen Informationen nicht sicher feststellen, ob die Expositionsgrenzwerte (EGW) nach Abschnitt 5 dieser TROS IOS eingehalten werden, ist die Exposition durch Messungen oder Berechnungen nach § 4 OStrV festzustellen. Messungen und Berechnungen müssen nach dem Stand der Technik fachkundig geplant und durchgeführt werden. Die eingesetzten Messverfahren und Messgeräte sowie eventuell erforderliche Berechnungsverfahren müssen den Expositionsbedingungen hinsichtlich der betreffenden inkohärenten optischen Strahlung angepasst und geeignet sein, den Vergleich mit den EGW zu erlauben.

(3) Das Messen optischer Strahlungsexpositionen ist eine komplexe Aufgabe und erfordert entsprechende Fachkenntnisse und Erfahrungen (Fachkunde nach §§ 4 und 5 OStrV). Der Arbeitgeber kann damit fachkundige Personen beauftragen, falls er nicht selbst über die entsprechenden Kenntnisse und die notwendige Messtechnik verfügt.

(4) Hilfen für die Planung und Durchführung von Messungen inkohärenter optischer Strahlung bieten die in dieser TROS IOS aufgeführten technischen Normen. Werden Messungen nach diesen Normen durchgeführt, wird diesbezüglich die Forderung der OStrV, den Stand der Technik zu beachten, erfüllt. Das Vorgehen bei Messungen und Bewertungen wird in den folgenden Abschnitten beschrieben.

(5) Verfahren zur Messung und Bewertung von ultravioletten, sichtbaren und infraroten Strahlungsexpositionen durch künstliche Quellen an Arbeitsplätzen sind außerdem in den europäischen Normen DIN EN 14255-1 (2) und DIN EN 14255-2 (3) detailliert beschrieben.

## 3.2 Informationsermittlung

(1) Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist zunächst festzustellen, ob zur Ermittlung der Exposition eine Messung oder Berechnung notwendig ist oder ob nicht bereits genügend Informationen vorhanden sind, um die Exposition auch ohne eine Messung ausreichend genau bestimmen zu können. Beispiele für Fälle ohne die Notwendigkeit einer Expositionsmessung sind:

- Die Strahlungsquelle wurde nach der Höhe ihrer Strahlungsemission klassifiziert. Eine Klassifizierung kann für Maschinen nach DIN EN 12198, für Lampen und Lampensysteme nach DIN EN 62471 und für nicht elektrisch betriebene Strahlungsquellen nach DIN EN 16237 erfolgen. Fallen Maschinen in die Emissionskategorie 0 oder 1 oder fallen nicht elektrisch betriebene Strahlungsquellen in die Emissionsklasse 0 oder 1, dann kann man davon ausgehen, dass bei der Anwendung dieser klassifizierten Quellen an Arbeitsplätzen die EGW innerhalb einer achtstündigen Arbeitsschicht nicht überschritten werden. In diesen Fällen kann auf eine Messung verzichtet werden. Kennt man auch bei kürzeren Zeiten die maximale Expositionsdauer durch inkohärente optische Strahlung am Arbeitsplatz einer nach DIN EN 16237 klassifizierten, nicht elektrischen Strahlungsquelle, dann kann man anhand der Emissionsklasse feststellen, ob die EGW überschritten werden können oder nicht. Bei Lampen, die nach DIN EN 62471 klassifiziert wurden, bedeutet die Einordnung in die Freie Gruppe aufgrund einer unterschiedlichen Zeitbasis zur OStrV nicht automatisch, dass die EGW eingehalten werden. In der OStrV bezieht man sich auf einen achtstündigen Arbeitstag, während die DIN EN 62471 eine Zeit von 1 000 s zu Grunde legt. Dies hat besonders bei der technischen Applikation mit einer UV-A-Strahlungsquelle Relevanz (1), (4), (5).
- Es ist eine Berechnung der zu erwartenden Strahlungsexpositionen möglich, siehe Abschnitt 4 dieser TROS IOS.

(2) Messungen und Berechnungen sind bei sehr hohen Strahlungsexpositionen, wie zum Beispiel beim Elektroschweißen, nicht sinnvoll, da bekannt ist, dass die EGW bereits nach kurzer Zeit überschritten werden. In diesem Fall müssen Schutzmaßnahmen vor Aufnahme der Tätigkeit getroffen werden. Um die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen sicherzustellen, sind geeignete Informationen einzuholen. Gegebenenfalls sind Messungen zur Überprüfung der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen durchzuführen.

(3) Lässt sich mit den verfügbaren Informationen keine eindeutige Entscheidung treffen, ob die EGW eingehalten oder überschritten werden, dann ist eine Messung oder Berechnung der Exposition erforderlich. Hilfen zur Entscheidung, ob eine Messung notwendig ist, sind in Anlage 4 („Beispiele für die Notwendigkeit von Expositionsmessungen und die Anwendung von Schutzmaßnahmen bei verschiedenen Tätigkeiten“) zu finden.

### 3.3 Analyse der Arbeitsaufgaben und Expositionsbedingungen

(1) Vor der Messung ist eine detaillierte Analyse der Arbeitsaufgaben und des Arbeitsablaufs der exponierten Personen sowie der Expositionsbedingungen durchzuführen. Hierbei müssen sämtliche Tätigkeiten berücksichtigt werden, bei denen Personen inkohärenter optischer Strahlung ausgesetzt sein können. Dabei sind insbesondere zu prüfen:

- Anzahl, Positionen und Arten der Strahlungsquellen,
- Strahlung, die an Wänden, Einrichtungen, Materialien usw. reflektiert und gestreut wird,
- Strahlungsspektren (spektrale Bestrahlungsstärke) am Ort der Expositionen,
- zeitlicher Verlauf der Bestrahlungsstärke oder Strahldichte und der Schwankung des Strahlungsspektrums,
- Abstand zwischen den exponierten Personen und den Strahlungsquellen,
- Bewegungen der exponierten Personen relativ zu den Strahlungsquellen während ihrer Arbeit,
- Zeiten, die exponierte Personen im Bereich der Strahlungsquellen verbringen,
- zu berücksichtigende mögliche gesundheitliche Auswirkungen durch die Exposition auf Beschäftigte und auf besonders gefährdete Gruppen,
- mögliche fotosensibilisierende chemische oder biologische Stoffe am Arbeitsplatz,
- Verwendung von Schutzeinrichtungen und Schutzmaßnahmen,
- Expositionsbedingungen beim Normalbetrieb der Strahlungsquellen,
- Expositionsbedingungen bei Wartung und Service.

(2) Für jede einzelne Tätigkeit müssen die Angaben vollständig genug sein, um die Exposition der Beschäftigten repräsentativ ermitteln und bewerten zu können. Tabelle 1 zeigt das Beispiel einer Arbeitsanalyse in Tabellenform.

Tab. 1 Beispiel einer Dokumentation der Arbeitsanalyse für die Glasbearbeitung mit Gasbrennern an einem Tischarbeitsplatz. Sie beinhaltet alle Tätigkeiten, auch die ohne Exposition.

Tätigkeit	Art der Tätigkeit	Aufenthaltsort der Beschäftigten	Exponierter Körperbereich	Häufigkeit je Schicht	geschätzte Dauer der Tätigkeit in min	geschätzte Dauer der Tätigkeit je Arbeitsschicht in min
A	Erwärmen des Glaswerkstückes	Vor dem Gasbrenner	Augen, Gesicht, Unterarme	100	2	200
B	In Form blasen	In direkter Nähe zum Arbeitsplatz	Keine UV-Exposition, aber IR-Exposition von	100	0,2	20

		und dem Gas- brenner	Augen, Gesicht, Unterarmen			
C	Herausnehmen aus Formschab- lone	In direkter Nähe zum Arbeitsplatz und dem Gas- brenner	Keine Exposition	100	0,2	20
D	Abstellen und Nehmen eines neuen Werk- stückes	In direkter Nähe zum Arbeitsplatz und dem Gas- brenner	Keine Exposition	100	0,5	50
E	Sonstige Tätig- keiten ohne Expo- sition	Im Glasbearbei- tungsbereich	Keine Exposition	1	190	190
Summe der Tätigkeiten A–E:						480

(3) Wirkt Strahlung auf mehrere Arbeitnehmer in vergleichbarer Weise ein, dann kann die Analyse als repräsentativ für die persönlichen Expositionen dieser Beschäftigten angesehen werden. In diesem Fall reicht die Durchführung einer Expositionsmessung im Sinne einer Stichprobenerhebung nach § 4 Absatz 2 OStrV aus.

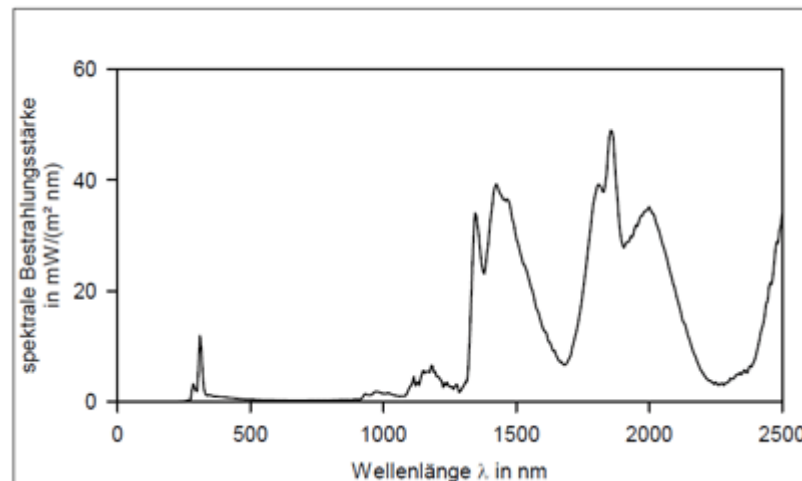
## 3.4 Messung

### 3.4.1 Planung

(1) Vor der Messung ist eine sorgfältige Planung durchzuführen. Dabei ist festzustellen, um welche Art von Strahlungsquellen es sich handelt und mit welcher Art von Strahlung gerechnet werden muss. Daraus ergibt sich, welches Messverfahren einzusetzen und wie die Messung durchzuführen ist.

(2) Wenn vor der Messung keine detaillierten Angaben über das Strahlungsspektrum erhältlich sind, dann ist eine Messung des optischen Strahlungsspektrums (spektrale Bestrahlungsstärke) hilfreich. Aus dem Spektrum ist zu entnehmen, in welchem Wellenlängenbereich mit einer hohen Exposition zu rechnen ist und welche Gefährdungen auftreten können (Abbildung 1). Das Spektrum ist so nahe wie möglich am Expositionsort zu bestimmen. Es muss nicht mit dem Strahlungsspektrum der Strahlungsquelle übereinstimmen, da sich das Strahlungsspektrum zwischen der Strahlungsquelle und der exponierten Person durch Streuung und Brechung oder Reflexion, Transmission und Absorption verändern kann.

Abb. 1 Gemessenes Strahlungsspektrum (spektral ungewichtet und linear) einer Gasflamme bei der Bearbeitung eines Glasrohrrohrlings an einem Tischarbeitsplatz



### 3.4.2 Auswahl der zu messenden Strahlungsgrößen

(1) Im Abschnitt 5 dieser TROS IOS sind EGW für inkohärente optische Strahlung in folgenden Messgrößen festgelegt:  $H_{\text{eff}}$ ,  $H_{\text{UVA}}$ ,  $L_B$ ,  $E_B$ ,  $L_R$ ,  $L_{\text{IR}}$ ,  $E_{\text{IR}}$ ,  $H_{\text{Haut}}$ . Es müssen in der Regel nicht die Expositionen für alle Messgrößen ermittelt werden, sondern nur für die Expositionen, bei denen die Einhaltung der EGW nicht sicher vorhergesagt werden kann (siehe Abschnitt 3.2 „Informationsermittlung“). Für welche Messgrößen die Expositionen zu ermitteln sind, ergibt sich aus der Analyse der Arbeitsaufgaben, dem Strahlungsspektrum und aus der Art der Gefährdung. Man kann einige der genannten Messgrößen direkt messen. Es gibt z. B. UV-Radiometer, die eine spektrale Wichtung der Strahlungsexposition nach der Wichtungsfunktion  $S(\lambda)$  durchführen. Mit Hilfe einer Start- und Stoppfunktion kann damit direkt die effektive Bestrahlung  $H_{\text{eff}}$  während der Messdauer gemessen werden. Häufig werden jedoch Hilfsgrößen verwendet, aus denen die Strahlungsexpositionen in den gewünschten Größen erst berechnet werden müssen. So werden meist die effektive Bestrahlungsstärke  $E_{\text{eff}}$  mit der  $S(\lambda)$ -Wichtung und die Expositionsdauer  $\Delta t$  gemessen, um daraus die effektive Bestrahlung  $H_{\text{eff}}$  als Produkt beider Messgrößen zu berechnen. Dazu gibt es z. B. UV-Messgeräte, die die spektrale  $S(\lambda)$ -Wichtung nachbilden und als Messergebnis direkt die effektive Bestrahlungsstärke  $E_{\text{eff}}$  ausgeben. Alternativ können für die Ermittlung spektral gewichteter Größen, wie  $E_{\text{eff}}$ ,  $L_B$  und  $L_R$ , auch die spektrale Bestrahlungsstärke  $E_\lambda$  bzw. die spektrale Strahldichte  $L_\lambda$  im entsprechenden Wellenlängenbereich gemessen und mit den Wichtungsfunktionen  $S(\lambda)$  bzw.  $B(\lambda)$  und  $R(\lambda)$  berechnet werden. (Zu den Definitionen der Messgrößen siehe Abschnitt 5 dieser TROS IOS).

(2) Geht es um die Beurteilung der Verbrennungsgefahr der Haut bei der Einwirkung starker Wärmestrahlung, dann sind die Bestrahlungsstärke  $E_{\text{Haut}}$  im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 3 000 nm (siehe dazu Abschnitt 6.3) sowie die Expositionsdauer  $\Delta t$  zu messen. Aus  $E_{\text{Haut}}$  und  $\Delta t$  ist die Bestrahlung  $H_{\text{Haut}}$  zu berechnen und mit dem EGW zu vergleichen.

### 3.4.3 Wahl des Messverfahrens

Als nächster Schritt ist ein geeignetes Messverfahren auszuwählen. Ein komplettes Verfahren besteht nicht nur aus den eingesetzten Messgeräten, sondern auch aus der Art, wie die Messungen durchgeführt werden, und aus der Bewertung der Ergebnisse. Bei der Auswahl des Messverfahrens sind neben dem Ziel der Messung auch die Expositionsbedingungen und die zu messenden Strahlungsgrößen zu berücksichtigen. Aus der Analyse der Arbeitsaufgaben ergibt sich auch, ob die personenbezogene Exposition mit Hilfe stationärer Messgeräte ermittelt

werden kann, oder ob Messgeräte eingesetzt werden müssen, die von den Exponierten am Körper getragen werden.

### 3.4.4 Anforderungen an das Messverfahren

(1) Bei den Messverfahren wird zwischen dem Spektralverfahren und dem Integralverfahren unterschieden. Eine der wichtigsten Anforderungen an die Messgeräte ist die einzuhaltende Messunsicherheit. Eine Messunsicherheit von  $\leq 30\%$  wird für Verfahren gefordert, bei denen das Ergebnis mit dem EGW verglichen werden soll. Für Übersichtsmessungen ist eine Messunsicherheit von  $\leq 50\%$  einzuhalten.

(2) Ein Messverfahren muss einen ausreichend großen Messbereich umfassen, sodass eine Entscheidung über die Einhaltung oder Überschreitung von EGW möglich ist. Gegebenenfalls können auch mehrere, sich im Messbereich ergänzende Messverfahren eingesetzt werden. Weitere Anforderungen beziehen sich auf die spektrale Empfindlichkeit des Empfängersystems, die Empfängerfläche, die Apertur, den Öffnungswinkel der Eingangsoptik und die Winkelabhängigkeit der Eingangsoptik. Die Mittelungsdauer (Integrationsdauer) der eingesetzten Geräte und die Messdauer für das gesamte Verfahren sind so zu wählen, dass eine Entscheidung über die Einhaltung oder Überschreitung der EGW möglich ist.

(3) Die zeitliche Abhängigkeit der Exposition muss durch das Messgerät erfasst werden können (Pulskriterium).

(4) Die festgelegten Anforderungen sind von den Messverfahren unter den vor Ort bei der Messung herrschenden Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Druck, Staub, elektromagnetische Felder, etc.) einzuhalten.

(5) Weitere Anforderungen sind hinsichtlich der Kalibrierung der Geräte, des empfindlichen Wellenlängenbereichs sowie der Schrittweite, der Bandbreite und der Empfindlichkeit gegenüber Streulicht bei Messungen des Strahlungsspektrums zu erfüllen.

### 3.4.5 Spektralverfahren

(1) Bei diesem grundlegenden Verfahren wird mit Hilfe eines Spektralradiometers die spektrale Bestrahlungsstärke (bzw. die spektrale Strahldichte) in Abhängigkeit von der Wellenlänge gemessen. Für einen Vergleich mit den EGW müssen die Messergebnisse gegebenenfalls mit den Wichtungsfunktionen verrechnet werden. Hierbei ist jeweils noch auf die spektrale Bandbreite (1 nm, 2 nm oder 5 nm) und im UV-Bereich auf das Streulicht zu achten.

(2) Wesentliche Komponenten eines Spektralradiometers sind:

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

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

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

#### 3.4.5.1 Spektralradiometer mit schrittweiser Abtastung der Wellenlänge

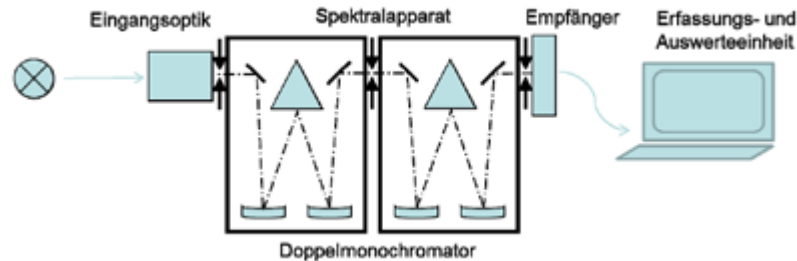
(1) Bei diesem Gerätetyp wird in diskreten Schritten in einem vorgegebenen Spektralbereich jede Wellenlänge schrittweise abgetastet. Das Ergebnis ist ein Spektrum mit Informationen über die spektrale Strahlungsverteilung

---



der Quelle. Ein Spektralradiometer kann als Einfach-Monochromator oder mit einem nachgeschalteten zweiten Monochromator als Doppelmonochromator ausgeführt sein. In Abbildung 2 ist schematisch der Aufbau eines Doppelmonochromators dargestellt.

Abb. 2 Schematischer Aufbau eines Doppelmonochromators



(2) Ein wesentlicher Unterschied zwischen diesen beiden Ausführungen liegt beim Doppelmonochromator in der deutlich besseren Streulichtunterdrückung von außerhalb der Messung gelegenen Wellenlängenbereichen. Für Messdienste, die UV-Messungen mit geringer Messunsicherheit von Strahlungsquellen mit hohen Anteilen im sichtbaren und IR-Bereich durchführen, wird aus diesem Grunde zur Unterdrückung der Falschlichtanteile die Verwendung eines Doppelmonochromators empfohlen. Bei Verwendung eines Einfachmonochromators kommt es zur Überbewertung der Exposition infolge des Streulichtanteils. Einfach-Monochromatoren kann man zur Messung von Strahlungsquellen anwenden, deren Emission im Wesentlichen auf den UV-Bereich begrenzt ist.

Vorteile:

- Messungen mit hoher Präzision bei zeitlich nicht veränderlichen Bestrahlungsstärken möglich
- genaue Gewichtung bei Bewertung mit Wirkungsspektren

Nachteile:

- lange Messzeit
- nicht für Messung von Quellen mit zeitveränderlichen Bestrahlungsstärken geeignet

### 3.4.5.2 Spektralradiometer mit Array-Detektor

Bei diesem Gerätetyp ist in einem Einfach-Monochromator ein Gitter fest positioniert. Die Strahlung wird breitbandig auf ein Feld von Detektoren (z. B. auf ein Fotodiodenarray) 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. Das Messgerät ist somit für die Messung von Quellen mit zeitveränderlichen Bestrahlungsstärken geeignet.

Vorteile:

- Bewertung von Quellen mit zeitveränderlichen Bestrahlungsstärken
- kompaktes System

Nachteile:

- eingeschränkte Messdynamik
- höhere Falschlichtanteile
- einfache Systeme können eine höhere Messunsicherheit aufweisen

## 3.4.6 Integralverfahren

### 3.4.6.1 Radiometer mit selektiver spektraler Empfindlichkeit

(1) 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 vorgesehenen fotobiologischen Größe erreicht. In der signalverarbeitenden Einheit wird der gemessene Wert mit der zugehörigen Korrektur berechnet und direkt angezeigt.

(2) Der apparative Aufwand ist beim Integralverfahren wesentlich geringer als beim Spektralverfahren. Einige kommerzielle Messsysteme sind nur für Übersichts- und Relativmessungen geeignet. Systematische Messabweichungen können bei bekannten Strahlungsquellen durch einen Korrekturfaktor verringert werden, der vom Hersteller für verschiedene Strahlungsquellen ermittelt worden ist.

(3) Für Arbeitsplatzmessungen sind angepasste Messgeräte nach dem Integralverfahren besser geeignet, da die Handhabung und Auswertung einfacher ist als beim Spektralverfahren.

Vorteile:

- direkte Anzeige des Messergebnisses
- Bewertung von Quellen mit zeitveränderlichen Strahlungsgrößen
- kompaktes Messgerät mit leichter Handhabung, Batteriebetrieb möglich; kostengünstiger als Spektralmessgeräte

Nachteile:

- unzureichende Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit an die Wichtungsfunktion
- einfache Systeme können eine höhere Messunsicherheit aufweisen

### 3.4.6.2 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 elektronischen, Polysulfonfilm- oder biologischen Dosimetern unterschieden.

#### 3.4.6.2.1 Elektronische Datenlogger-Dosimeter

Elektronische Dosimeter entsprechen prinzipiell den oben beschriebenen Integralradiometern. Ihre Sensoren können an unterschiedliche Bewertungsfunktionen angepasst sein. Typischerweise sind sie mit einer zeittaktbaren 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

- Messdatentransfer auf PC
- wiederverwendbar

Nachteile:

- unzureichende Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit an die Bewertungsfunktion
- kostenintensiv in Relation zu Filmdosimetern

#### 3.4.6.2 Fotochemische Filmdosimeter (Polysulfonfilm)

Fotochemische Sensoren sind vorrangig Folien aus organischen Materialien, die Änderungen optischer Eigenschaften im Material nur durch Einwirkung von UV-Strahlung nutzen. Durch eine spezifische Kalibrierung kann eine Anpassung an das Aktionsspektrum des zu untersuchenden fotobiologischen Effektes erreicht werden.

Vorteile:

- personen-/körperarealbezogene Messung
- problemloses Tragen
- kostengünstig

Nachteile:

- unzureichende Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit an die Bewertungsfunktion
- im langwelligen UV-A-Bereich nicht sensibel
- nicht wiederverwendbar

#### 3.4.6.3 Biologische Filmdosimeter

Das strahlungsempfindliche Material besteht vornehmlich aus einfachen biologischen Lebensformen (Bakteriensporen, Phagen, Zellen) oder Stoffwechselkomponenten (Pro-Vitamin D). Im biologischen Filmdosimeter werden immobilisierte Sporen des Bakteriums *B. subtilis* verwendet, deren Anzahl unter UV-Exposition durch zerstörte DNA dosisabhängig reduziert wird. Bestimmt wird als Dosismaß die Überlebensrate der Bakterien aus messbaren Stoffwechselprodukten.

Vorteile:

- personen-/körperarealbezogene Messung
- problemloses Tragen
- wasserdichte und staubdichte Ausführung verfügbar

Nachteile:

- unzureichende Anpassung der relativen spektralen Empfindlichkeit an die Bewertungsfunktion (über Kalibrierfaktoren erhebliche Verbesserung)
- nicht wiederverwendbar

### 3.4.7 Durchführung der Messung

(1) Bei der Durchführung der Strahlungsmessung ist darauf zu achten, dass keine Personen gefährdet werden. Bei hohen Bestrahlungsstärken oder Strahldichten kann eine Schädigung von Personen, die die Messung durchführen, schon nach kurzer Zeit eintreten. Daher ist für das Messpersonal eine separate Gefährdungsbeurteilung durchzuführen und entsprechende Schutzmaßnahmen sind zu ergreifen (Eigenschutz).

(2) Es ist zu prüfen, ob Fotos oder die Anfertigung von Skizzen der Expositionssituation vor oder während der Messung für die Dokumentation erforderlich sind.

(3) Die Messung muss repräsentativ für die Exposition der Beschäftigten sein. Hierzu kann es nötig sein, Einzelmessungen an verschiedenen Orten und in verschiedene Richtungen durchzuführen. Eine Alternative zur Messung mit ortsfesten Messgeräten ist bei Expositionen gegenüber UV-Strahlung der Einsatz von Dosimetern, die von der zu überwachenden Person am Körper getragen werden.

(4) Die Dauer der Messung muss sich an der Einwirkungsdauer der Exposition, an der Messgröße, an der Referenzzeit für den anzuwendenden Expositionsgrenzwert, am Messbereich des Verfahrens und am zeitlichen Verlauf der Strahlungsexposition orientieren.

1. Messdauer bei konstanter Bestrahlungsstärke

Bei konstanter Bestrahlungsstärke kann die Messdauer unter praktischen Gesichtspunkten ausgewählt werden.

2. Messdauer bei nicht konstanter Bestrahlungsstärke (siehe auch Abschnitt 6.4 dieser TROS IOS)

- Der EGW ist als Mittelwert festgelegt: Bei einer schwankenden Bestrahlungsstärke muss die Messdauer ausreichend sein, um ein repräsentatives Mittelweltergebnis zu erhalten, das mit dem Expositionsgrenzwert verglichen werden kann.
- Der EGW ist als Maximalwert festgelegt: Zeitpunkt und Dauer der Messung sind so auszuwählen, dass die maximale Strahlungsexposition im Messzeitraum enthalten ist. Der ermittelte Maximalwert ist mit dem Expositionsgrenzwert zu vergleichen. Gegebenenfalls ist eine direkte Messung der Expositionsdauer notwendig.

(5) Sind Beschäftigte gegenüber mehreren Strahlungsquellen exponiert, dann sind die Einzelexpositionen zu ermitteln. Aus den Einzelexpositionen kann die Gesamtbestrahlung berechnet werden, wenn der anzuwendende EGW als Bestrahlung vorliegt.

### 3.4.8 Auswertung der Messergebnisse

(1) Die Auswertung der Messergebnisse ist so durchzuführen, dass die Endergebnisse in den Strahlungsgrößen und Einheiten der zu Grunde zu legenden EGW vorliegen. Wurden beispielsweise eine UV-A-Bestrahlungsstärke  $E_{UVA}$  und eine Expositionsdauer  $\Delta t$  gemessen, dann wird daraus die UV-A-Bestrahlung  $H_{UVA}$  durch Multiplikation beider Größen berechnet und mit dem EGW der UV-A-Bestrahlung verglichen. Die Auswertung der Messergebnisse ist beispielhaft in Tabelle 2 dargestellt.

(2) Neben dem Messergebnis selbst ist auch die Messunsicherheit in die Betrachtung mit einzubeziehen.

Tab. 2 Beispiel einer Auswertung der Messergebnisse

Messung	Messort	Foto Nr.	Abstand des Empfängers	UV-Bestrahlungsstärke	$t_{max}$ bis	$t_{max}$ bis	entspr. Tätigkeit	Bemerkungen
---------	---------	----------	------------------------	-----------------------	---------------	---------------	-------------------	-------------

\*) Die Zeit  $t_{max}$  gibt die Zeitdauer bis zum Erreichen des EGW gemäß Spalte „UV-Bestrahlungsstärke“ an.

			zum/ zur	in m	E <sub>UVA</sub> in mW/m <sup>2</sup>	E <sub>eff</sub> in mW/m <sup>2</sup>	HUVA- EGW	Heff- EGW	gemäß Tab. 1	
1	Vor dem Gasbrenner, Messung aus einer Höhe von 1,35 m über dem Boden in Richtung Gasflamme, hinter der Schutzscheibe	1	Gasflamme	0,4	40	0,7	> 8 h	> 8 h	A	Entspricht der Exposition des Kopfes (Augen und Haut) des Beschäftigten durch die bei der Bearbeitung des Glasrohrrohrlings emittierte UV-Strahlung mit Schutzscheibe
2	Vor dem Gasbrenner, Messung aus einer Höhe von 1,15 m über dem Boden in Richtung Gasflamme	2	Gasflamme	0,3	345	80	> 8 h	6 min	A	Entspricht der Exposition der Hände/Unterarme des Beschäftigten durch die beim Erwärmen der Glasrohrrohlinge emittierte UV-Strahlung
3	Vor dem Gasbrenner, Messung aus einer Höhe von 1,15 m über dem Boden in Richtung Gasflamme	3	Gasflamme	0,2	600	120	4,6 h	4 min	A	Entspricht der Exposition der Hände/Unterarme des Beschäftigten durch die beim Erwärmen der Glasrohrrohlinge emittierte UV-Strahlung, verkürztes Glaswerkstück
4	Vor dem Gasbrenner, Messung aus einer Höhe von 1,35 m über dem Boden in Richtung Gasflamme, ohne Schutzscheibe	4	Gasflamme	0,4	286	85	> 8 h	6 min	B	Entspricht der Exposition des Kopfes (Augen und Haut) des Beschäftigten durch die bei der Bearbeitung des Glasrohrrohrlings emittierte UV-Strahlung ohne Schutzscheibe
5	Vor dem Gasbrenner, Messung aus einer Höhe von 1,35 m über dem Boden in Richtung Gasflamme, hinter der Schutzbrille	5	Gasflamme	0,35	11	< 0,1	> 8 h	> 8 h	C	Entspricht der Exposition der Augen des Beschäftigten durch die bei der Bearbeitung des Glasrohrrohrlings emittierte UV-Strahlung mit Schutzbrille

### 3.4.9 Bewertung der Exposition

(1) Die Exposition wird bewertet, indem das Ergebnis der Messung mit dem anzuwendenden EGW verglichen wird. Hierbei ist auch die Messunsicherheit zu berücksichtigen. Durch den Vergleich ergibt sich die Feststellung, ob der anzuwendende EGW eingehalten ist oder überschritten wird. Ist eine solche klare Feststellung nicht möglich, weil das Messergebnis in der Nähe des EGW liegt und die Messunsicherheit eine eindeutige Aussage nicht zulässt, dann sind zunächst Maßnahmen zur Verminderung der Exposition zu ergreifen. Anschließend ist die Messung zu wiederholen.

(2) Bei der Bewertung der Exposition sind alle Faktoren zu berücksichtigen, die zur Exposition beitragen oder für die Bewertung von Bedeutung sind. So ist z. B. bei Personen mit erhöhter Fotosensibilität die Einhaltung der EGW nach Abschnitt 5 dieser TROS IOS nicht ausreichend und eine weitergehende Reduzierung der Exposition notwendig. Gegebenenfalls ist eine arbeitsmedizinische Beratung erforderlich.

## 3.5 Anwendung von Schutzmaßnahmen

Die Auswahl und Anwendung von Schutzmaßnahmen ist Gegenstand des TROS IOS, Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“.

## 3.6 Wiederholung von Messung und Bewertung

(1) Das Ergebnis einer Messung spiegelt die Expositionssituation zu dem Zeitpunkt wider, an dem die Messung durchgeführt wurde.

(2) Insbesondere bei folgenden Situationen können Wiederholungen notwendig werden:

- Änderung der Strahlungsquelle,
- Änderung der Arbeitsaufgaben,
- Änderung der Expositionsbedingung,
- Anwendung, Änderung oder Aussetzung von Schutzmaßnahmen,
- Überprüfung der Messergebnisse aufgrund Veränderungen im Stand der Messtechnik,
- Änderung der EGW,
- Vorliegen von Hinweisen auf Grenzwertüberschreitungen, beispielsweise bei Augenbeschwerden oder Hautrötungen von Beschäftigten.

## 3.7 Bericht

(1) Die Ergebnisse aus der Informationsermittlung, der Messung und der Bewertung sind in einem Bericht zusammenzufassen. Dieser umfasst in der Regel folgende Angaben:

- Anlass und Ziel der Messung,
- Angaben zu der Stelle und Person, die die Messung durchgeführt hat,
- Zeitpunkt und Dauer der Messung,
- Angaben zur Tätigkeit und zum Arbeitsplatz,
- falls relevant Angaben zu exponierten Personen,

- Analyse der Arbeitsaufgabe,
- Art und Typ der Strahlungsquelle(n),
- verwendete Schutzausrüstung(en),
- falls möglich Fotos, ansonsten Skizzen des Arbeitsplatzes, der Expositionssituation und der Messorte,
- verwendete Messeinrichtung(en) und Details zum Messverfahren,
- Ergebnisse der Messung und deren Bewertung,
- Angaben zur Messunsicherheit,
- EGW, die zur Bewertung herangezogen wurden,
- ggf. Empfehlungen von Maßnahmen zur Verbesserung der Expositionssituation und der Sicherheit am Arbeitsplatz (inklusive geeigneter Schutzmaßnahmen).

(2) Der Bericht ist Teil der Gefährdungsbeurteilung. Messberichte zur Gefährdungsbeurteilung von künstlicher UV-Strahlung sind 30 Jahre aufzubewahren, um eine retrospektive Beurteilung von Erkrankungsfällen sicherzustellen.

## 4 Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung

In manchen Fällen lässt sich die zu erwartende Strahlungsexposition berechnen. Hierzu sind verschiedene Berechnungsverfahren anwendbar.

### 4.1 Rechenprogramme

Zur Berechnung der Strahlungsexposition stehen verschiedene PC-basierte Programme zur Verfügung. Mit deren Hilfe kann die Exposition durch verschiedene Arten inkohärenter optischer Strahlungsquellen an Arbeitsplätzen berechnet und bewertet werden. Diese Programme existieren sowohl für den UV-Wellenlängenbereich als auch für den sichtbaren und IR-Wellenlängenbereich. Weitere Informationen sind in Anlage 3 dieser TROS IOS zu finden.

### 4.2 Strahlungsexpositionen durch thermische Strahler

(1) Jeder Körper sendet inkohärente optische Strahlung aus. Die Strahlungsemission und der Wellenlängenbereich der emittierten Strahlung hängen von der Temperatur des Körpers ab. Der Zusammenhang zwischen der Körpertemperatur und der Strahlungsemission wird durch das Planck'sche Strahlungsgesetz beschrieben. Je höher die Temperatur ist, desto stärker ist die Strahlungsemission und desto mehr verschiebt sich das Spektrum der emittierten Strahlung zu kleineren Wellenlängen. Zu den künstlichen thermischen Strahlungsquellen inkohärenter optischer Strahlung gehören z. B. Glühlampen, Halogen-Glühlampen, Infrarotlampen, Öfen, Glasschmelzen und Metallschmelzen.

(2) Kennt man die Abmessungen und die Temperatur einer Strahlungsquelle, den Abstand einer Person zu der Strahlungsquelle und die Dauer ihres Aufenthaltes vor der Strahlungsquelle, dann kann man mit Hilfe des Planck'schen Strahlungsgesetzes die Expositionswerte berechnen. Dadurch wird ein Vergleich mit den zutreffenden EGW möglich. Zwei Beispiele für die Berechnung sind in Anlage 1 dieser TROS IOS dargestellt.

## 4.3 Berechnung von Expositionen aus Emissionsdaten von Strahlungsquellen

(1) Zur Berechnung von Expositionen aus Emissionsdaten werden Herstellerangaben zur Strahlungsquelle benötigt. Dies kann insbesondere umfassen:

- allgemein: Entfernungsabhängigkeit der Expositionsdaten, wobei die arbeitsüblichen Abstände berücksichtigt werden sollen, Abmessungen der Quelle bzw. Angaben zur scheinbaren Quelle (Lage und Größe), die spektrale Strahldichte und die daraus resultierenden integralen Strahlungsgrößen, detaillierte Angaben über die Betriebsart (kontinuierlich oder gepulst),
- zusätzlich für UV-Strahlungsquellen: Werte für die Bestrahlungsstärken  $E_{\text{eff}}$ ,  $E_{\text{UVA}}$ ,
- zusätzlich für sichtbare Strahlung: Werte für die Strahldichte  $L_B$  und  $L_R$  beziehungsweise die Bestrahlungsstärke  $E_B$ ,
- zusätzlich für IR-Strahlung: Werte für die Strahldichten  $L_R$ ,  $L_{\text{IR}}$ , die Bestrahlungsstärken  $E_{\text{IR}}$ ,  $E_{\text{Haut}}$ .

## 5 Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung

Die EGW für Expositionen von Beschäftigten an Arbeitsplätzen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung sind in Anlage 2 dieser TROS IOS dargestellt.

## 6 Vorgehensweise bei nicht durch die EGW erfassten Expositionssituationen

(1) Die EGW für inkohärente optische Strahlung nach Abschnitt 5 dieser TROS IOS decken nicht den gesamten Anwendungsbereich der OStrV ab.

(2) Dies kann die Anwendung folgender Verfahrensweisen erfordern:

### 6.1 Wellenlängenbereich von 100 nm bis 180 nm

Es fehlen EGW für inkohärente optische Strahlungsexpositionen im Wellenlängenbereich von 100 nm bis 180 nm.

#### Vorgehensweise

UV-Strahlung mit Wellenlängen kleiner als 180 nm wird in der Luft stark absorbiert. Es kommen dennoch Fälle vor, bei denen UV-Strahlungsquellen so nahe am Körper angewendet werden, dass die Strahlungsexposition in diesem Wellenlängenbereich nicht vernachlässigbar sein kann. Ist hierbei eine Bewertung der Strahlungsexpositionen unter 180 nm Wellenlänge nötig, dann wird folgendermaßen vorgegangen: Es wird die effektive Bestrahlung  $H_{\text{eff}}$  nicht nur für den Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm, sondern für den Bereich von 100 nm bis 400 nm ermittelt. Dazu wird bei allen Wellenlängen kleiner als 180 nm für  $S(\lambda)$  der gleiche Wert von 0,012 eingesetzt, der dem Wert bei 180 nm entspricht. Die so ermittelte effektive Bestrahlung  $H_{\text{eff}}$  wird mit dem EGW verglichen.



## 6.2 Wellenlängenbereich von 3 000 nm bis 1 mm

Es fehlen EGW für inkohärente optische Strahlungsexpositionen im Wellenlängenbereich von 3 000 nm bis 1 mm.

### Vorgehensweise

Besonders bei thermischen Strahlungsquellen, wie Halogenleuchtampen, Metallschmelzen oder Glasschmelzen, können auch Wellenlängen über 3 000 nm bis etwa 20 000 nm wesentlich zu einer thermischen Belastung von Augen und Haut beitragen. Es ist daher zum Schutz von Hornhaut und Bindehaut der Augen vor Verbrennungen erforderlich, bei der Gefährdungsbeurteilung nicht nur die Bestrahlungsstärke  $E_{IR}$  im Wellenlängenbereich 780 nm bis 3 000 nm zu ermitteln, sondern vielmehr die Bestrahlungsstärke  $E_{IR}$  für den Wellenlängenbereich von 780 nm bis 20 000 nm zu ermitteln und mit den bis 3 000 nm festgelegten EGW zu vergleichen.

Bei thermischen Strahlungsquellen mit Temperaturen im Bereich von 800 °C bis ca. 3 000 °C reicht die Einbeziehung der Wellenlängen bis 20 000 nm aus, da Strahlung bei größeren Wellenlängen nicht mehr gefährdend zur Belastung der Augen beiträgt.

## 6.3 EGW zum Schutz vor Verbrennungen der Haut durch IR-Strahlungsexpositionen für Expositionszeiten größer als 10 s

(1) Es fehlen EGW für inkohärente optische Strahlungsexpositionen der Haut im Wellenlängenbereich von 3 000 nm bis 1 mm für Expositionszeiten über 10 s.

(2) Das Auftreten einer Hautverbrennung wird durch die Höhe der aktuellen Bestrahlungsstärke  $E_{Haut}$  und nicht zwangsläufig durch die Bestrahlung  $H_{Haut}$  bestimmt.

### Vorgehensweise

Für den Wellenlängenbereich von 380 nm bis 20 000 nm und Expositionsauern bis zu 1 000 s ist der EGW gemäß Tabelle 3 zu bestimmen.

Tab. 3 Expositionsgrenzwert zum Schutz der Haut vor Verbrennungen durch sichtbare und IR-Strahlung

Wellenlängen in nm	Expositionsgrenzwert	Messgröße/Einheit	Körperteil/Gefährdung
380 bis 20 000 (Sichtbar und IR)	$E_{Haut} = 20\,000 \cdot t^{-0,75}$ bei $t < 10$ s	$E$ in $W/m^2$ $t$ in s	Haut/Verbrennung
380 bis 20 000 (Sichtbar und IR)	$E_{Haut} = 7700 \cdot t^{-0,34}$ bei $10\,s \leq t < 1000$ s	$E$ in $W/m^2$ $t$ in s	Haut/Verbrennung

## 6.4 Anwendung der Expositionsgrenzwerte bei zeitlich veränderlichen Expositionen

In der OStrV fehlen Vorschriften, wie die Grenzwerte für unterbrochene und zeitlich veränderliche Strahlungsexpositionen (wiederholt gepulste oder modulierte Strahlungsexpositionen) anzuwenden sind.

## Vorgehensweise

Falls die Strahlungsexposition während einer Arbeitsschicht variiert oder unterbrochen ist, sind je nach Wirkungsart der Strahlung folgende Fälle zu unterscheiden:

- a. Für die Expositionsgrenzwerte, die zum Schutz vor Schädigungen festgelegt wurden, bei denen die akkumulierte Bestrahlung (dem Produkt aus der Bestrahlungsstärke und der Expositionsdauer bzw. dem Produkt aus der Strahldichte und der Expositionsdauer) die Höhe der Schädigung bestimmt, können die einzelnen Bestrahlungen in der Arbeitsschicht zu einer Gesamtbestrahlung addiert und mit dem Expositionsgrenzwert verglichen werden. Das gilt für die Expositionsgrenzwerte mit den Kennbuchstaben a, b, c und e der Tabelle A2.1 der Anlage 2 dieser TROS IOS.
- b. Bei den Expositionsgrenzwerten mit den Kennbuchstaben c und e können die Gleichungen in der dritten Spalte der Tabelle A2.1 auf beiden Seiten mit  $t$  multipliziert werden. Man erhält so Produkte aus Strahldichte und Expositionsdauer bzw. der Bestrahlungsstärke und Expositionsdauer, für die die Werte von  $10^6 \text{ J}/(\text{m}^2\text{sr})$  bzw.  $100 \text{ J}/\text{m}^2$  nicht überschritten werden dürfen. Auch in diesen Fällen können Einzelexpositionen zu einer Gesamtexposition in der Arbeitsschicht zusammengezählt und mit den genannten Werten verglichen werden.
- c. Die Expositionsgrenzwerte mit den Kennbuchstaben g, h, i, j, k, l, m, n und o wurden zum Schutz vor Verbrennungen von Augen und Haut festgelegt. Da eine Verbrennung der Netzhaut, der Hornhaut oder der Haut von der maximalen Bestrahlungsstärke bzw. Strahldichte abhängt, sind die in der Tabelle festgelegten Werte Maximalwerte und dürfen zu keiner Zeit überschritten werden. Schwierig wird die Bewertung, wenn zwei oder mehr Strahlungsmaxima kurz nacheinander auftreten oder wenn die Strahlungsexposition kurzzeitig unterbrochen ist. Es kann dann sein, dass zwar der Expositionsgrenzwert im Zielorgan beim ersten Maximum nicht überschritten wird, das Auge oder die Haut aber beim Auftreten des nächsten Maximums noch eine erhöhte Temperatur aufweist. Dann kann es zu einer Verbrennung kommen, auch wenn der Expositionsgrenzwert beim nächsten Maximum eingehalten wird. Es sind also zwischen zwei Phasen mit hohen Expositionen Abkühlpausen nötig, die die Temperatur im Zielorgan wieder auf den natürlichen Ausgangswert abklingen lassen. Es ist daher notwendig, bei mehreren hintereinander folgenden Wärmestrahlungsexpositionen zwischen den Einzeleinwirkungen eine ausreichend lange Abkühlungspause einzulegen. Die Abkühlpause muss mindestens fünf Minuten betragen, wenn die Exposition bereits 25 % des EGW erreicht hat. Wird keine ausreichende Abkühlpause eingelegt, dann sind hintereinander folgende Wärmestrahlungseinwirkungen wie eine einzelne lange Exposition zu werten und der Grenzwert ist für die Dauer dieser langen Exposition anzuwenden.
- d. Die Expositionsgrenzwerte mit den Kennbuchstaben d und f dürfen zu keinem Zeitpunkt überschritten werden.

Hinweis:

Gepulste Strahlung mit kurzen Pulslängen

Die Bewertung von gepulster Strahlung mit Pulslängen kleiner als  $18 \mu\text{s}$  und Pulsen mit unterschiedlicher Stärke wird in dieser TROS IOS nicht behandelt. Liegen keine anderen staatlichen oder berufsgenossenschaftlichen Informationen vor, so kann eine Expositionsbewertung gemäß TROS Laserstrahlung durchgeführt werden. Dies führt zu einer sicheren Bewertung der Exposition.

## 7 Literaturhinweise

### Normen und Leitfäden

- (1) DIN EN 12198-1:2008-11: Sicherheit von Maschinen – Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung – Teil 1: Allgemeine Leitsätze
  - (2) DIN EN 14255-1:2005: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung
  - (3)
-

- DIN EN 14255-2:2005: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 2: Sichtbare und infrarote Strahlung künstlicher Quellen am Arbeitsplatz
- (4) DIN EN 16237:2013: Klassifizierung nicht elektrisch betriebener Quellen inkohärenter optischer Strahlung
- (5) DIN EN 62471:2008: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen
- (6) FS VIS/IR: Leitfaden „Nichtionisierende Strahlung – Sichtbare und infrarote Strahlung“, Fachverband für Strahlenschutz
- (7) FS UV: Leitfaden „Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen“, Fachverband für Strahlenschutz e. V., FS-2013-157-AKNIR
- BG-Schriften**
- (8) BGI 5006: BG-Information BGI 5006 „Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung“ Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Oktober 2004, <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi5006.pdf>
- (9) BGIA 2008: Anwendung von Grenzwerten für Expositionen durch inkohärente optische Strahlung, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA (heute IFA), September 2008, [http://www.dguv.de/ifa/de/fac/strahl/pdf/gw\\_inkohaerente\\_opt\\_strahlung.pdf](http://www.dguv.de/ifa/de/fac/strahl/pdf/gw_inkohaerente_opt_strahlung.pdf)
- (10) BGR 500: Betreiben von Arbeitsmitteln, Kapitel 2.26, April 2008, [publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgr500.pdf](http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgr500.pdf)
- Sonstiges**
- (11) EM 6: Merkblatt über Betrachtungsplätze für die fluoreszierende Prüfung mit dem Magnetpulver- und Eindringverfahren – Ausrüstung und Schutzmaßnahmen bei Arbeiten mit UV-Strahlung 2012, überarbeitete Auflage, 14 S. <http://www.dgzfp.de/Dienste/Publikationen.aspx>
- (12) IFA 2011: Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Haut vor Verbrennungen durch Wärmestrahlung – Empfehlung des IFA, Januar 2011, <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/empfehlung--ir-expgrenzwerte.pdf>  
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/empfehlung-ir-expgrenzwerte.pdf>
- (13) catrayon, <http://www.colloquium.fr/06IRPA/CDROM/docs/P-427.pdf>
- (14) INRS, <http://www.inrs.fr>
- (15) Knuschke, P. et al.: 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=1AEA1F578B9EAF93BBEF04870CD8A531.1cid246?blob=publicationFile=7>  
(Abrufdatum: 31.08.2012)
- (16)

Quintern, L. E. et al.: Quintern, L. E.; Horneck, G.; Eschweiler, U.; Bücker, H. (1992): A biofilm used as a ultraviolet dosimeter. Photochem. Photobiol. 55, 389-395

(17)

Reidenbach, H.-D.; Brose, M.; Ott, G.; Siekmann, H.: Praxis-Handbuch optische Strahlung; Erich Schmidt Verlag, Berlin 2012  
<http://www.esv.info/978-3-503-13822-7>

## Anlage 1

### Beispiele für die Berechnung von IR-Strahlungsexposition

#### Beispiel zur Abschätzung der Gefährdung der Augen und der Haut durch IR-Strahlungsexpositionen beim Transport einer Schmelze

Die Höhe und spektrale Verteilung der Strahldichte eines erhitzten Körpers hängt von seiner Temperatur und seinem Emissionsgrad ab. Mit Hilfe der Planck'schen Strahlungsformel kann man berechnen, in welchem Wellenlängenbereich welche Strahlungsanteile auftreten. Für die Gefährdungsbeurteilung an Arbeitsplätzen ist das eine wichtige Information, da man damit die Art einer möglichen Gefährdung abschätzen kann. Zum Beispiel emittiert eine Schmelze aus normalem Glas bei einer Temperatur von ca. 1 300 °C bis 1 400 °C Strahlung im sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich.

#### Berechnungsbeispiel:

(1) Der Fahrer eines Gabelstaplers transportiert mit seinem Fahrzeug einen Kessel mit geschmolzenem Eisen. Der Durchmesser der Kesselöffnung beträgt 85 cm, die Temperatur der Eisenschmelze liegt bei 1 480 °C. Der Abstand der Kesselöffnung zum Fahrer beträgt 2,60 m. Zwischen dem Transportgut und dem Fahrer befindet sich am Stapler zum Schutz vor Spritzern aus der Schmelze eine Schutzscheibe aus Polycarbonat von 8 mm Dicke. Der gegenüber dem Kessel erhöhte sitzende Fahrer blickt in einem Winkel von ca. 45 °C auf die Schmelze.

(2) Nimmt man eine Aufenthaltsdauer des Fahrers von 1 min im Bereich der Wärmestrahlung aus der Eisenschmelze an, dann ist das Ergebnis der Berechnung, dass alle EGW der Kennbuchstaben a bis l der Tabelle A2.1 der Anlage 2 dieser TROS IOS eingehalten werden. Es besteht also im Sinne der OStrV keine Gefährdung der Augen und der Haut durch UV-Strahlung und keine Gefährdung der Netzhaut durch Verbrennung und durch Photoretinitis (Blaulichtschädigung).

(3) Die in Absatz (2) genannte Beurteilung basiert auf einer Berechnungsmethode, die nachfolgend beispielhaft für die Kennbuchstaben a und b der Tabelle A2.1 der Anlage 2 dieser TROS IOS näher erläutert wird. Die Berechnung kann für alle weiteren Berechnungen für die Kennbuchstaben c bis o in ähnlicher Weise vorgenommen werden:

Für die Berechnung der theoretisch zu erwartenden Bestrahlungsstärken  $E_{eff}$  und  $E_{UVA}$  sowie der Bestrahlungen  $H_{eff}$  und  $H_{UVA}$  sind die Formeln zu verwenden, die in Tabelle A2.1 in Anlage 2 dieser TROS IOS unter den Buchstaben a) und b) aufgeführt sind:

$$\begin{array}{ll} \text{a) } E_{eff} = \sum_{\lambda=180nm}^{\lambda=400nm} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda & \text{und} & H_{eff} = E_{eff} \cdot \Delta t \\ \text{b) } E_{UVA} = \sum_{\lambda=315nm}^{\lambda=400nm} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda & \text{und} & H_{UVA} = E_{UVA} \cdot \Delta t \end{array}$$

Die Berechnung mit dem Planck'schen Strahlungsgesetz führt zunächst nicht direkt zur Bestrahlungsstärke  $E$ , sondern zur Strahldichte  $L$  und somit zu:

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

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

Der Zusammenhang zwischen der Bestrahlungsstärke E und der Strahldichte L ergibt sich unter Einbeziehung des Raumwinkels  $\Omega$  zu:

$$E = L \cdot \Omega$$

Der zu verwendende Raumwinkel  $\Omega$  wird aus der Größe der strahlenden Fläche A, dem Abstand zur Quelle r sowie dem Beobachtungswinkel  $\alpha$  berechnet:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \cdot \cos\alpha$$

Für eine runde Strahlungsquelle mit dem Durchmesser d folgt somit:

$$\Omega = \frac{d^2 \cdot \pi}{4 \cdot r^2} \cdot \cos\alpha$$

Damit ergeben sich für die Berechnung der Bestrahlungsstärken folgende Formeln:

$$\text{a) } E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} L_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot \Omega \quad \text{oder} \quad E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} L_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4 \cdot r^2} \cdot \cos\alpha$$

$$\text{b) } E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda=315\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} L_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot \Omega \quad \text{oder} \quad E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda=315\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} L_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4 \cdot r^2} \cdot \cos\alpha$$

Zur Durchführung der Berechnungen wird ein Tabellenkalkulationsprogramm benötigt. Mit diesem Programm wird zunächst unter Anwendung des Planck'schen Strahlungsgesetzes die spektrale Strahldichte mit einer Wellenlängenauflösung von  $\Delta\lambda = 1 \text{ nm}$  im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm berechnet. Die Temperatur der Strahlungsquelle ist dabei in Kelvin einzusetzen, in dem hier vorliegenden Beispiel also 1753 K (entspricht 1480 °C). Man erhält so eine Spalte der Tabellenkalkulation, in der die ungewichteten Strahldichten in 1 nm-Schritten enthalten sind (siehe Spalte 2 in Tabelle A1). In einer weiteren Spalte der Tabellenkalkulation werden anschließend die mit  $S\lambda$  gewichteten Strahldichten berechnet (siehe Spalte 3 in Tabelle A1). Für die weitere Berechnung ist der Raumwinkel  $\Omega$  zu berücksichtigen. Dieser ergibt sich aus dem Durchmesser der strahlenden Fläche ( $d = 0,85 \text{ m}$ ), dem Abstand zur Strahlungsquelle ( $r = 2,6 \text{ m}$ ) und dem Beobachtungswinkel ( $\alpha = 45^\circ$ ) zu:

$$\Omega = \frac{0,85^2 \text{m}^2 \cdot \pi}{4 \cdot 2,6^2 \text{m}^2} \cdot \cos 45^\circ = 0,0594 \text{sr}$$

Anschließend werden die berechneten Werte der Spalten 2 und 3 in Tabelle A1 jeweils mit dem Raumwinkel  $\Omega = 0,0594 \text{ sr}$  multipliziert (siehe Spalten 4 und 5 in Tabelle A1).

Tab. A1 Tabellenkalkulation für die Berechnung von  $E_{\text{eff}}$  und  $E_{\text{UVA}}$  (entsprechend den Formeln a) und b) gemäß Anlage 2 dieser TROS IOS)

$\lambda$ in nm	$L_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$ in $\text{W/m}^2\text{sr}$	$L_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ in $\text{W/m}^2\text{sr}$	$L_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \cdot \Omega$ bzw. $E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$ in $\text{W/m}^2$	$L_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot \Omega$ bzw. $E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$ in $\text{W/m}^2$
180	9,92E-12	1,19E-13	-	7,06E-15
181	1,24E-11	1,56E-13	-	9,26E-15
182	1,55E-11	2,05E-13	-	1,22E-14
.	.	.	-	.
315	1,86E-04	5,57E-07	1,10E05	3,31E-08
.	.	.	-	.
400	1,43E-02	4,28E-07	8,49E-04	2,54E-08
Bestrahlungsstärke E:			$\sum_{\lambda=180\text{nm}}^{400\text{nm}} = 1,94\text{E} - 02$	$\sum_{\lambda=180\text{nm}}^{400\text{nm}} = 3,61\text{E} - 05$

Aus der Summe der berechneten Werte aus den Spalten 4 und 5 der Tabelle A1 ergeben sich die Bestrahlungsstärken zu:

$$\text{a) } E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda = 0,0361 \text{ mW/m}^2$$

$$\text{b) } E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda=315\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda = 19,4 \text{ mW/m}^2$$

Daraus folgt für die Bestrahlung des Fahrers bei einer angenommenen Expositionsdauer von 1 min:

$$\text{a) } H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t = 0,0361 \text{ mW/m}^2 \cdot 60 \text{ s} = 2,2 \text{ mJ/m}^2$$

$$\text{b) } H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t = 19,4 \text{ mW/m}^2 \cdot 60 \text{ s} = 1,16 \text{ J/m}^2$$

Die in der Tabelle A2.1 unter den Kennbuchstaben a) und b) genannten Expositionsgrenzwerte von  $H_{\text{eff}}$  (GW) = 30  $\text{J/m}^2$  und  $H_{\text{UVA}}$  (GW) = 10 000  $\text{J/m}^2$  werden deutlich unterschritten.

(4) Überschritten werden dagegen der EGW zum Schutz vor einer Verbrennung der Hornhaut (Kennbuchstabe m) um das Achtfache und der EGW zum Schutz vor Verbrennungen der Haut um das Fünffache. Als EGW gegen Hautverbrennungen wurde hierbei der nach Abschnitt 6.3 dieser TROS IOS festgelegte Wert verwendet. Der EGW zum Schutz vor Hautverbrennungen wird bereits nach 2,5 s erreicht. Es liegt also durch die starke Wärmestrahlung aus der Eisenschmelze eine hohe Verbrennungsfahrer für die Augen und die Haut vor.

(5) Daher müssen umgehend Maßnahmen ergriffen werden, die zur Verringerung der Strahlungsexposition des Staplerfahrers führen. Es sind also wirksame Schutzmaßnahmen gegen Wärmestrahlung nötig, um die Einhaltung der EGW zu erreichen. Die vorgeschriebene Rangfolge der Schutzmaßnahmen gemäß § 7 Absatz 1 OStrV ist bei deren Auswahl und Festlegung zu beachten.

(6) Das Beispiel zeigt, dass es Fälle gibt, in denen eine Berechnung der Exposition eine aufwändige Messung ersetzen kann. Eine Gefährdungsbeurteilung nach § 3 OStrV wird dadurch vereinfacht.

### **Beispiel zur Abschätzung der Gefährdung der Augen und der Haut durch IR-Strahlungsexpositionen an einem in der Gastronomie gebräuchlichen Kontaktgrill**

(1) In der Gastronomie werden häufig sogenannte „Kontaktgrills“ eingesetzt. Hierbei handelt es sich um Geräte, bei denen eine große, meist rechteckige und beschichtete Metallplatte erhitzt wird. In einigen Restaurants wird an diesen Platten direkt vor dem Tisch der Gäste gekocht, in anderen Fällen werden diese Geräte eingesetzt, um große Mengen Fleisch zu braten. Oftmals sind Beschäftigte in der Gastronomie über mehrere Stunden an diesen Arbeitsplätzen tätig. Dabei werden die Augen, das Gesicht sowie die Hände und Arme der thermischen Strahlung der heißen Platte ausgesetzt.

(2) Die Strahlungsemission von Quellen der beschriebenen Art lässt sich durch das Planck'sche Strahlungsgesetz beschreiben. Kennt man die Temperatur des Körpers und die Größe der strahlenden Fläche, so lässt sich die Strahlungsemission abschätzen. Dadurch können aufwändige Messungen vermieden werden. Abweichungen vom berechneten Wert sind nur „nach unten“ möglich, d. h., ein Irrtum würde einzig den Sicherheitsfaktor erhöhen, nicht jedoch die Gefährdung.

Berechnungsbeispiel:

(1) Ein Koch arbeitet an einem Kontaktgrill, um dort Minutensteaks zu braten (Expositionszeit 60 Sekunden). Die Hände befinden sich in einem Abstand von 10 cm zur 400 °C (673 K) heißen Kochfläche, die Augen in einem Abstand von 60 cm. Die strahlende Fläche hat eine Größe von 0,36 m<sup>2</sup>. Das Ergebnis der Berechnung ist, dass alle EGW der Kennbuchstaben a bis l der Tabelle A2.1 der Anlage 2 dieser TROS IOS eingehalten werden. Es besteht also im Sinne der OStrV keine Gefährdung der Augen und der Haut durch UV-Strahlung und keine Gefährdung der Netzhaut durch Verbrennung und durch Photoretinitis (Blaulichtschädigung).

(2) Eingehalten wird auch der EGW zum Schutz vor einer Verbrennung der Hornhaut (Kennbuchstabe m). Es wird ein Drittel des EGW erreicht. Nicht eingehalten werden der EGW zum Schutz vor Verbrennungen der Gesichtshaut (Überschreitung um das Zweifache) und der Haut an den Händen und den Unterarmen (Überschreitung um das 66-fache). Als EGW gegen Hautverbrennungen wurde hierbei der nach Abschnitt 6.3 dieser TROS IOS festgelegte Wert verwendet. Der EGW zum Schutz vor Verbrennungen der Haut an Händen und Unterarmen wird bereits nach weniger als 1 s erreicht. Es liegt also durch die starke Wärmestrahlung vom Kontaktgrill eine Gefährdung für die Haut im Gesicht und an den Händen/Unterarmen vor.

(3) Daher müssen umgehend die erforderlichen Maßnahmen ergriffen werden, die zur Verringerung der Strahlungsexposition des Kochs führen. Hierzu zählen insbesondere technische Maßnahmen (Anbringen einer Schutzscheibe), organisatorische Maßnahmen (die Einschränkung der Expositionszeit) oder persönliche Maßnahmen (Tragen von Handschuhen und Gesichtsschutz als PSA). Die vorgeschriebene Rangfolge der Schutzmaßnahmen gemäß § 7 Absatz 1 OStrV ist bei deren Auswahl und Festlegung zu beachten.

(4) Auch dieses Beispiel zeigt, dass es Fälle gibt, in denen eine Berechnung der Exposition eine aufwändige Messung ersetzen kann. Eine Gefährdungsbeurteilung nach § 3 OStrV wird dadurch vereinfacht.

## **Anlage 2 Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung**

(1) Die biophysikalisch relevanten Expositionswerte für optische Strahlung lassen sich anhand der nachstehenden Formeln bestimmen. Welche Formel zu verwenden ist, hängt von dem Spektralbereich der von der Quelle

---

ausgehenden Strahlung ab; die Ergebnisse sind mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten der Tabelle A2.1 zu vergleichen. Für die jeweilige optische Quelle können mehrere Expositionsgrenzwerte relevant sein.

(2) Die Buchstaben a) bis o) beziehen sich auf die entsprechenden Zeilen in Tabelle A2.1.

$$\text{a) } ^1) \quad H_{\text{eff}} = \int_{0}^t \int_{180 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt \quad H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t = \sum_{\lambda=180 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot \Delta t$$

$$\text{b)} \quad H_{\text{UVA}} = \int_{0}^t \int_{315 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t = \sum_{\lambda=315 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot \Delta t$$

$$\text{c, d)} \quad L_B = \int_{300 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad L_B = \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{e, f)} \quad E_B = \int_{300 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad E_B = \sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{g, h, i)} \quad L_R = \int_{380 \text{ nm}}^{1400 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda \quad L_R = \sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{1400 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{j, k, l)} \quad L_{\text{IR}} = \int_{780 \text{ nm}}^{1400 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda \quad L_{\text{IR}} = \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{1400 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{m, n)} ^2) \quad E_{\text{IR}} = \int_{780 \text{ nm}}^{3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda \quad E_{\text{IR}} = \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{o)} ^2) \quad H_{\text{Haut}} = \int_{0}^t \int_{380 \text{ nm}}^{3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad H_{\text{Haut}} = \sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot \Delta t$$

$$H_{\text{Haut}} = E_{\text{Haut}} \cdot t$$

Kommentare zu Tabelle A2.1:

1) Strahlung unterhalb von 180 nm wird in Luft sehr stark absorbiert und kommt nur an wenigen Arbeitsplätzen vor. Bewertungen von Strahlungsexpositionen unterhalb von 180 nm sind daher nur sehr selten und nur bei sehr starker Strahlungsintensität in diesem Wellenlängenbereich notwendig. Über die Wichtungsfunktion S(λ) liegen unterhalb von 180 nm noch keine gesicherten Erkenntnisse vor, Hinweise zur Vorgehensweise sind in Abschnitt 6.7 dieser TROS IOS zu finden.

2) Es gibt Strahlungsquellen (beispielsweise Metallschmelzen), die erhebliche Strahlungsanteile im Wellenlängenbereich über 3 000 nm besitzen. Hier kann es erforderlich sein, Strahlungsanteile bis zu einer Wellenlänge von 20 μm mit zu berücksichtigen. Für die Formeln m), n) und o) ist die obere Integrations- bzw.



Summengrenze auf 20  $\mu\text{m}$  zu setzen. Zur Messung und Berechnung bei thermischen Strahlungsquellen sind Verfahren in der TROS IOS, Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“ angegeben.

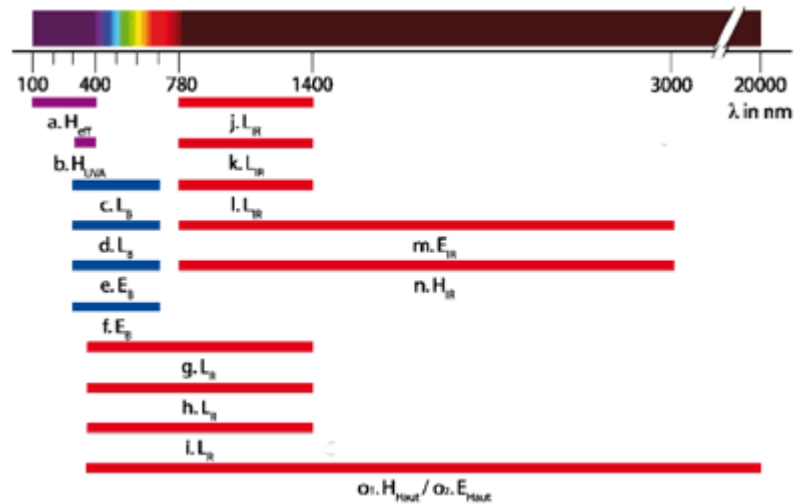
Hinweise:

$E_{\lambda}(\lambda, t), E_{\lambda}(\lambda)$	<i>spektrale Bestrahlungsstärke</i> oder <i>spektrale Leistungsdichte</i> : die auf eine Fläche einfallende Strahlungsleistung je Flächeneinheit, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Nanometer ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ); $E_{\lambda}(\lambda, t)$ und $E_{\lambda}(\lambda)$ werden aus Messungen gewonnen oder können vom Hersteller angegeben werden;
$E_{\text{eff}}$	<i>effektive Bestrahlungsstärke (UV-Wellenlängenbereich)</i> : Bestrahlungsstärke im UV-Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm, spektral gewichtet mit $S(\lambda)$ , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ );
H	<i>Bestrahlung</i> : das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ )
$H_{\text{eff}}$	<i>effektive Bestrahlung</i> : Bestrahlung, spektral gewichtet mit $S(\lambda)$ , ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ )
$E_{\text{UVA}}$	<i>Gesamtbestrahlungsstärke (UV-A)</i> : Bestrahlungsstärke im UV-A-Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ );
$H_{\text{UVA}}$	<i>Bestrahlung</i> : das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit und die Wellenlänge im UV-A-Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ );
$S(\lambda)$	<i>spektrale Wichtung</i> unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit der gesundheitlichen Auswirkungen von UV-Strahlung auf Auge und Haut, dimensionslos (Tabelle A2.2);
t, $\Delta t$	<i>Zeit, Expositionsdauer</i> , ausgedrückt in Sekunden (s);
$\lambda$	<i>Wellenlänge</i> , ausgedrückt in Nanometern (nm);
$L_{\lambda}(\lambda)$	<i>spektrale Strahldichte der Quelle</i> , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian pro Nanometer ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$ );
$R(\lambda)$	<i>spektrale Wichtung</i> unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit der dem Auge durch sichtbare und IR-A-Strahlung zugefügten thermischen Schädigung, dimensionslos (Tabelle A2.3);
$L_{\text{R}}$	<i>effektive Strahldichte (thermische Schädigung)</i> : Strahldichte, spektral gewichtet mit $R(\lambda)$ , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ );
$L_{\text{IR}}^{3)}$	<i>effektive Strahldichte (thermische Schädigung bei schwachem visuellen Reiz)</i> : Strahldichte, spektral gewichtet mit $R(\lambda)$ , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ );
$B(\lambda)$	<i>spektrale Wichtung</i> unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit der fotochemischen Schädigung des Auges, dimensionslos (Tabelle A2.3);
$L_{\text{B}}$	<i>effektive Strahldichte (fotochemische Schädigung)</i> : Strahldichte, spektral gewichtet mit $B(\lambda)$ , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ );
$E_{\text{B}}$	<i>effektive Bestrahlungsstärke (fotochemische Schädigung)</i> : Bestrahlungsstärke, spektral gewichtet mit $B(\lambda)$ , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

3) Es wird zwischen der effektiven Strahldichte  $L_{\text{R}}$  (380 nm bis 1400 nm) und der effektiven Strahldichte  $L_{\text{IR}}$  (780 nm bis 1400 nm) unterschieden. Hintergrund ist die unterschiedliche Herkunft der Grenzwerte. Quellen oberhalb von 780 nm sind für das Auge in der Regel nicht sichtbar, daher ist die Pupille des Auges größer und die eintretende Strahlung entsprechend höher im Vergleich zur Pupille, die durch sichtbare Anteile kleiner ist.

E <sub>IR</sub>	<i>Gesamtbestrahlungsstärke (thermische Schädigung):</i> berechnete Bestrahlungsstärke im IR-Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ( $W \cdot m^{-2}$ );
E <sub>Haut</sub>	<i>Gesamtbestrahlungsstärke (sichtbar, IR-A und IR-B):</i> berechnete Bestrahlungsstärke im sichtbaren und IR-Wellenlängenbereich von 380 nm bis 20 000 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ( $W \cdot m^{-2}$ );
H <sub>Haut</sub>	<i>Bestrahlung:</i> das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit und die Wellenlänge im sichtbaren und IR-Wellenlängenbereich von 380 nm bis 3000 nm, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter ( $J \cdot m^{-2}$ );
$\alpha$	<i>Winkelausdehnung:</i> der ebene Winkel, unter dem eine Quelle von einem Raumpunkt erscheint, ausgedrückt in Milliradian (mrad).
$\lambda$	<i>Messempfangswinkel,</i> ausgedrückt in Milliradian (mrad);

Abb. A2.1 Vereinfachte Darstellung der EGW entsprechend der Abschnitte 5 und 6 der TROS IOS, Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“



Tab. A2.1 Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung

Kennbuchstabe	Wellenlänge in nm	Expositionsgrenzwert	Zeitbasis	Winkel	Körperteil	Gefährdung(en)
a)	100-400 (UV-A, UV-B, UV-C)	$H_{\text{eff}} = 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	8 h		Auge: Hornhaut Bindehaut Linse  Haut	Photokeratitis Konjunktivitis Kataraktogenese  Erythem Elastose Hautkrebs
b)	315-400 (UV-A)	$H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	8 h		Auge: Linse	Kataraktogenese
c)	300-700 (Blau-licht) siehe Fußnote 1	$L_B = \frac{10^6}{t} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$t \leq 10000 \text{ s}$	bei $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$	Auge: Netzhaut	Photoretinitis
d)		$L_B = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$t > 10000 \text{ s}$			
e)		$E_B = \frac{100}{t} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$t \leq 10000 \text{ s}$	bei $\alpha < 11 \text{ mrad}$ siehe Fußnote 2		
f)		$E_B = 0,01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$t > 10000 \text{ s}$			
g)	380-1400 (Sichtbar, IR-A)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$t > 10 \text{ s}$	$C_\alpha = 1,7$ bei $\alpha < 1,7 \text{ mrad}$	Auge: Netzhaut	Netzhautverbrennung
h)		$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$	$C_\alpha = \alpha$ bei $1,7 \text{ mrad} \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$		
i)		$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$t < 10 \mu\text{s}$	$C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100 \text{ mrad}$		
j)	780-1400 (IR-A)	$L_{\text{IR}} = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$t > 10 \text{ s}$	$C_\alpha = 11$ bei $\alpha < 11 \text{ mrad}$	Auge: Netzhaut	Netzhautverbrennung
k)		$L_{\text{IR}} = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha \cdot t^{0,25}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$	$C_\alpha = \alpha$ bei $11 \text{ mrad} \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$		
l)		$L_{\text{IR}} = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$t < 10 \mu\text{s}$	$C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100 \text{ mrad}$ (Messgesichtsfeld $\gamma = 11 \text{ mrad}$ )		
m)	780-3000 (IR-A, IR-B)	$E_{\text{IR}} = 18000 \cdot t^{-0,75} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$t \leq 1000 \text{ s}$		Auge: Hornhaut Linse	Hornhautverbrennung Kataraktogenese
n)		$H_{\text{IR}} = 3 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ siehe Fußnote 5	$t > 1000 \text{ s}$			
o <sup>1)</sup>	380-10 <sup>6</sup> (Sichtbar, IR-A, IR-B)	$H_{\text{Haut}} = 20000 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ siehe Fußnote 6	$t < 10 \text{ s}$		Haut	Verbrennung
o <sup>2)</sup>	380-10 <sup>6</sup> (Sichtbar, IR-A, IR-B)	$E_{\text{Haut}} = 7700 \cdot t^{-0,34} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ siehe Fußnote 6	$10 \text{ s} \leq t \leq 1000 \text{ s}$			

**Fußnote 1** Der Bereich von 300 nm bis 700 nm deckt Teile der UV-B-Strahlung, die gesamte UVA-Strahlung und den größten Teil der sichtbaren Strahlung ab; die damit verbundene Gefährdung wird oft als Gefährdung durch „Blaulicht“ bezeichnet.

**Fußnote 2** Bei stetiger Fixierung von sehr kleinen Quellen mit einem Öffnungswinkel 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  $t_{\text{max}} = 100/E_B$ , wobei  $E_B$  in  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$  ausgedrückt wird. Wegen der Augenbewegungen bei normalen visuellen Anforderungen werden 100 s hierbei nicht überschritten.

- Fußnote 3* Grenzwerte j, k, l, gelten für IR-Strahlungsquellen, die keine oder nur geringe Strahlung aus dem sichtbaren Spektralbereich emittieren. Weitere Hinweise dazu werden im TROS IOS, Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“ gegeben.
- Fußnote 4* Die Anwendung der Grenzwerte m, n wird im TROS IOS, Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“ erläutert.
- Fußnote 5* Dieser Expositionsgrenzwert gilt für einmalige oder wiederholte IR-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Dauert die tägliche Arbeitszeit länger als 8 h, dann darf dennoch der festgelegte 8-Stunden-Expositionsgrenzwert nicht überschritten werden.
- Fußnote 6* Dieser Expositionsgrenzwert gilt für Expositionszeiten größer als 10 Sekunden bis 1 000 Sekunden. Ist die Expositionszeit länger als 1 000 Sekunden, müssen Abkühlzeiten von mindestens 5 Minuten eingeführt werden.

Tab. A2.2 Wichtungsfunktion  $S(\lambda)$  (dimensionslos)

$\lambda$ in nm	$S(\lambda)$	$\lambda$ in nm	$S(\lambda)$	$\lambda$ in nm	$S(\lambda)$	$\lambda$ in nm	$S(\lambda)$
180	0,0120	235	0,2400	290	0,6400	345	0,000240
181	0,0126	236	0,2510	291	0,6186	346	0,000231
182	0,0132	237	0,2624	292	0,5980	347	0,000223
183	0,0138	238	0,2744	293	0,5780	348	0,000215
184	0,0144	239	0,2869	294	0,5587	349	0,000207
185	0,0151	240	0,3000	295	0,5400	350	0,000200
186	0,0158	241	0,3111	296	0,4984	351	0,000191
187	0,0166	242	0,3227	297	0,4600	352	0,000183
188	0,0173	243	0,3347	298	0,3989	353	0,000175
189	0,0181	244	0,3471	299	0,3459	354	0,000167
190	0,0190	245	0,3600	300	0,3000	355	0,000160
191	0,0199	246	0,3730	301	0,2210	356	0,000153

192	0,0208	247	0,3865	302	0,1629	357	0,00014 7
193	0,0218	248	0,4005	303	0,1200	358	0,00014 1
194	0,0228	249	0,4150	304	0,0849	359	0,00013 6
195	0,0239	250	0,4300	305	0,0600	360	0,00013 0
196	0,0250	251	0,4465	306	0,0454	361	0,00012 6
197	0,0262	252	0,4637	307	0,0344	362	0,00012 2
198	0,0274	253	0,4815	308	0,0260	363	0,00011 8
199	0,0287	254	0,5000	309	0,0197	364	0,00011 4
200	0,0300	255	0,5200	310	0,0150	365	0,00011 0
201	0,0334	256	0,5437	311	0,0111	366	0,00010 6
202	0,0371	257	0,5685	312	0,0081	367	0,00010 3
203	0,0412	258	0,5945	313	0,0060	368	0,00009 9
204	0,0459	259	0,6216	314	0,0042	369	0,00009 6
205	0,0510	260	0,6500	315	0,0030	370	0,00009 3
206	0,0551	261	0,6792	316	0,0024	371	0,00009 0
207	0,0595	262	0,7098	317	0,0020	372	0,00008 6
208	0,0643	263	0,7417	318	0,0016	373	0,00008 3
209	0,0694	264	0,7751	319	0,0012	374	0,00008 0
210	0,0750	265	0,8100	320	0,0010	375	0,00007 7

211	0,0786	266	0,8449	321	0,00081 9	376	0,00007 4
212	0,0824	267	0,8812	322	0,00067 0	377	0,00007 2
213	0,0864	268	0,9192	323	0,00054 0	378	0,00006 9
214	0,0906	269	0,9587	324	0,00052 0	379	0,00006 6
215	0,0950	270	1,0000	325	0,00050 0	380	0,00006 4
216	0,0995	271	0,9919	326	0,00047 9	381	0,00006 2
217	0,1043	272	0,9838	327	0,00045 9	382	0,00005 9
218	0,1093	273	0,9758	328	0,00044 0	383	0,00005 7
219	0,1145	274	0,9679	329	0,00042 5	384	0,00005 5
220	0,1200	275	0,9600	330	0,00041 0	385	0,00005 3
221	0,1257	276	0,9434	331	0,00039 6	386	0,00005 1
222	0,1316	277	0,9272	332	0,00038 3	387	0,00004 9
223	0,1378	278	0,9112	333	0,00037 0	388	0,00004 7
224	0,1444	279	0,8954	334	0,00035 5	389	0,00004 6
225	0,1500	280	0,8800	335	0,00034 0	390	0,00004 4
226	0,1583	281	0,8568	336	0,00032 7	391	0,00004 2
227	0,1658	282	0,8342	337	0,00031 5	392	0,00004 1
228	0,1737	283	0,8122	338	0,00030 3	393	0,00003 9
229	0,1819	284	0,7908	339	0,00029 1	394	0,00003 7

230	0,1900	285	0,7700	340	0,00028 0	395	0,00003 6
231	0,1995	286	0,7420	341	0,00027 1	396	0,00003 5
232	0,2089	287	0,7151	342	0,00026 3	397	0,00003 3
233	0,2188	288	0,6891	343	0,00025 5	398	0,00003 2
234	0,2292	289	0,6641	344	0,00024 8	399	0,00003 1
						400	0,00003 0

Tab. A2.3 Wichtungsfunktionen  $B(\lambda)$ ,  $R(\lambda)$  (dimensionslos)

$\lambda$ in nm	$B(\lambda)$	$R(\lambda)$
$300 \leq \lambda < 380$	0,01	–
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1,0
405	0,2	2,0
410	0,4	4,0
415	0,8	8,0
420	0,9	9,0
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1,0	10,0
440	1,0	10,0

445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9,0
460	0,8	8,0
465	0,7	7,0
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1,0
$500 < \lambda \leq 600$	$10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$	1,0
$600 < \lambda \leq 700$	0,001	1,0
$700 < \lambda \leq 1050$	–	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
$1050 < \lambda \leq 1150$	–	0,2
$1150 < \lambda \leq 1200$	–	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150 - \lambda)}$
$1200 < \lambda \leq 1400$	–	0,02

## Anlage 3

### Rechenprogramme zur Expositionsabschätzung

#### Rechenprogramm Catrayon (11)

Vom französischen Arbeitsschutzinstitut „Institut National de Recherche et de Sécurité“ (INRS) (12) wurde ein Programm entwickelt, mit dessen Hilfe Expositionen durch verschiedene Arten optischer Strahlungsquellen an Arbeitsplätzen berechnet und bewertet werden können (siehe Literaturhinweise). Das Programm enthält Daten von über 400 verschiedenen optischen Strahlungsquellen. In der 4. Ausgabe erlaubt es auch die Berechnung von Expositionen, die durch mehrere Quellen gleichzeitig verursacht werden. Das Programm berechnet für verschiedene Wellenlängenbereiche Gefährdungsindizes, die angeben, wie hoch die berechnete Exposition im Verhältnis zum jeweiligen Expositionsgrenzwert liegt. Daran kann man erkennen, ob Expositionsgrenzwerte am



Arbeitsplatz überschritten werden können. Das Programm liegt in französischer und englischer Sprache vor und kann vom INRS (12) kostenfrei bezogen werden.

## Anlage 4

### Beispiele für die Notwendigkeit von Expositionsmessungen und die Anwendung von Schutzmaßnahmen bei verschiedenen Tätigkeiten

**Vorbemerkung:** Die Tabelle gibt beispielhaft für verschiedene Tätigkeiten und Arbeitsplätze auf Grund der derzeitigen Erkenntnisse an, ob und unter welchen Voraussetzungen Messungen in der Regel notwendig, eventuell notwendig oder nicht notwendig sind. Falls bezüglich der Auswahl der zu treffenden Schutzmaßnahmen und der Risiken Zweifel bestehen, gibt eine Messung Klarheit über die Exposition.

Tätigkeit/Expositionsbedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
Elektroschweißen:  Schweißer, Bystander			X	Die UV-Strahlungsexposition ist beim Elektroschweißen so hoch, dass nach kürzester Zeit die Expositionsgrenzwerte überschritten werden. Mit Augen- und Hautschäden ist zu rechnen.  Schutzmaßnahmen sind zwingend notwendig.	Schweißmaschinen müssen in der Regel gekapselt sein.  Verwendung persönlicher Schutzausrüstung ist notwendig (siehe TROS IOS, Teil 3 Anlage 1). Weitere Hinweise liefert (10).
Elektroschweißen:  Personen in der Umgebung von Schweißarbeitsplätzen		X		Je nach Abstand und Aufenthaltsdauer vom Elektroschweißen können ohne Schutzvorrichtungen die Expositionsgrenzwerte überschritten werden.  Messungen sind nicht erforderlich, wenn die nebenstehenden Schutzmaßnahmen nach Kapitel 2.26 der BGR 500 getroffen werden.	Schweißarbeitsplatz durch Vorhänge oder Stellwände zu anderen Arbeitsplätzen abschirmen
Fluxarbeitsplätze  (Magnetfeld-Riss-Prüfung)		X		An Fluxarbeitsplätzen können das Gesicht und die Hände und Arme der UV-Strahlung ausgesetzt sein. Welche Körperteile exponiert sind, hängt von der geometrischen Anordnung der Strahlungsquelle (Höhe der UV-Lampe über dem Gesichtsniveau) und von den angewendeten Schutzmaßnahmen ab. Bietet die Arbeitskleidung keinen ausreichenden Schutz, ist PSA zu nutzen. Liegen Bereiche des Körpers und der Haut ungeschützt im Strahlungsbereich, dann sind Messungen nötig. Sind alle Körperteile im Strahlungsbereich geschützt, dann kann auf Messungen verzichtet werden. Dies gilt allerdings nur, wenn auch an Werkstücken und Begrenzungen reflektierte Strahlung nicht auf ungeschützte Körperteile einwirken kann.	Anordnung des Strahlungsaustritts fest installierter UV-Lampen unterhalb der Augenhöhe  Anbringung einer Schutzscheibe zwischen UV-Lampe und Gesicht  Bietet die Arbeitskleidung keinen ausreichenden Schutz, ist PSA zu nutzen.  Hinweis: Weitere Informationen sind unter (11) zu finden.

<p>Verarbeitung von UV-härtenden Kleb- und Kunststoffen,  z. B. in der Dentaltechnik</p>		X	<p>Bei der Verarbeitung UV-härtender Kleb- und Kunststoffe können das Gesicht und die Hände und Unterarme der UV-Strahlung ausgesetzt sein. Welche Körperteile exponiert sind, hängt von der Art der Verarbeitung und von den angewendeten Schutzmaßnahmen ab. Bietet die Arbeitskleidung keinen ausreichenden Schutz, ist PSA zu nutzen. Die Angaben des Herstellers sind zu beachten. Auf die Messung kann jedoch verzichtet werden, wenn der Hersteller ausreichende Angaben zur Emission macht und alle Körperteile im Strahlungsbereich geschützt sind (z. B. bei Durchführung der UV-Bestrahlung in einem allseitig geschlossenen Gehäuse).</p>	<p>Ausschließliche Verwendung von UV-Lampen, deren Strahlungsspektrum auf den verwendeten Kleb- und Kunststoff abgestimmt ist.</p> <p>Die verwendete UV-Lampe darf nur UV-Strahlung der Wellenlängen emittieren, die für den Härteprozess notwendig sind.</p> <p>Eine an der Strahlenaustrittsöffnung der UV-Lampe eventuell vorhandene Filterscheibe darf nicht entfernt oder durch eine Scheibe mit anderen Transmissions-Eigenschaften ersetzt werden.</p> <p>Bei der Verwendung von UV-Handlampen ist während der Vorbereitung des Aushärtungsvorgangs die eingeschaltete UV-Lampe so abzuliegen, dass niemand der Strahlung ausgesetzt wird.</p> <p>Die zu verklebenden Teile sind mittels einer geeigneten Vorrichtung so zu fixieren, dass während der Bestrahlung der Klebstelle nicht mit der Hand in den Strahlungsbereich gefasst werden muss.</p> <p>Bietet die Arbeitskleidung keinen ausreichenden Schutz, ist PSA nutzen.</p>
<p>UV-Trocknung von Farben, Lacken und anderen Beschichtungen  (z. B. Druckmaschinen)</p>		X	<p>Die bei der UV-Trocknung verwendeten Einrichtungen sind durch entsprechende Kapselführung oder durch die Verwendung von Abschirmungen häufig so ausgestattet, dass nur eine geringe oder keine Strahlungsexposition zu erwarten ist. Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlungsemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden. Bei unvollständiger oder fehlender Abschirmung sind hohe UV-Strahlungsexpositionen möglich. Insbesondere beim Nachfüllen von Farbe oder bei Wartungsarbeiten werden häufig Tätigkeiten in Nähe der nicht abgeschirmten UV-Strahlungsquelle durchgeführt. Messungen sind dann notwendig.</p>	<p>Vollständige Abschirmung aller Strahlungsaustrittsöffnungen</p> <p>Automatische Unterbrechung des Strahlungsaustritts beim Öffnen des abschirmenden Gehäuses der Anlage</p> <p>Bietet die Arbeitskleidung keinen ausreichenden Schutz, ist PSA zu nutzen.</p> <p>UV-Schutzbrille (z. B. wenn Tätigkeiten in der Nähe der eingeschalteten, nicht vollständig abgeschirmten Strahlungsquelle notwendig sind)</p>
<p>Sichtbarmachung von Markierungen mittels UV-Strahlern</p>		X	<p>Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlungsemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden.</p> <p>Bei Arbeiten an UV-Strahlern bis 8 W, an denen nicht ständig gearbeitet wird, werden die Expositionsgrenzwerte für Haut und Auge</p>	<p>Bei Arbeiten mit UV-Strahlung kann die Verwendung von persönlichen Schutzausrüstungen notwendig sein. Dies gilt insbesondere, wenn über einen längeren Zeitraum die mit UV-Strahlung bestrahlte Markierung beobachtet werden muss.</p>

				unterschritten (Geldscheinprüfung). Bei Arbeiten mit UV-Strahlern mit höherer Leistung können die Expositionsgrenzwerte überschritten werden.	tet und zusätzlich Tätigkeiten im Strahlungsbereich vorgenommen werden müssen.
Diaprojektor, Beamer oder ähnliche Geräte			X	Die Expositionsgrenzwerte $L_R$ , $L_B$ für die Augen werden nach kurzer Zeit (Sekundenbereich) überschritten. Ein längeres Hineinschauen in den direkten Strahl wird jedoch wegen der hohen Leuchtdichte (Blendung) von jedem Benutzer vermieden.	Schutzmaßnahmen werden nur dann notwendig, wenn ein absichtliches Hineinschauen für die Arbeit notwendig ist (in der Regel sind Schweißerschutzbrillen – Schutzstufe 4 und höher – geeignete PSA).
Bearbeitung von Glas und sonstige Tätigkeiten an Glas-Schmelzöfen (z. B. Glasbläser)		X		Bei der Glasherstellung und -bearbeitung ist vorwiegend eine Exposition der Augen durch IR-Strahlung gegeben. Daneben ist aber auch eine Exposition durch sichtbare oder UV-Strahlung möglich. Als Strahlungsquelle kommen dabei das glühende/geschmolzene Glas oder auch eventuell vorhandene Gasflammen in Betracht. Die Höhe der Exposition ist u. a. von der Temperatur der Strahlungsquelle abhängig. Zuverlässige Informationen zur Strahlungsexposition lassen sich nur durch eine Messung ermitteln.  Hinweis: Sofern eine geeignete Schutzbrille getragen wird, sind Messungen nicht notwendig.	Verwendung fest installierter Abschirmungen (z. B. Metallplatten, IR-Schutzglas, ggf. auch Scheiben zum Schutz vor UV-Strahlung)  Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen (insbesondere IR-Schutzbrillen)
Bühnen-Scheinwerfer  in Veranstaltungs- und Produktionsstätten für szenische Darstellung		X		In Bühnenscheinwerfern kommen Lampen zum Einsatz, die neben sichtbarer Strahlung auch eine intensive UV-Strahlung emittieren können. Wird der Scheinwerfer mit entfernter, beschädigter oder einer falschen Filterscheibe betrieben, dann sind bei einem Aufenthalt im Strahlungsbereich hohe UV-Expositionen möglich. Hierbei sind Summationseffekte beim Einsatz von mehreren Scheinwerfern zu beachten.	Betrieb des Scheinwerfers nur zusammen mit der Original-Filterscheibe  Weitere Schutzmaßnahmen werden notwendig, wenn ein absichtliches Hineinschauen in den ungefilterten Scheinwerfer für die Arbeit notwendig ist (in der Regel sind Schweißerschutzbrillen – Schutzstufe 4 und höher – geeignete PSA), z. B. bei Reparaturarbeiten.
Anwendungen von Entkeimungsanlagen (offene Anwendung),  z. B. in Krankenhäusern, Abfallbehandlungsanlagen, Laboratorien, zoologische Einrichtungen		X		Zur Entkeimung wird üblicherweise UV-C-Strahlung verwendet, die zu einer hohen Strahlungsexposition führen kann. In vielen Fällen wird die Entkeimung durchgeführt, wenn sich keine Personen im Strahlungsbereich aufhalten. Messungen sind dann nicht notwendig. Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlungsemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden.	Die Strahlungsausstrittsöffnungen der UV-Strahler sind so anzuordnen, dass die Beschäftigten nicht der UV-Strahlung ausgesetzt sind. Die Exposition durch Streustrahlung ist so gering wie möglich zu halten.  Bietet die Arbeitskleidung keinen ausreichenden Schutz, ist PSA zu nutzen.
Anwendung von IR-Strahlern zur Trocknung		X		Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlungsemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden.	Abschirmung der Strahler

					Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen, z. B. bei Wartungsarbeiten
Arbeiten an Metallschmelzen  (kein Hochofen)	X			Bei Arbeiten an Metallschmelzen ist eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte möglich.	Verwendung fest installierter Abschirmungen (z. B. Metallplatten, IR-Schutzglas)  Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen (insbesondere IR-Schutzbrillen)
Arbeiten an Hochöfen			X	Bei Arbeiten an Hochöfen werden die Expositionsgrenzwerte auf jeden Fall überschritten.  Mit Schädigung der Augen und der Haut ist zu rechnen.	Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen  (Diese Schutzmaßnahme ist in jedem Fall notwendig.)
Medizinische Anwendungen von UV-Strahlungs-Therapiegeräten  (Solarien,IR-Strahler)		X		Bei der Bestrahlung von Patienten kann das medizinische Personal, das die Bestrahlung durchführt, ebenfalls der Strahlung ausgesetzt sein. Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlungsemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden.	Aufenthalt des medizinischen Personals während der Bestrahlung in einem abgeschirmten Bereich.