



Messung optischer Strahlung am Arbeitsplatz

Eine Handlungshilfe

baua: Praxis

Inhalt

	Einleitung	2
<hr/>		
1	Voraussetzungen für die Messung inkohärenter Strahlung	3
	Quellen optischer Strahlung	4
	Die Messung zur Gefährdungsbeurteilung vorbereiten	6
	Gefährdungen durch optische Strahlung	7
<hr/>		
2	Grenzwerte feststellen	9
	Zulässige Expositionsdauer und Berechnung der Expositionsgrenzwerte	11
<hr/>		
3	Messverfahren und Messungen	16
	Integralmessgeräte	17
	Spektralmessgeräte	18
	Korrekte Messergebnisse erreichen	19
	Mehrere Strahlungsquellen	21
	Strahldichtemessungen	22
	Dokumentation der Messwerte	23
	Qualitätssicherung	24
<hr/>		
	Fazit	25
<hr/>		
	Weiterführende Informationen	27
<hr/>		
	Impressum	28
<hr/>		

Einleitung

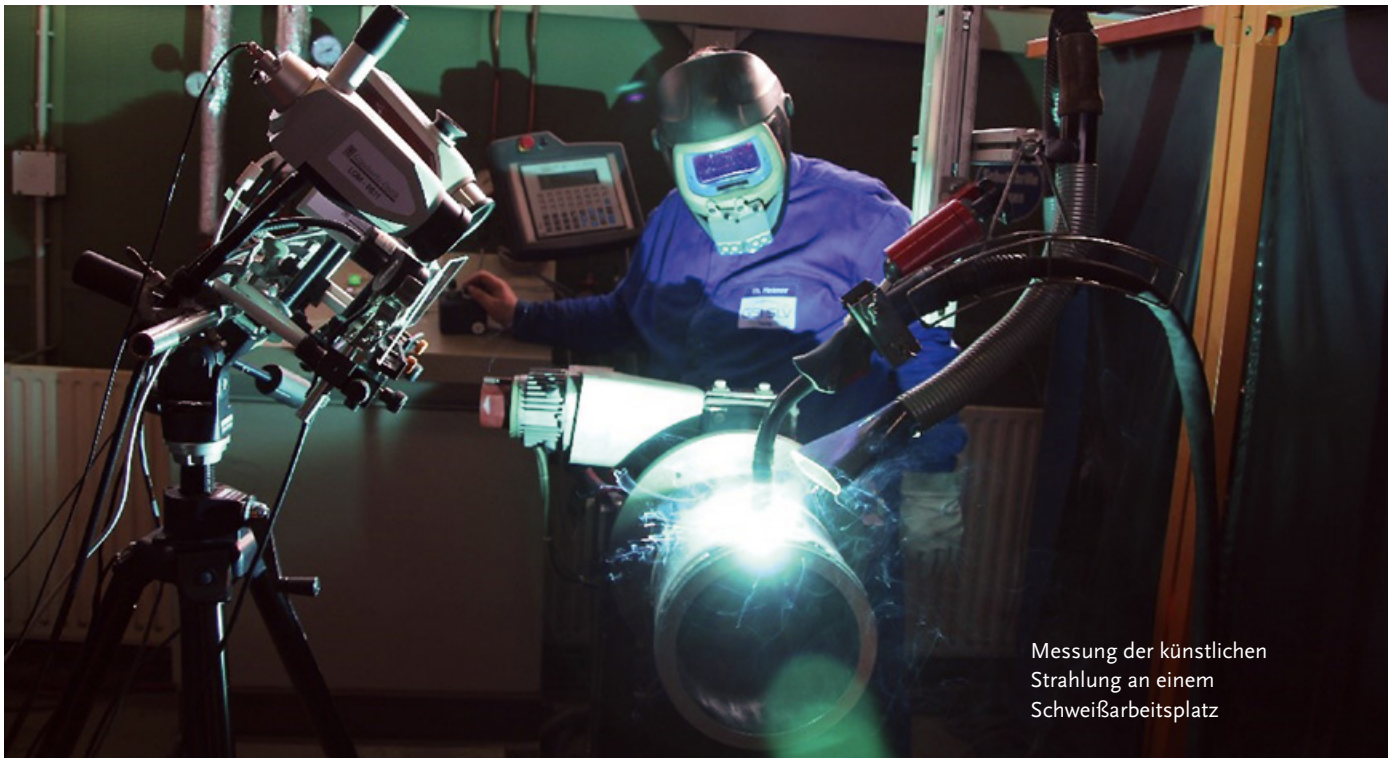
Die Messung inkohärenter optischer Strahlung an exponierten Arbeitsplätzen ist notwendig, um eine vollständige Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) zu erstellen. Diese Handlungshilfe beschreibt den Weg dorthin und liefert weitere Informationen. Gefährdungen durch kohärente optische Strahlung (Laser) sind nicht Gegenstand dieser Handlungshilfe.

Die vorliegende Broschüre zeigt, welche physikalischen Größen zur Berechnung der Expositionsgrenzwerte (EGW) benötigt werden. Zudem wird beschrieben, nach welchen Kriterien geeignete Messverfahren ausgewählt werden und wie aus den Messergebnissen die maximal zulässige Expositionsdauer (MZE) zu berechnen ist. Für die Gefährdungsbeurteilungen betroffener Arbeitsplätze müssen die Bedingungen und Ergebnisse der Messungen dargelegt werden. Auch auf das Thema Dokumentation wird eingegangen. Die Handlungshilfe richtet sich an Fachkräfte für Arbeitssicherheit und Sicherheitsbeauftragte in Unternehmen sowie an die Gewerbeaufsicht und Berufsgenossenschaften.

Grundlagen dieser Handlungshilfe sind die EU-Richtlinie 2006 / 25 / EG „Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung)“, die „Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (OStrV)“ sowie die „Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – inkohärente optische Strahlung (TROS IOS)“.

Der *baua*: Bericht „Messverfahren zur Bewertung inkohärenter optischer Strahlung“ liefert weitere Informationen zu den physikalischen und gesetzlichen Grundlagen, zu den Messverfahren sowie zur Bewertung der Messergebnisse. Der Bericht findet sich im Internet unter: www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2254.htm

1 Voraussetzungen für die Messung inkohärenter Strahlung



Messung der künstlichen Strahlung an einem Schweißarbeitsplatz

Inkohärente Strahlung muss für die Gefährdungsbeurteilung nicht in jedem Fall gemessen werden. Wenn etwa eindeutig feststeht, dass die Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung klar überschritten werden, sind keine Expositionsmessungen erforderlich. Dies ist beispielsweise bei UV-Strahlung an Schweißarbeitsplätzen der Fall. Dann reicht es, wirksame Schutzmaßnahmen – etwa Abschirmungen – sofort zu ergreifen. Gleiches gilt für Tätigkeiten an Arbeitsplätzen, an denen die Expositionsgrenzwerte deutlich unterschritten werden.

Ist die Belastung durch inkohärente optische Strahlung jedoch unklar, müssen Messungen durchgeführt werden. Möglich ist auch, die Expositionsdaten anderweitig zu ermitteln. So können beispielsweise die von Herstellern angegebenen Emissionsdaten von Strahlungsquellen für die Gefährdungsbeurteilung genutzt werden.

■ Wenn die Belastung durch inkohärente optische Strahlung unklar ist, müssen Messungen durchgeführt werden.

An Arbeitsplätzen, bei denen die Beschäftigten vorwiegend im Freien tätig sind, müssen betriebliche Messungen zur UV-Exposition durch die Sonne nicht zwingend durchgeführt werden. Stattdessen können die Messdaten des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) herangezogen werden. Das BfS veröffentlicht im Internet den aktuellen UV-Index für alle Regionen Deutschlands. Dort lassen sich zusätzliche Prognosen für die folgenden Tage abrufen. Aus diesen Daten lassen sich die notwendigen Schutzmaßnahmen ableiten.

Weitere Informationen zu den Grundlagen des UV-Index (UVI) und zum UV-Messnetz stehen unter www.bfs.de unter dem Thema UV-Strahlung ebenfalls zur Verfügung.
www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/uv-index_node.html

Quellen optischer Strahlung

Ob Leuchtstofflampe, Computer oder Geräteanzeige: Es gibt viele Quellen optischer Strahlung. Für diese sogenannten trivialen Strahlungsquellen sind keine Messungen erforderlich. Sie müssen allerdings in der Gefährdungsbeurteilung benannt werden. Triviale Quellen werden in der Veröffentlichung „Ein unverbindlicher Leitfaden zur Richtlinie 2006 / 25 / EG über künstliche optische Strahlung“ aufgelistet:

- Deckenbeleuchtung mit Leuchtstofflampen, über denen ein Diffusor angebracht ist
- Computer oder ähnliche Bildschirmgeräte
- Deckenbeleuchtung mit Kompakt-Leuchtstofflampen
- Flutlicht mit Kompakt-Leuchtstofflampe
- UVA-Insektenfallen
- Deckenbeleuchtung mit Wolfram-Halogen-Strahlern
- Wolframlampen am Arbeitsplatz (einschließlich Vollspektrum-Tageslichtlampen)
- Deckenbeleuchtung mit Wolframlampen
- Büro-Kopiergeräte
- LED-Anzeigen
- Fahrzeugblink- und Rückfahrlichter, Brems- und Nebelleuchten
- fotografische Blitzlichter
- gasbetriebene Deckenheizstrahler
- Straßenbeleuchtung

Der Leitfaden ist als PDF-Datei verfügbar unter:

<https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/5556b55ab-5d1a-4119-8c5a-5be4fd845b68>

UV-Strahlung an Schweißarbeitsplätzen einfach ermitteln

Mit der „Drehscheibe Lichtbogenschweißen“ kann schnell ermittelt werden, wie lange höchstens im Umfeld von Schweißarbeitsplätzen gearbeitet werden darf. Diese Höchstdauer ist für drei Abstände (0,5 m, 1 m und 3 m) und in Abhängigkeit von Schweißstromstärke und Werkstoff einfach ablesbar. Die Drehscheibe baut auf Forschungsergebnissen der BAuA zu den praxisüblichen Schweißverfahren CMT, MAG, MIG, MMA, WIG und PTA auf. Dabei wurden die Werkstoffe Baustahl, nicht rostender Stahl und Aluminium untersucht.

Weitere Informationen sind abrufbar unter:

www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/Sonderformate/Drehscheibe-Lichtbogenschweissen.html

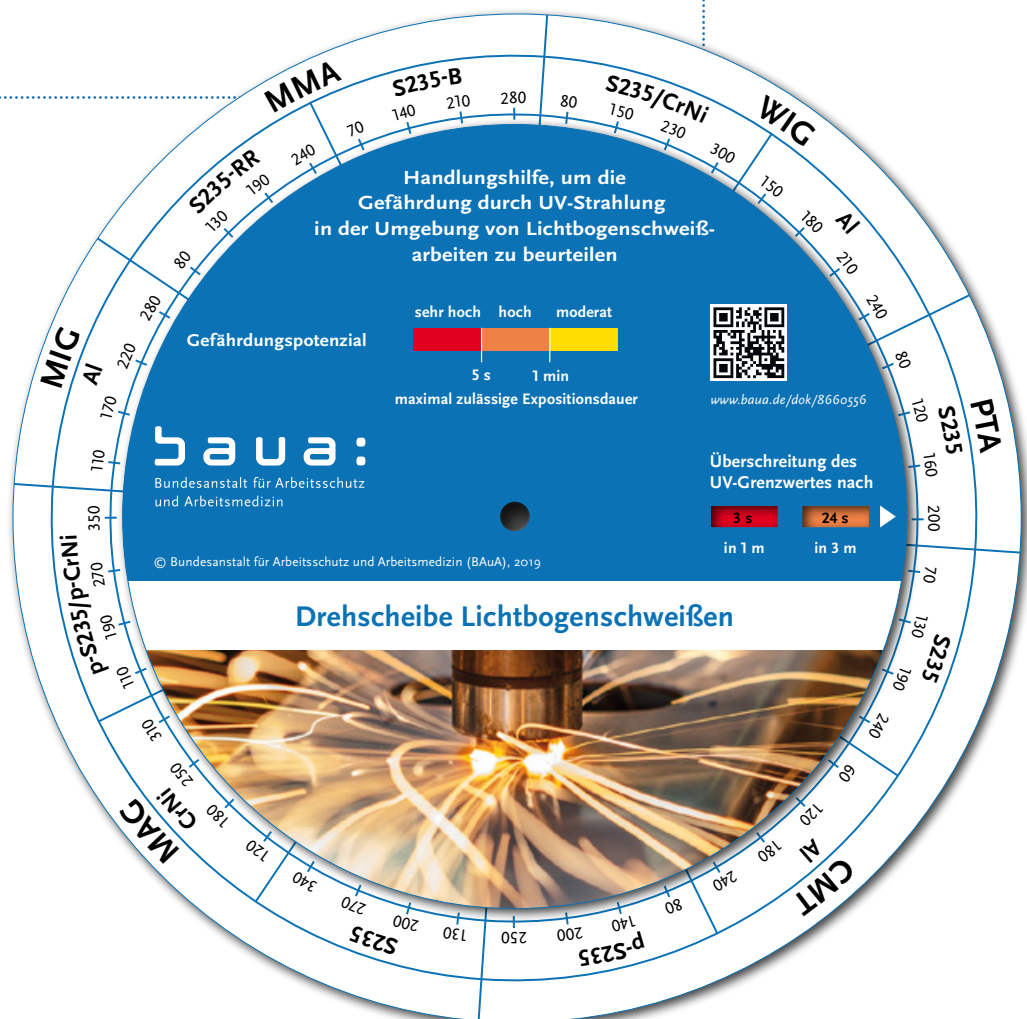


Abb. 1 Die Expositionsdauer kann mit der Drehscheibe Lichtbogenschweißen einfach bestimmt werden.

Die Messung zur Gefährdungsbeurteilung vorbereiten

Vor der eigentlichen Messung der inkohärenten optischen Strahlung am Arbeitsplatz im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung wird die Dokumentation vorbereitet. Dazu werden zunächst allgemeine Daten zum Betrieb wie Name und Anschrift erfasst und die Arbeitsplatzbedingungen mithilfe der nachfolgenden Fragen näher beschrieben:

- Wo befindet sich der Arbeitsplatz?
Ist er in einer Werkstatt, einem Labor oder einem Büro?
- Wie ist der Arbeitsplatz eingerichtet?
- Welche Tätigkeiten werden dort verrichtet?
- Welche Strahlungsquellen befinden sich dort?
Wie viele sind es und welcher Art sind sie?

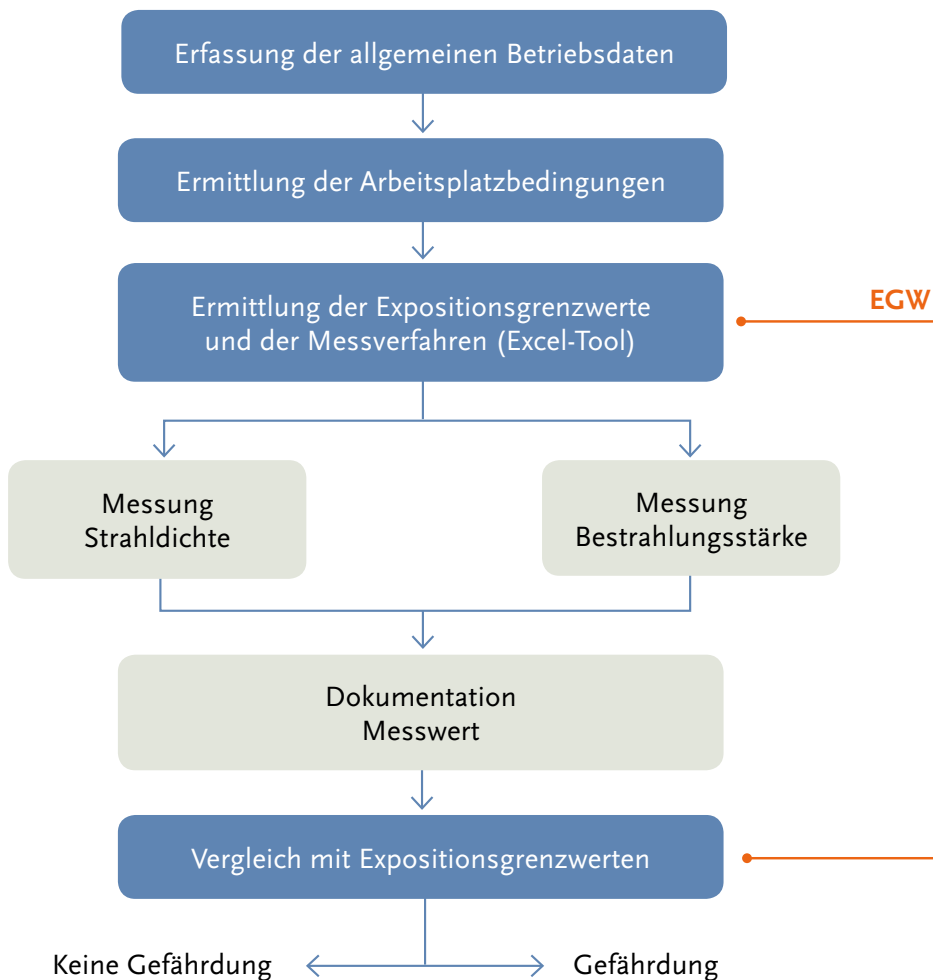


Abb. 2 Ablauf einer Messung inkohärenter optischer Strahlung am Arbeitsplatz

Im Gegensatz zu anderen physikalischen Faktoren in der Arbeitsumgebung, beispielsweise Lärm oder Klima, gibt es zur optischen Strahlung nur wenige feste Expositionsgrenzwerte. Sie hängen von der Expositionsdauer, der Größe der Strahlungsquelle und der Entfernung zur Strahlungsquelle ab. Aus diesen Informationen und den zuvor ermittelten Arbeitsplatzbedingungen lassen sich im nächsten Schritt Expositionsgrenzwerte berechnen. Aus ihnen ergibt sich das anzuwendende Messverfahren). Die gemessenen Werte werden abschließend dokumentiert und mit den Expositionsgrenzwerten verglichen.

■ Expositionsgrenzwerte für optische Strahlung hängen von verschiedenen Faktoren ab und müssen deshalb individuell bestimmt werden.

Gefährdungen durch optische Strahlung

Schädigung der Augen

Wenn optische Strahlung vom menschlichen Auge aufgenommen wird, kann es zu Schädigungen kommen. Deren Ausmaß hängt dabei von der Wellenlänge der Strahlung ab. Sie bestimmt, wie tief die Strahlen in das menschliche Auge eindringen.

Die Folgen können etwa sein:

- Horn- und Bindehautentzündungen,
- Linsentrübungen (Grauer Star)
- oder Verbrennungen oder Blaulichtgefährdungen der Netzhaut

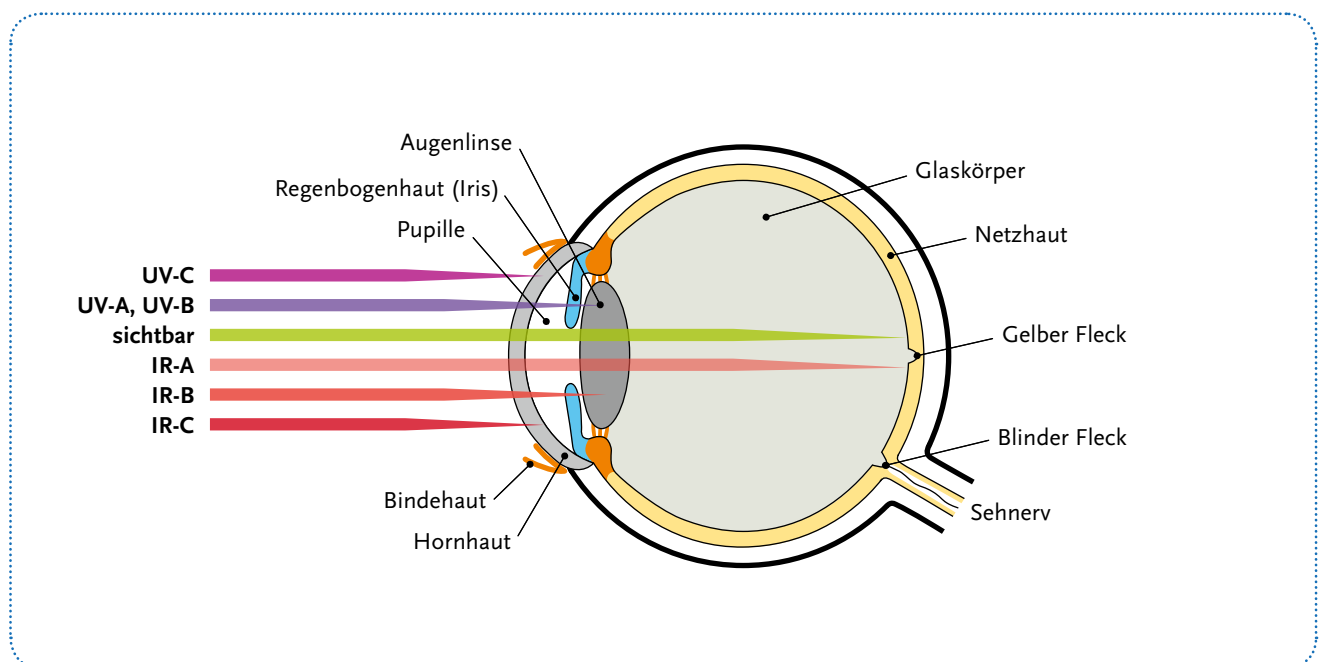


Abb. 3 Je nach Wellenlänge kann optische Strahlung unterschiedliche Bereiche des Auges erreichen.

Schädigung der Haut

Die Haut ist weniger empfindlich als das Auge. Auch hier bestimmt die Wellenlänge, wie tief Strahlen in die Hautschichten eindringen. Dadurch können unterschiedliche Schädigungen hervorrufen werden, etwa

- eine vorzeitige Alterung der Haut,
- Sonnenbrand,
- Hautkrebs
- oder Verbrennungen.

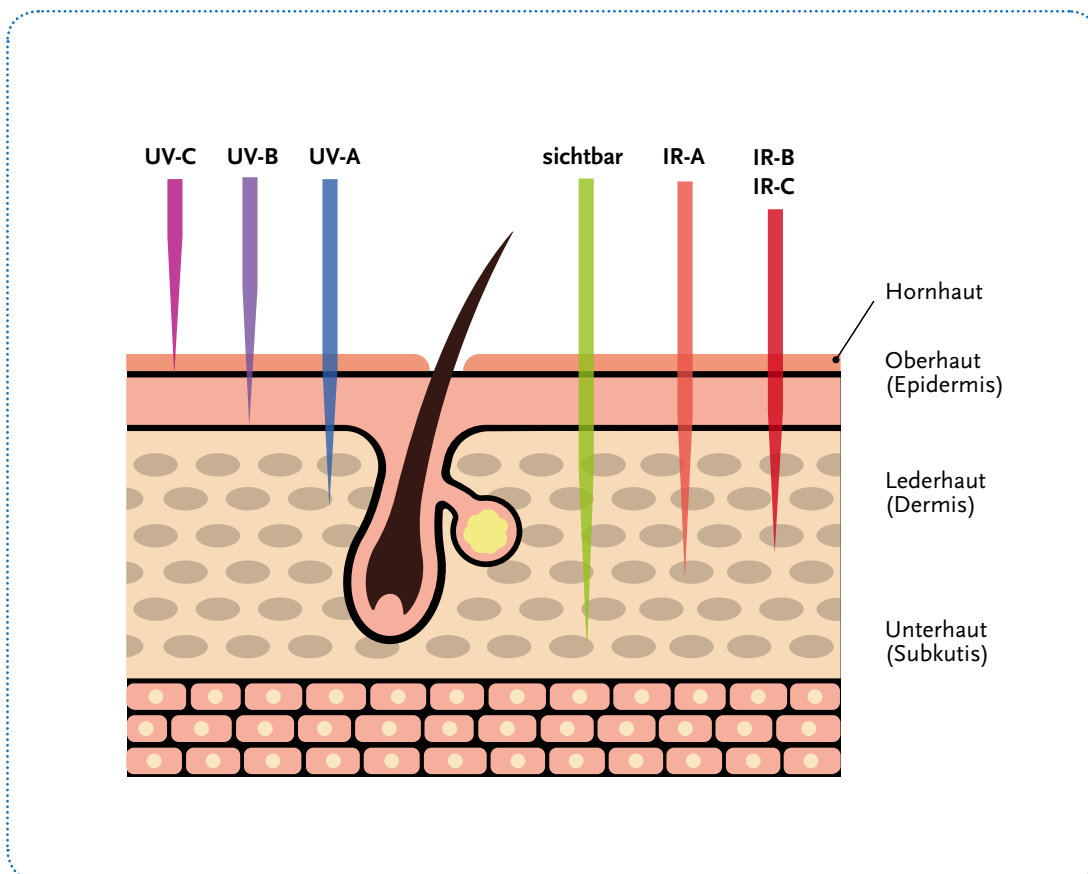


Abb. 4 Je nach Wellenlänge werden unterschiedliche Hautschichten erreicht.

2 Grenzwerte feststellen



Nicht jede optische Wellenlänge hat die gleiche schädigende Wirkung auf Augen und Haut. Aus diesem Grund gelten je nach Wellenlänge unterschiedliche Expositionsgrenzwerte. Bei der Arbeitsplatzanalyse zur Gefährdungsbeurteilung wurden die Strahlungsquellen ermittelt. Im nächsten Schritt geht es darum, für den vorliegenden Fall die zutreffenden Grenzwerte zu bestimmen.

■ Die Wirkung optischer Strahlung auf Augen und Haut hängt von der Wellenlänge ab.

Dazu dient Tabelle 1. Sie ist der Technischen Regel zur Arbeitschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Inkohärente Optische Strahlung) entnommen.

Tab. 1 Zu den in der Arbeitsplatzanalyse ermittelten Strahlungsquellen mit ihren Wellenlängenbereichen können die Expositionsgrenzwerte mithilfe der angegebenen Formel berechnet werden.

Kennbuchstabe	Wellenlänge in nm	Expositionsgrenzwert	Zeitbasis	Winkel
a)	180–400 (UV-A, UV-B, UV-C)	$H_{\text{eff}} = 30 \text{ J} \times \text{m}^{-2}$	8 h	
b)	315–400 (UV-A)	$H_{\text{UVA}} = 10^4 \text{ J} \times \text{m}^{-2}$	8 h	
c)	300–700 (Blaulicht) ¹	$L_B = \frac{10^6}{t} \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{sr}^{-1}$	$t \leq 10.000 \text{ s}$	bei $\alpha \geq 11 \text{ mrad}$
d)		$L_B = 100 \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{sr}^{-1}$	$t > 10.000 \text{ s}$	
e)		$E_B = \frac{100}{t} \text{ W} \times \text{m}^{-2}$	$t \leq 10.000 \text{ s}$	bei $\alpha < 11 \text{ mrad}^2$
f)		$E_B = 0,01 \text{ W} \times \text{m}^{-2}$	$t > 10.000 \text{ s}$	
g)	380–1400 (sichtbar, IR-A)	$L_R = \frac{2,8 \times 10^7}{C_\alpha} \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{sr}^{-1}$	$t > 10 \text{ s}$	$C_\alpha = 1,7$ bei $\alpha \leq 1,7 \text{ mrad}$ $C_\alpha = \alpha$ bei $1,7 \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$ $C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100 \text{ mrad}$
h)		$L_R = \frac{5 \times 10^7}{C_\alpha \times t^{0,25}} \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{sr}^{-1}$	$10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$	
i)		$L_R = \frac{8,89 \times 10^8}{C_\alpha} \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{sr}^{-1}$	$t < 10 \mu\text{s}$	
j)	780–1400 (IR-A)	$L_{\text{IR}} = \frac{6 \times 10^6}{C_\alpha} \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{sr}^{-1}$	$t > 10 \text{ s}$	$C_\alpha = 11$ bei $\alpha \leq 11 \text{ mrad}$ $C_\alpha = \alpha$ bei $11 \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$ $C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100 \text{ mrad}$ (Messgesichtsfeld $\gamma_m = 11 \text{ mrad}$)
k)		$L_{\text{IR}} = \frac{5 \times 10^7}{C_\alpha \times t^{0,25}} \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{sr}^{-1}$	$10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$	
l)		$L_{\text{IR}} = \frac{8,89 \times 10^8}{C_\alpha} \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{sr}^{-1}$	$t < 10 \mu\text{s}$	
m)	780–3000 (IR-A, IR-B)	$E_{\text{IR}} = 18.000 \times t^{-0,75} \text{ W} \times \text{m}^{-2}$	$t \leq 1000 \text{ s}$	
n)		$H = 3 \times 10^6 \text{ J} \times \text{m}^{-2}$	$t > 1000 \text{ s}$	
o ¹)	380–10-6 (sichtbar, IR-A, IR-B)	$H_{\text{Haut}} = 20.000 \times t^{0,25} \text{ J} \times \text{m}^{-2}$	$t < 10 \text{ s}$	
o ²)	380–10-6 (sichtbar, IR-A, IR-B)	$E_{\text{Haut}} = 7.700 \times t^{-0,34} \text{ W} \times \text{m}^{-2}$	$10 \text{ s} \leq t \leq 1000 \text{ s}$	

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.

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

Die Bestrahlungsstärke E wird mit der Einheit Watt pro Quadratmeter (W/m^2) angegeben, also Leistung pro Flächeneinheit. Gelegentlich wird sie auch in $\mu W/cm^2$ ausgedrückt.

Der Dosisexpositionsgrenzwert H hat die Einheit J/m^2 . Wird zusätzlich die Bestrahlungsstärke gemessen, lässt sich daraus die maximal zulässige Expositionsdauer berechnen.

Die Strahldichte L wird mit der Einheit W/m^2sr beschrieben. Strahldichte bedeutet, dass die Bestrahlungsstärke in einem bestimmten Betrachtungswinkel, angegeben in Steradian, gemessen wird.

Zulässige Expositionsdauer und Berechnung der Expositionsgrenzwerte

Unter den Kennbuchstaben a) und b) der Expositionsgrenzwerttabelle sind feste Dosisexpositionsgrenzwerte vermerkt. Bei einer möglichen Gefährdung muss die Bestrahlungsstärke gemessen werden. Daraus ist die maximal zulässige Expositionsdauer zu berechnen.

Berechnung der maximal zulässigen Expositionsdauer

Die Dosisexpositionsgrenzwerte sind in Joule pro Quadratmeter angegeben. Ein Joule entspricht einer Wattsekunde.

$$J = Ws$$

So entspricht ein Joule pro Quadratmeter einer Wattsekunde pro Quadratmeter.

$$\frac{J}{m^2} = \frac{Ws}{m^2}$$

Dividiert man den Dosisexpositionsgrenzwert durch die gemessene Bestrahlungsstärke (mit dem Kehrwert multiplizieren), erhält man die maximal zulässige Expositionsdauer in Sekunden.

$$\frac{H}{E} = t$$

$$\frac{Ws}{m^2} \div \frac{W}{m^2} \left(= \frac{Ws}{m^2} \times \frac{m^2}{W} \right) = s$$

Um die Expositionsgrenzwerte zu ermitteln, wird neben der Expositionsdauer (summiert über einen 8-Stunden-Arbeitstag) auch die Winkelausdehnung α benötigt. Sie wird aus der Größe der Quelle und dem Abstand zur Quelle errechnet. Hieraus können die zu verwendende Berechnungsformel und die Messgröße mithilfe der Tabelle 1 bestimmt werden.

Beispiel

Durch einen Schweißvorgang entsteht ca. 3 Zentimeter langer Lichtbogen G . Er bestrahlt einen Schlosser in einer Entfernung von $r = 8$ m. Die Expositionsdauer summiert sich über einen Arbeitstag auf $t = 60$ Minuten (= 3.600 Sekunden).

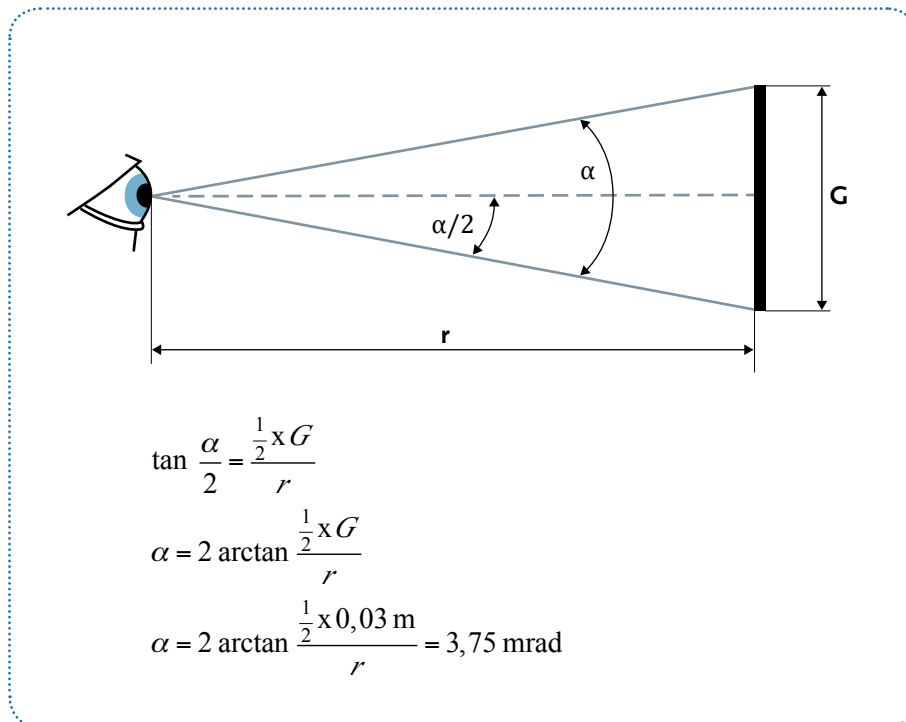


Abb. 5 Berechnung der Winkelausdehnung α

Tipp

Bei kleinen Quellgrößen oder großen Abständen lässt sich die Winkelausdehnung α überschlagen, indem man die Quellgröße durch die Entfernung dividiert (Kleinwinkelnäherung).

$$30 \text{ mm} / 8000 \text{ mm} = 3,75 \text{ mrad}$$

Die Winkelausdehnung ist im Beispiel kleiner 11 mrad. Daher ist die Bestrahlungsstärke nach den Kennbuchstaben e) und f) der Grenzwerttabelle bei der Blaulichtgefährdung zu bestimmen. Das nächste Auswahlkriterium ist die Expositionsdauer. Sie beträgt im vorliegenden Beispiel mit 3.600 Sekunden weniger 10.000 Sekunden. Dementsprechend ist die Formel im Kennbuchstaben e) anzuwenden. Für die Expositionsdauer von 3.600 Sekunden ergibt sich daraus ein Expositionsgrenzwert für die Blaulichtgefährdung von ca. **$E_B = 28 \text{ mW} / \text{m}^2$** .

Bei der thermischen Netzhautschädigung mit visueller Wirkung (Wellenlängenbereich 380 nm bis 1.400 nm) ist die Strahldichte zu bestimmen. Aufgrund der Expositionsdauer von 3.600 Sekunden ist die Berechnungsformel nach Kennbuchstabe g) anzuwenden.

Der Wert für C_α ergibt sich aus dem Absolutwert der Winkelausdehnung α in mrad. Er kann minimal 1,7 bzw. maximal 100 betragen. Bei einer Winkelausdehnung α von 3,75 mrad lässt sich für C_α ein Wert von 3,75 errechnen. Der Grenzwert für die thermische Netzhautschädigung (mit visuellem Reiz) beträgt danach:
 $L_R = 7,5 \times 10^6 \text{ W} / (\text{m}^2 \times \text{sr})$.

Für die Netzhautschädigung ohne visuelle Wirkung (Wellenlängenbereich 780 nm bis 1.400 nm) ist die Formel mit dem Kennbuchstaben j) zu benutzen. Hierbei ist zu beachten, dass C_α laut Tabelle 1 minimal 11 und maximal 100 betragen kann. Daraus ergibt sich ein Grenzwert von **$L_{IR} = 545,5 \times 10^3 \text{ W} / (\text{m}^2 \times \text{sr})$** .

Bei einer Expositionsdauer von 3.600 Sekunden gilt für die Hornhautverbrennung und Linsentrübung (Kennbuchstabe n der Grenzwerttabelle) ein Dosisgrenzwert von **$H_{IR} = 3 \times 10^6 \text{ J} / \text{m}^2$** .

Im Falle der Blaulichtgefährdung bestimmt die Winkelausdehnung α , ob die Bestrahlungsstärke oder die Strahldichte gemessen werden muss.

Tipp

Wenn das Tool, mit dem die Expositionsgrenzwerte berechnet werden können, vor Ort nicht verfügbar ist, hilft eine einfache Schätzmethode. Lässt sich die Quelle bei ausgestrecktem Arm mit einem dünnen Finger verdecken, muss die Bestrahlungsstärke gemessen werden. Erscheint die Quelle größer, ist die Strahldichte zu prüfen. Etwas präziser ist es, die Strahlungsquelle über einen ca. 11 mm breiten Pappstreifen anzupeilen.

Grenzwerte einfach berechnen

Die BAuA hat ein Excel-Tool entwickelt, mit dem sich die Grenzwerte verhältnismäßig einfach berechnen lassen. Es ist abrufbar unter:

www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Physikalische-Faktoren-und-Arbeitsumgebung/Optische-Strahlung/xls/Tool-Grenzwerte-IO5.xlsm?__blob=publicationFile&v=2

Folgende Angaben werden dazu benötigt:

- **Größe der Quelle**

Hier ist der Durchmesser einer Strahlungsquelle einzugeben. Einige Quellgrößen können nur geschätzt werden, z. B. der Lichtbogen beim Schweißen.

- **Abstand zur Quelle**

Dieser Wert kann minimal 200 mm betragen. Unterhalb dieser Entfernung ist das Auge nicht in der Lage, Dinge scharf zu sehen.

- **Expositionsdauer**

Hier wird die Summe aller Einzelexpositionen über einen 8-Stunden-Arbeitstag angegeben.

Danach muss nur noch der Berechnen /Aktualisieren-Button im Menüband angeklickt werden, um die Grenzwerte und die Messgröße (Bestrahlungsstärke oder Strahldichte) zu erhalten.

Allerdings ist nicht jeder berechenbare Grenzwert sinnvoll. So ist beispielsweise eine Hautverbrennung durch eine LED-Quelle derzeit äußerst unwahrscheinlich.

Betrieb: _____
 Anschrift: _____

Bezeichnung des Arbeitsplatzes: _____
(max. 31 Zeichen)
 Zuordnung im Betrieb: _____
 Datum der Grenzwertermittlung: _____
 Bearbeiter: _____

Eingabefeld

Ermittlung der Bestrahlungsstärke

Ermittlung der Bestrahlungsstärke zur Bestimmung der maximalen Expositionsdauer

Ermittlung der Strahldichte

Strahlungsquelle		Quellgröße in mm	Abstand zum Arbeitsplatz in m	Expositionsdauer in s	Winkel in mrad	Gefährdung					
						S(λ) bewertet	UV-A unbewertet	Blaulicht	therm. Netzhaut (sichtbar)	therm. Netzhaut (infrarot)	Verbrennung (Auge)
Nr. Bezeichnung						Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung					
		H_{UV} in Jm^{-2}	$H_{UV,A}$ in Jm^{-2}	L_B in $Wm^{-2}sr^{-1}$	C_o	L_R in $Wm^{-2}sr^{-1}$	C_o	E_{IR} in Wm^{-2}	E_{IR} in Wm^{-2}	E_{IR} in Wm^{-2}	H in Jm^{-2}
		E_B in Wm^{-2}									
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											



3 Messverfahren und Messungen



Bei den Messgeräten zur Bestimmung der inkohärenten optischen Strahlung wird nach der Messmethode unterschieden. Es gibt Geräte zur integralen und spektralen Messung. Um die Frage nach dem geeigneten Messgerät zu beantworten, müssen der Einsatzbereich und die Anforderungen an das Messergebnis bedacht werden.

■ Die Messgeräte zur Bestimmung der inkohärenten optischen Strahlung unterscheiden sich nach der Messmethode.

Wesentliche Auswahlkriterien sind dabei:

- die Eignung des Messgeräts für die vorherrschenden Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Staub, elektromagnetische Felder etc.) und für den vorliegenden Messbereich
- eine hinreichende Empfindlichkeit
- die Eignung der Empfängerfläche und Apertur für die Messaufgabe
- eine aktuelle Kalibrierung des Messgeräts
- Öffnungswinkel und Winkelabhängigkeit der Eingangsoptik
- die zeitliche Bewertung der Strahlungsgröße (Mittelungsdauer, Integrationsdauer, Pulsbewertung)
- die Bandbreite und Schrittweite
- die Streulichtunterdrückung

Integralmessgeräte

Integralmessgeräte sind kompakt, schnell und preisgünstig, systembedingt aber weniger genau als spektral auflösende Messsysteme. Für eine Beurteilung der Gefährdung wird eine Messunsicherheit ≤ 30 Prozent empfohlen. Diese Geräte decken einen Wellenlängenbereich von 200 bis 1.400 nm mit den unterschiedlichen biologischen Wirkungsfunktionen ab und zeigen sofort den aktuellen Messwert an.

Oberhalb dieser Wellenlängen sind aufwendigere Messsysteme erforderlich. Ab 3.000 nm lässt sich die Bestrahlungsstärke nur mit einem pyroelektrischen Empfänger ermitteln. Dieser misst den kompletten Spektralbereich. Durch Kanten- oder Bandpassfilter kann der Wellenlängenbereich beschränkt werden.



Pyroelektrischer Detektor mit Anzeige

Für Langzeitmessungen eignen sich Dosimeter. Wird eine langfristige und zeitaufgelöste Messung benötigt, ist dazu ein elektronisches Dosimeter notwendig. Die Messköpfe können auch biologisch gewichtet messen ($S(\lambda)$, UV-A, BLH). Die Detektoren werden am Computer mithilfe der zumeist mitgelieferten Software ausgelesen.

Neben elektronischen Dosimetern gibt es auch fototechnische und biologische Dosimeter. Diese sind preisgünstiger, können die UV-Strahlungsdosis aber nur über den Zeitraum der Anwendung messen. Außerdem sind sie nur einmal verwendbar.

Spektralmessgeräte

Generell unterscheidet man bei spektralen Messgeräten zwischen Monochromatoren und Spektralradiometern mit CCD- oder Diodenarray. Bei Monochromatoren wird die optische Strahlung in die einzelnen Wellenlängen zerlegt. Über einen Spalt wird jede zu messende Wellenlänge ausgewählt und vermessen, woraus sich abschließend das Spektrum ergibt.

Bei Doppelmonochromatoren sind zwei Monochromatoren hintereinander geschaltet. Dadurch wird der Einfluss von Störsignalen (Streulicht) minimiert. Sie sind zwar sehr präzise, jedoch unhandlich, langsam, kostenintensiv und daher für Arbeitsplatzmessungen weniger geeignet.

Spektrometer mit einem Array zerlegen auch die optische Strahlung in die einzelnen spektralen Anteile, messen aber die einzelnen Wellenlängen nicht nacheinander, sondern ganze Bereiche gleichzeitig. Hierzu sind viele Detektoren zu einem Array zusammengefasst und werden gleichzeitig mit dem gesamten Spektrum bestrahlt. Bei starken Strahlungsquellen kann sich die Messdauer auf wenige Millisekunden Integrationszeit verringern.

Frühere Generationen von Spektrometern konnten erst ab einer Wellenlänge von ca. 315 nm verwendet werden. Unterhalb dieser Wellenlänge überlagerte Streulicht das Messsignal so stark, dass die Ergebnisse nicht brauchbar waren.

Im Vergleich zu Monochromatoren sind Spektrometer in der Regel kompakter, robuster, schneller und preiswerter. Sie bieten bei guter Streulichtunterdrückung eine gute Qualität der Messergebnisse.

Üblicherweise wird bei der Gefährdungsbeurteilung der optischen Strahlung am Arbeitsplatz zunächst ein Spektrum der vorliegenden optischen Strahlung aufgenommen. Dieses Spektrum muss anschließend biologisch bewertet und integriert werden.

Modernere Benutzeroberflächen der Anwendersoftware haben diese Funktionen bereits integriert. So lassen sich die numerischen Ergebnisse ohne weitere Berechnungen verwerten.

Korrekte Messergebnisse erreichen

Für korrekte Messergebnisse sind einige Voraussetzungen bei den Messungen zu berücksichtigen:

- Die Messungen müssen so durchgeführt werden, dass sie die realen Arbeitsbedingungen widerspiegeln. Der Messkopf muss dort positioniert werden, wo sich die Augen bzw. die unbedeckte Haut befinden.
- Um ein möglichst gutes Signal-Rausch-Verhältnis bei spektralen Messgeräten zu bekommen, ist die Integrationszeit (Messdauer) so einzustellen, dass die Sättigung der Sensoren möglichst 50 Prozent oder mehr erreicht.
- Bei Arbeitsplätzen mit konstanten Strahlungsquellen, z. B. bei der Materialprüfung, reichen wenige Messungen an den exponierten Stellen.
- An Arbeitsplätzen mit schwankenden Expositionen sollten hingegen mehrere Messungen durchgeführt werden. Neben dem berechneten Mittelwert sind auch die minimalen und maximalen Werte anzugeben.
- Direkte Sonnenstrahlung hat einen Einfluss auf die Exposition der Beschäftigten. Diese muss bei Arbeitsplätzen mit Tageslicht mit berücksichtigt werden.



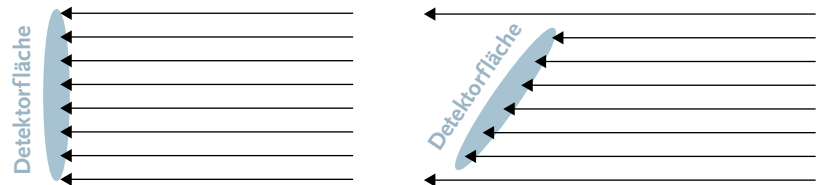
Messung der Bestrahlungsstärke



Messkopf

Bei der Messung der Bestrahlungsstärke, egal ob spektral oder integral, ist die Ausrichtung des Messkopfes zur Strahlungsquelle von besonderer Bedeutung.

Die Messgeräte sind so kalibriert, dass sie den korrekten Messwert nur angeben, wenn die Detektorfläche der Eingangsoptik senkrecht zur Strahlungsquelle ausgerichtet ist.

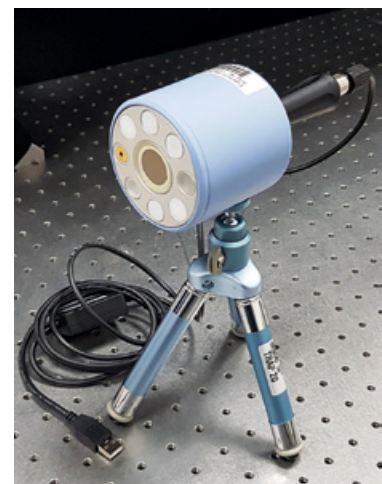


Ist die Eingangsoptik nicht richtig ausgerichtet, wird die effektive Detektoroberfläche reduziert. Dadurch wird weniger detektiert als bei senkrechter Ausrichtung, also ein zu niedriger Messwert angezeigt.

Bei der korrekten Ausrichtung kann ein Laserpointer hilfreich sein, der senkrecht auf einem Träger montiert ist (links). Hält man nun diese Konstruktion plan vor den Detektor, sollte der Leuchtpunkt auf die Strahlungsquelle zeigen. Es gibt aber auch Messgeräte, bei denen der Laser zum Justieren schon eingebaut ist (unten). Überschreitet die Leistung dieses Lasers 1 mW (Laser-Klasse 2), sind die gesetzlichen Vorschriften zu deren Betrieb einzuhalten.



Laserpointer



Messgerät mit eingebautem Laser

Mehrere Strahlungsquellen

Sind an einem Arbeitsplatz oder Arbeitsbereich mehrere Strahlungsquellen vorhanden, ist jede Quelle separat zu vermessen. Die Expositionszeiten sind über einen 8-Stunden-Arbeitstag zu bestimmen.

Reflexionen der UV-Strahlung

Speziell bei Schweißarbeitsplätzen sind Beschäftigte in der Regel durch Vorhänge und Kabinen geschützt. Dennoch können durch Reflexionen der UV-Strahlung an beliebigen Oberflächen wie Decken, Böden und Wänden über einen 8-Stunden-Arbeitstag hinweg auch benachbarte Arbeitsplätze betroffen sein. Dadurch kann die maximal zulässige Expositionsdauer überschritten werden. Gefährdet sind auch Zulieferer, Helfer und Passanten. Sie arbeiten in der Regel ohne passende persönliche Schutzausrüstung (PSA).

Durch die Messung der mit $S(\lambda)$ -bewerteten UV-Strahlung und der unbewerteten UV-A-Strahlung lässt sich die maximal zulässige Expositionsdauer berechnen. Ist die Summe der Einzelexpositionszeiten über einen Arbeitstag größer als die maximale Expositionsdauer, müssen Schutzmaßnahmen ergriffen werden.



Reflexionen an einem Schweißarbeitsplatz

Strahldichtemessungen

Um die Strahldichte zu messen, muss der Betrachtungswinkel γ bekannt sein. Im Gegensatz zur Winkelausdehnung α , mit der die Expositionsgrenzwerte berechnet werden, ist er abhängig von der Expositionsdauer. Durch die unwillkürliche Augenbewegung wandert die Abbildung auf der Netzhaut und nimmt somit bei längerer Betrachtung eine größere Fläche ein.

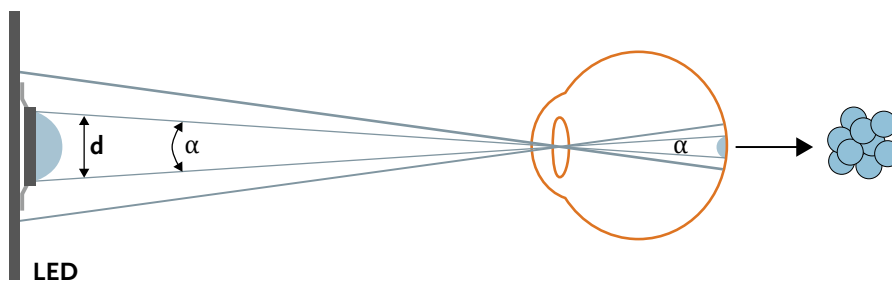


Abb. 6 Vergrößerung der Abbildung auf der Netzhaut durch unwillkürliche Augenbewegung

Abhängig von der Expositionsdauer t sind für den Betrachtungswinkel γ Werte von 1, 7, 11 und 100 mrad festgelegt.

$$0,25 \text{ s} \leq t < 10 \text{ s} \quad \Rightarrow \quad \gamma = 1,7 \text{ mrad}$$

$$10 \text{ s} \leq t < 100 \text{ s} \quad \Rightarrow \quad \gamma = 11 \text{ mrad}$$

$$100 \text{ s} \leq t < 10\,000 \text{ s} \quad \Rightarrow \quad \gamma = 100 \text{ mrad}$$

Möchte man gezielt Strahlungsquellen vermessen, empfehlen sich Messgeräte mit einem Okular. Durch das Fadenkreuz in der Optik kann die Quelle direkt anvisiert werden. Gleichzeitig sieht man die Bereiche, die – je nach Betrachtungswinkel – abgedeckt werden. An der Anzeige-Einheit muss der verwendete Betrachtungswinkel eingegeben werden. Der verwendete Messkopf wird zumeist automatisch erfasst. Achtung: Bei starken Quellen auf den Augenschutz achten!



Strahldichte-Messkopf mit Okular



Strahldichte-Messkopf und Blende

Bei großen Quellen reicht oft ein Messkopf, bei dem der Betrachtungswinkel durch einen Tubus und eine Blende begrenzt wird. Hierbei muss für jede Kombination ein separater Kalibrierfaktor vorhanden sein. Dieser ist in den meisten Geräten in der Anzeige-Einheit hinterlegt und kann einfach ausgewählt werden.

Dokumentation der Messwerte

Die Ergebnisse der Messungen müssen dokumentiert werden. Das Messprotokoll sollte die folgenden Informationen enthalten:

Messorte und Messpunkte

- Ort / Gebäude- / Raum-Nummer
- eine Kurzbeschreibung des Arbeitsplatzes (Lageplan oder -skizze)
- Arbeitsablauf (repräsentative und kritische Aufenthaltsorte, effektive Expositionsdauer, Kontroll- und Wartungstätigkeiten)
- Art und Anzahl der Strahlungsquellen

■ Die Dokumentation der Messwerte ist wichtig, um die Messmethode genau nachvollziehen zu können.

Messwerte:

- Bestrahlungsstärke bzw. Strahldichte
- Durchschnittswerte
- Maximalwerte

Angaben zu den verwendeten Messgeräten:

- Hersteller und Typenbezeichnung
- Seriennummer
- Messaufnehmer (wenn der Messkopf über ein Kabel oder einen Lichtwellenleiter mit der Anzeige /dem Messgerät verbunden ist)
- Datum der letzten Kalibrierung

Erst mit Datum und Unterschrift ist das Messprotokoll vollständig.

Qualitätssicherung

Messgeräte, die für die Gefährdungsbeurteilung an Arbeitsplätzen verwendet werden, müssen in regelmäßigen Abständen überprüft bzw. kalibriert werden. Dies kann durch den Hersteller, zertifizierte Prüflabore oder in Eigenleistung erfolgen. Für eine Kalibrierung in Eigenleistung wird eine Kalibrierlampe benötigt, deren Daten auf einen Kalibrierstandard rückführbar sein müssen. Für Deutschland gilt der PTB-Standard (Physikalisch Technische Bundesanstalt in Braunschweig).

Für Bestrahlungsstärke und Strahldichte ist jeweils eine separate Kalibrierquelle erforderlich. Als Quelle für die Bestrahlungsstärke dient in der Regel eine Halogenlampe, deren Glas nicht UV-absorbierend ist. Für den reinen UV-Bereich kann auch eine stabilisierte Deuteriumlampe verwendet werden. Die Distanz zwischen Quelle und Eingangsoptik sollte immer konstant sein. Mit einem Längenmaßstab lässt sich diese Fehlerursache minimieren.

Für die Strahldichte-Kalibrierung wird eine homogen leuchtende Fläche benötigt. Diese wird meistens durch eine Ulbrichtkugel erzeugt. Der Abstand zur Quelle wird so eingestellt, dass der eingestellte Betrachtungswinkel voll ausgeleuchtet ist.

■ Die Geräte, mit denen die kohärente optische Strahlung gemessen wird, müssen regelmäßig überprüft und kalibriert werden.

Fazit



Zu einer vollständigen Gefährdungsbeurteilung gehört auch die Ermittlung der künstlichen optischen Strahlung, wie sie von Glühlampen, Leuchtstofflampen, Metall- und Glasschmelzen oder auch Lichtbögen an Schweißarbeitsplätzen ausgeht. Grenzwerte festzustellen, Messungen vorzunehmen und zu dokumentieren, ist für die Gesundheit von Beschäftigten wichtig. Wenn Grenzwerte der Strahlungsbelastung überschritten werden, können ihre Augen und Haut geschädigt werden. Deshalb ist es wichtig, systematisch vorzugehen.

Strahlungsquellen ermitteln. Zunächst müssen alle Strahlungsquellen im Betrieb ermittelt werden. Ein Ergebnis dieser Erhebung kann sein, dass nur bestimmte Spektren gemessen werden müssen oder die Belastung so gering ist, dass keine weiteren Messungen erforderlich sind.

Grenzwerte bestimmen. Die schädigende Wirkung optischer Strahlung auf Augen und Haut hängt von der Wellenlänge ab. Deshalb gelten unterschiedliche Expositionsgrenzwerte, die individuell je nach Strahlungsquelle und Arbeitsplatzsituation bestimmt werden müssen. Ein Excel-Tool der BAuA erleichtert diesen Arbeitsschritt.

Messen und dokumentieren. Unterschiedliche Messverfahren, Messgeräte und Konstellationen von Strahlenquellen am Arbeitsplatz machen eine genaue Planung der Messung erforderlich, um zu aussagefähigen und korrekten Messergebnissen zu gelangen.

Die Dokumentation der Messung ist wichtig, um den Weg zu den Messergebnissen genau nachvollziehen und reproduzieren zu können.

Weiterführende Informationen

Janßen, Marco; Günter Ott, 2016: Messverfahren zur Bewertung inkohärenter optischer Strahlung. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Verfügbar unter: www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2254.htm

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Hrsg., 2019. Gefährdungsfaktoren: Ein Ratgeber; Dortmund. [Zugriff am 15.09.2020]. Verfügbar unter: www.baua.de/gefaehrungsfaktoren

Richtlinie 2006 / 25 / EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung). Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32006L0025>

Generaldirektion Beschäftigung, Soziales und Integration (Europäische Kommission), Hrsg., 2011. Ein unverbindlicher Leitfaden zur Richtlinie 2006 / 25 / EG über künstliche optische Strahlung. Luxemburg: Herausgeber. Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/556b55ab-5d1a-4119-8c5a-5be4fd845b68>

Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (OStrV). Verfügbar unter: www.gesetze-im-internet.de/ostrv/index.html

Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – Inkohärente Optische Strahlung (TROS IOS). Verfügbar unter: www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TROS/TROS.html

DIN EN 62471 (VDE 0837-471): Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen.

DIN EN 12198: Sicherheit von Maschinen – Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung.

DIN EN 14255-1: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung.

DIN EN 14255-2: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 2: Sichtbare und infrarote Strahlung künstlicher Quellen am Arbeitsplatz.

DIN 5031-11: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 11: Radiometer zur Messung aktinischer Strahlungsgrößen – Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung.

Impressum

Messung optischer Strahlung am Arbeitsplatz – Eine Handlungshilfe

Herausgeber

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1–25, 44149 Dortmund
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund
Telefon 0231 9071-2071
Telefax 0231 9071-2070
E-Mail info-zentrum@baua.bund.de
Internet www.baua.de

Autor

Marco Janßen
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Text

KONTEXT Oster&Fiedler, Dortmund

Redaktion

L2 Strategische Kommunikation
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Gestaltung

eckedesign, Berlin

Fotos

Titel Thurtell/iStock.com, S. 9 sompong_tom/iStock.com,
S. 15 Phynart Studio/iStock.com, S. 16 RainStar/iStock.com,
S. 19 Grapelimages/iStock.com, S. 25 bagi1998/iStock.com,
S. 3, 9, 16, 17, 20, 21, 23: Marco Janßen, Bundesanstalt für
Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herstellung

Bonifatius GmbH, Paderborn

In dieser Broschüre wird eine geschlechtergerechte Sprache verwendet. Dort, wo das nicht möglich ist oder die Lesbarkeit eingeschränkt würde, gelten die personenbezogenen Bezeichnungen für beide Geschlechter.

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Die Inhalte der Publikation wurden mit größter Sorgfalt erstellt und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die BAuA jedoch keine Gewähr.

2. Auflage, Mai 2021
ISBN 978-3-88261-735-1 (Print)
doi:10.21934/baua:praxis20210202 (online)



www.baua.de/dok/8851716

