

Optische Strahlung 2010

Tagungsdokumentation

Optische Strahlung 2010

**Nationale Umsetzung der EU-Richtlinie 2006/25/EG
„Künstliche Optische Strahlung“ und ihre Anwendung**

**Informationsveranstaltung
vom 01. Juli 2010 in Dortmund**

Dortmund/Berlin/Dresden 2011

Diese Veröffentlichung ist die Tagungsdokumentation anlässlich der Informationsveranstaltung „Optische Strahlung 2010“.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Tagungsleitung: Marco Janßen
Gruppe „Physikalische Faktoren“
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelfoto: Uwe Völkner, Fotoagentur FOX, Lindlar/Köln

Umschlaggestaltung: Rainer Klemm
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1 - 25, 44149 Dortmund
Telefon 0231 9071-0
Fax 0231 9071-2454
poststelle@buaa.bund.de
www.buaa.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40 - 42, 10317 Berlin
Telefon 030 51548-0
Fax 030 51548-4170

Dresden:
Proschhübelstr. 8, 01099 Dresden
Telefon 0351 5639-50
Fax 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe
und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

| | Seite | |
|---|--|----|
| 1 | Verordnung „Optische Strahlung“ G. Hilpert | 5 |
| 2 | Europäischer Leitfaden zur EU-Richtlinie „Künstliche optische Strahlung“ G. Ott, L. Udovicic, E. Romanus | 6 |
| 3 | Produktnormen zu Lasern, Lampen und Licht emittierenden Dioden (LED) W. Horak | 11 |
| 4 | Offene Fragen bei der Expositionsermittlung und Risikobewertung D. Schwaß | 17 |
| 5 | Risikobewertung von Licht emittierenden Dioden (LED) L. Udovicic, M. Janßen, G. Ott, F. Mainusch, E. Romanus | 23 |
| 6 | Personendosimetrische Messungen und Eigenschutz der Haut bei der Einwirkung von solarer UV-Strahlung P. Knuschke | 32 |
| 7 | Ermittlung der UV-Strahlenexposition bei Seeleuten G. Meyer | 41 |
| 8 | Schutzkomponenten zur Reduzierung solarer UV-Expositionen G. Ott, M. Janßen, P. Knuschke | 45 |
| 9 | UV-Belastung bei der Glasbearbeitung M. Wittlich | 50 |
| | Kontaktadressen der Referenten | 56 |

1 Verordnung „Optische Strahlung“

Georg Hilpert

Bundesministerium für Arbeit und Soziales

Zusammenfassung

Die Bundesregierung ist verpflichtet, die EG-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 (optische Strahlung aus künstlichen Quellen) in nationales Recht umzusetzen. Die Umsetzung erfolgt in Form einer Artikelverordnung. Mit der neuen Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch optische Strahlung (OStrV) kommt die Bundesregierung dieser Verpflichtung nach.

Mit der Entschließung des Europäischen Parlamentes von 1990 wurde die Europäische Kommission aufgefordert, für Gefährdungen von Beschäftigten durch physikalische Einwirkungen am Arbeitsplatz vier Einzelrichtlinien bezüglich Lärm, Vibrationen, elektromagnetischer Felder und optischer Strahlung zu erarbeiten. Am 5. April 2006 wurden die Arbeiten mit der Annahme der letzten EG-Arbeitsschutz-Richtlinie 2006/25/EG durch den Rat und das Europäische Parlament über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) als 19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Arbeitsschutzrahmenrichtlinie 89/391/EWG abgeschlossen. Der Geltungsbereich des ursprünglichen Kommissionsentwurfs zu der EG-Richtlinie 2006/25/EG wurde im Laufe des Verfahrens auf die Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung beschränkt.

Die neue Verordnung OStrV übernimmt die EG-Richtlinie 2006/25/EG weitgehend inhaltsgleich und orientiert sich in ihrer Struktur an den Vorgaben der anderen auf das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) gestützten Arbeitsschutzverordnungen. Auf die technischen Anhänge der EG-Richtlinie 2006/25/EG wird im Verordnungsentwurf gleitend verwiesen. Die Anforderungen der EG-Richtlinie 2006/25/EG zur Gesundheitsüberwachung der Beschäftigten werden durch eine Änderung der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) umgesetzt.

Über das Konzept und die konkreten Inhalte der Verordnung sowie den letzten Stand der zurzeit laufenden Beratungen im Bundesrat wird berichtet.

2 Europäischer Leitfaden zur EU-Richtlinie „Künstliche optische Strahlung“

Günter Ott, Ljiljana Udovicic, Erik Romanus

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

2.1 Hintergrund

Die europäische Richtlinie 2006/25/EG über „Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung)“ [1] ist am 5. April 2006 in Kraft getreten. Die Grundlage bildet die Richtlinie des Rates vom 12. Juni 1989 (89/391/EWG) „über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit“ (Arbeitsschutz-Rahmen-Richtlinie). Konkretisierungen zu bestimmten Gefährdungsfaktoren im Zusammenhang mit dieser Rahmen-Richtlinie werden in Form von Einzelrichtlinien vorgenommen. Die 19. Einzelrichtlinie zur künstlichen optischen Strahlung ist die letzte in einer Reihe von vier Richtlinien, in denen die Ermittlung und Bewertung von Risiken sowie die zu ergreifenden Schutzmaßnahmen bei Exposition gegenüber physikalischen Einwirkungen geregelt werden. Vorausgegangen sind Richtlinien zum Schutz gegen Vibrationen (2002/44/EG), Lärm (2003/10/EG) und elektromagnetische Felder (2004/40/EG). Die Mitgliedstaaten sind dazu verpflichtet, die EG-Arbeitsschutz-Richtlinie zu künstlicher optischer Strahlung (2006/25/EG) bis zum 27. April 2010 in nationales Recht umzusetzen. In Deutschland wird dies in Form einer Arbeitsschutz-Verordnung erfolgen.

In Artikel 13 der Richtlinie wird die Kommission zur Erstellung eines praktischen Leitfadens verpflichtet. Der Leitfaden soll eine Hilfestellung geben, um die Richtlinie besser zu verstehen. Dies betrifft insbesondere die Bestimmungen zu Artikel 4 „Ermittlung der Exposition und Bewertung der Risiken“ und Artikel 5 „Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Risiken“ sowie zu den Expositionsgrenzwerten nach Anhang I „Inkohärente optische Strahlung“ und Anhang II „Laserstrahlung“. Im Begründungsteil der Richtlinie wird im Erwägungsgrund 15 gefordert:

„Die Kommission sollte einen praktischen Leitfaden erstellen, um Arbeitgebern, insbesondere den Geschäftsführern von KMU zu helfen, die technischen Vorschriften dieser Richtlinie besser zu verstehen. Die Kommission sollte sich bemühen diesen Leitfaden so rasch wie möglich zu erstellen, um den Mitgliedstaaten den Erlass der zur Durchführung dieser Richtlinie erforderlichen Maßnahmen zu erleichtern.“

2.2 Erarbeitung des Leitfadens

Von der Kommission wurde beim Beratenden Ausschuss für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz eine Arbeitsgruppe mit folgendem Auftrag eingesetzt:

- Unterstützung der Kommission bei der Ausarbeitung des Lastenheftes
- Unterstützung bei einer öffentlichen Ausschreibung und Auswahl des Auftragnehmers
- Begleitung bei der Erstellung des Leitfadens

Die Arbeitsgruppe trat am 18.04.2007 zum ersten Mal zusammen, um die Kommission bei der Ausarbeitung der Leistungsbeschreibung für die Ausschreibung zu unterstützen.

Nach Auswahl des Auftragnehmers Ende 2007, der Health Protection Agency (HPA, Großbritannien) wurde in weiteren Sitzungen die Entwicklung des Leitfadens begleitet. Im vorgegebenen Zeitplan wurde von der Health Protection Agency ein endgültiger Entwurf vorgelegt, in dem nur noch redaktionelle Änderungen erforderlich waren.

Auf Initiative eines Mitgliedstaates wird gewünscht einen Anhang hinzuzufügen, der sich den Problemen des Gebrauchs von Substanzen widmet, die die Lichtempfindlichkeit von Menschen steigert.

Viele EU-Mitgliedstaaten haben die Bedeutung dieses Leitfadens bei der Anwendung der Richtlinie unterstrichen. Einige Mitgliedstaaten haben angegeben, dass ihre Gesetzgebung direkt auf diesen Leitfaden verweisen wird (oder auf einen Leitfaden, der von diesem abgeleitet ist). Es ist vorgesehen, dass die Europäische Kommission den Leitfaden im Laufe des Jahres 2010 in den 22 EU-Sprachen veröffentlichen wird. Die Autoren haben im Rahmen einer Expertengruppe des Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) inhaltliche Zuarbeiten zu den nationalen Besonderheiten bei der Erstellung des Leitfadens geliefert und maßgeblich an der Überarbeitung der deutschen Übersetzung hinsichtlich einer einheitlichen und sachgerechten Verwendung von Begriffen mitgewirkt.

2.3 Inhalte des Leitfadens

Mit der Europäischen Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“ [1] sind die Mindestanforderungen für den Schutz von Arbeitnehmern vor Gefährdungen durch die Einwirkung künstlicher optischer Strahlung (ultraviolette Strahlung, sichtbare Strahlung, Infrarotstrahlung) während der Arbeit festgelegt. Die Richtlinie enthält die Grenzwerte für die Exposition gegenüber inkohärenter optischer Strahlung und Laserstrahlung. Die Einhaltung dieser Expositionsgrenzwerte stellt sicher, dass Arbeitnehmer, die künstlichen Quellen optischer Strahlung ausgesetzt sind, vor allen bekannten Gesundheitsschäden der Augen und der Haut geschützt sind. In der Richtlinie sind zudem die Pflichten des Arbeitgebers hinsichtlich der Ermittlung und Bewertung sowie, falls erforderlich, einer Messung und/oder Berechnung des Ausmaßes der Exposition gegenüber optischer Strahlung festgelegt. Wird im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung festgestellt, dass die Expositionsgrenzwerte möglicherweise überschritten werden, ist der Arbeitgeber verpflichtet, technische und/oder organisatorische Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Exposition zu erarbeiten und durchzuführen. Die Anwendung der Richtlinie, insbesondere die Ermittlung der Exposition und die Bewertung der Risiken sowie die richtige Auswahl von Maßnahmen zur Vermeidung und Verringerung der Risiken erfor-

dem häufig ein hohes Maß an Sachverstand und Erfahrung. Darüber hinaus werden sämtliche Quellen optischer Strahlung, auch bspw. Allgemeinbeleuchtung und Signalanzeigen, durch die Richtlinie erfasst. Damit sind kaum Arbeitsplätze vorstellbar, die von den Anforderungen Richtlinie nicht betroffen sind. Also sieht sich nahezu jeder Arbeitgeber mit der Forderung zumindest nach einer Gefährdungsbeurteilung konfrontiert.

Um diese Anforderungen der Richtlinie besser zu verstehen, wurde der "Unverbindliche Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung" [3] erarbeitet.

Wesentliche Inhalte des Leitfadens sind:

- Künstliche Quellen optischer Strahlung (inkohärente Quellen, Laser)
- Gesundheitsschäden aufgrund der Exposition durch optische Strahlung
- Anforderungen der Richtlinie
- Anwendung der Expositionsgrenzwerte
- Gefährdungsbeurteilung
- Messung optischer Strahlung
- Einsatz von Herstellerdaten
- Schutzmaßnahmen
- Gesundheitsüberwachung
- 11 Anhänge, u. a. mit Beispielen zur Gefährdungsbeurteilung

Triviale Quellen

Die Richtlinie 2006/25/EG schließt keine Quellen künstlicher optischer Strahlung eindeutig aus. Bei einer großen Anzahl von Strahlungsquellen, wie z. B. bei normaler Beleuchtung oder Signallampen, handelt es sich um Quellen, von denen nur eine geringe Strahlung ausgeht oder der Abstand so groß ist, dass bei bestimmungsgemäßer Anwendung von diesen Quellen keine Gefährdung ausgeht. Diese Quellen werden als triviale Quellen bezeichnet und als „sicher“ angesehen wenn:

- Die Strahlungsquelle nur einen Bruchteil ($\leq 20\%$) des Expositionsgrenzwerts erreicht oder
- Beim Einsatz der Strahlungsquelle eine Grenzwertüberschreitung unwahrscheinlich ist.

Gefährdungsbeurteilung

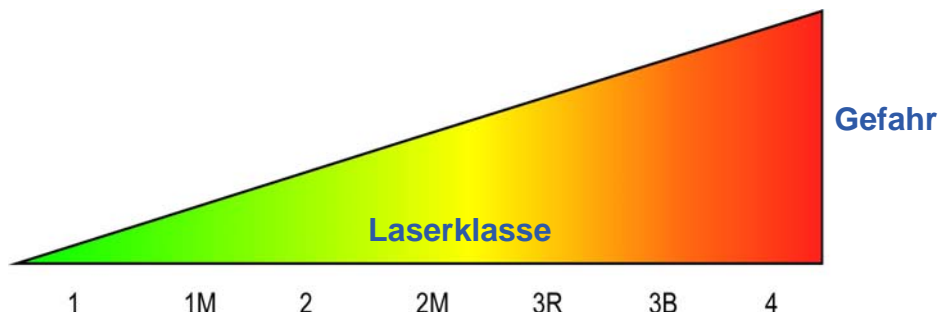
Zu den Pflichten des Arbeitgebers gehört eine umfassende Gefährdungsbeurteilung, bei denen alle mit der Arbeit verbundenen Gefährdungen berücksichtigt werden müssen. Der Leitfaden beschreibt dazu eine Vorgehensweise in folgenden Schritten vor:

- **Schritt 1:** Identifizierung der Gefahren und gefährdeten Personen. Dabei sind sämtliche Betriebszustände zu berücksichtigen, einschließlich Wartung und Reparatur.
- **Schritt 2:** Einschätzung und Priorisierung der Risiken. Dabei sollte zunächst geprüft werden ob eine triviale Quelle vorliegt. In anderen Fällen ist die Exposition mit den zulässigen Grenzwerten zu vergleichen und zu untersuchen, ob mehrere Strahlungsquellen vorhanden sind.
- **Schritt 3:** Entscheidung über Präventivmaßnahmen. Der Leitfaden gibt Hinweise zu Schutzmaßnahmen, die zur Minimierung des Expositionsrisikos bei künstlicher optischer Strahlung eingesetzt werden können.
- **Schritt 4:** Umsetzung der Präventivmaßnahmen. Es ist zu prüfen ob bis zur Umsetzung der Präventivmaßnahmen die Arbeit unter Auflagen weitergeführt oder nicht weitergeführt werden kann.
- **Schritt 5:** Überwachung und Überarbeitung, d. h. die Wirksamkeit der Maßnahmen ist zu überprüfen und eine erneute Bewertung in festgelegten Zeitabständen oder nach Änderung der Ausgangssituation durchzuführen.

Der Leitfaden liefert einen Überblick über Tätigkeiten, bei denen Arbeitnehmer den Risiken einer Exposition gegenüber künstlicher optischer Strahlung ausgesetzt sein können. Dies können Tätigkeiten sein, bei denen die optische Strahlung notwendiger Bestandteil eines Arbeitsvorgangs ist (z. B. in der Lasermaterialbearbeitung) sowie solche, bei denen Strahlung nur als Nebenprodukt entsteht (z. B. beim Schweißen).

Herstellerangaben und Messung

Bei der Gefährdungsbeurteilung können die Herstellerangaben dem Arbeitgeber bei der Einschätzung der Gefährdung sowie der Bestimmung der erforderlichen Schutzmaßnahmen eine wichtige Unterstützung bieten. Dabei kann die Sicherheitsklassifizierung von Lasern und inkohärenten optischen Strahlungsquellen sehr hilfreich sein.



Nicht in allen Fällen sind die Herstellerangaben für eine Gefährdungsbeurteilung hinreichend, so dass eine Messung der optischen Strahlung notwendig wird. Die dazu erforderlichen Messgeräte sind relativ teuer und können nur mit entsprechender Sachkenntnis eingesetzt werden. Bei falscher Bedienung können Fehler entstehen, die zu äußerst ungenauen Daten bei der Gefährdungsbeurteilung führen. Falls die

eigene Ausstattung mit qualifizierter Messtechnik nicht ausreichend ist und die Erfahrung im Einsatz der Geräte fehlt, sollte externe Unterstützung in Anspruch genommen werden.

Anhänge

In den Anhängen des Leitfadens werden die Eigenschaften der optischen Strahlung, ihre biologische Wirkung auf das Auge und die Haut sowie der Gebrauch von Substanzen, die die Lichtempfindlichkeit von Menschen verstärken, erläutert. Den umfangreichsten Teil des Leitfadens umfassen ausgearbeitete Beispiele für einige künstliche Quellen optischer Strahlung. Es werden zunächst die Gefährdungsbeurteilungen von 20 unterschiedlichen Quellen vorgestellt, die an den meisten Arbeitsplätzen in Büros und Geschäften eingesetzt werden, von der Schreibtischleuchte bis zum Bildschirm eines Laptop-Computers. Es folgt die Darstellung einiger von der Exposition gegenüber künstlicher optischer Strahlung betroffener Tätigkeiten, wie z. B. in der Glas- und Stahlverarbeitung, bei Laser-Shows oder in der Lasermaterialbearbeitung, und es werden deren Besonderheiten sowie Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt. Am Ende des Leitfadens sind die Anforderungen weiterer europäischer Richtlinien hinsichtlich der künstlichen optischen Strahlung dargestellt. Weiterhin sind relevante europäische und internationale Normen, Leitfäden, Fachzeitschriften sowie Internetadressen wichtiger nationaler, europäischer und internationaler Organisationen, die für den Schutz vor optischer Strahlung relevant sind, zusammengestellt.

2.4 Fazit

Der Leitfaden bietet für Arbeitgeber, insbesondere von kleinen und mittelständischen Unternehmen, eine gute Hilfestellung zur Anwendung der Europäischen Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“. Von wesentlicher Bedeutung sind die Auslegungen zu den trivialen Quellen. Für die Praxis von großem Nutzen sind die im Anhang aufgeführten beispielhaften Gefährdungsbeurteilungen für verschiedene Anwendungen von optischen Strahlungsquellen. Es wird erwartet, dass der Leitfaden den Anwendern noch in 2010 in deutscher Sprache zur Verfügung steht.

Literatur

- [1] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), ABI. EG L 114 vom 27. 4. 2006, S. 38 – 59, http://bb.osha.de/docs/RL_2006_25_EG_Opt_DE.pdf
- [2] Udovicic, L.: Europäischer Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung, sis, Jahrgang 61, Heft 6, Seite 267-268
- [3] A Non-Binding Guide to the Artificial Optical Radiation Directive 2006/25/EC (*noch nicht veröffentlicht*)

3 Nationale Umsetzung der EU-Richtlinie und ihre Anwendungen: Produktnormen zu Lasern, Lampen und Licht emittierenden Dioden (LED)

Werner Horak

Siemens AG

3.1 Vorgaben der OStrV

Bei der Verordnung zur nationalen Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch künstliche optische Strahlung – OStrV [1] handelt es sich um Grundlagen, Grenzwerte und Anleitungen für die Gefährdungsbeurteilung von optischen Strahlungs-Expositionen, d. h. die Bewertung kann den jeweiligen konkreten Expositionsszenarien (Quellenabstand, Expositionsdauer) angepasst werden. Derartige Bewertungen können allerdings recht aufwendig und komplex werden. Ein alternativer Ansatz kann die Verwendung der Herstellerdaten sein. Häufig werden an Arbeitsplätzen kommerziell erworbene optische Strahlungsquellen oder entsprechende Arbeitsmittel eingesetzt. Für diese Fälle räumt die OStrV ein: *„...Der Arbeitgeber kann sich zur Erfüllung seiner Pflichten...auch auf eine vom Hersteller oder Inverkehrbringer eines Arbeitsmittels mitgelieferte Gefährdungsbeurteilung beziehen. Dies gilt jedoch nur, wenn die tatsächlichen Arbeitsplatzverhältnisse und Expositionsbedingungen mit den dort gemachten Angaben und Festlegungen in Einklang stehen und die Arbeitsmittel nach den Vorgaben des Herstellers oder Inverkehrbringers bestimmungsgemäß verwendet und regelmäßig gewartet werden. Dabei kann sich der Arbeitgeber auch auf die zugänglichen Ergebnisse von Messungen oder Berechnungen berufen, die der Hersteller durchgeführt hat, um die Einhaltung der für das Inverkehrbringen erforderlichen Sicherheitsvorschriften zu gewährleisten. Die praktische Durchführung der Gefährdungsbeurteilung wird damit für den Arbeitgeber erheblich vereinfacht...“* [1].

3.2 Anforderungen der Produktsicherheit

Grundlegende Anforderungen bezüglich Sicherheit und Gesundheitsschutz stellt in Deutschland das „Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte“ (GPSG). Hersteller oder Importeure dürfen Produkte grundsätzlich nur in Verkehr bringen, wenn sie nach allgemein anerkannten „Regeln der Technik“ so beschaffen sind, dass Benutzer oder Dritte bei ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung vor Gefahren aller Art für Leben und Gesundheit geschützt sind. Das GPSG stellt die Übertragung verschiedener entsprechender Richtlinien der EU in nationales Recht dar. Im vorliegenden Fall handelt es sich dabei vorwiegend um die Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) und die Niederspannungsrichtlinie (2006/95/EG). Konformität mit diesen Richtlinien wird am Produkt mit dem CE-Kennzeichen dokumentiert. Eine „Konformitätsvermutung“ besteht insbesondere, wenn vom Hersteller „harmonisierte“ Normen verwendet wurden, deren Vorgaben zur Einhaltung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Produktsicherheitsrichtlinien dienen. Diese harmonisierten Produktnormen werden unter den Richtlinien gelistet. Solche Normen gibt es für verschiedene Produktgruppen auch zum optischen Strahlenschutz s. Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Produktgruppen, für die harmonisierte und gelistete Normen zur optischen Strahlungssicherheit existieren

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

Die in den Normen vorgeschriebenen Bewertungen werden in jedem Fall in Form einer Herstellererklärung (selbst) oder mit Hilfe eines unabhängigen Testhauses durchgeführt.

3.3 Bewertung und Kontrolle der Emission

Da beim Hersteller die zukünftigen Expositionsbedingungen unbekannt sind, erfolgt eine Bewertung der vom Produkt ausgehenden Emission – schematisch s. Abb. 3.1.

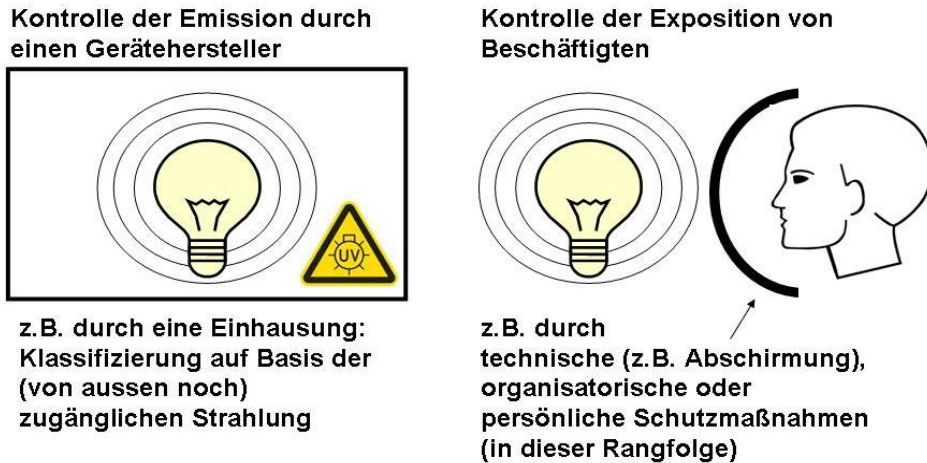


Abb. 3.1 (nach [2]): die OStrV verlangt die Kontrolle der Exposition (rechts) und die Einhaltung entsprechender Expositionsgrenzwerte – gegebenenfalls durch zu ergreifende (hierarchisch gestaffelte) Schutzmaßnahmen. Im Gegensatz dazu sind Produktsicherheitsnormen auf eine Kontrolle der Emission ausgelegt (links). Für diese gibt es klassenweise gestaffelte Grenzwerte. Die Klassenzuordnung ermöglicht es dem Hersteller (die gesetzlich verlangte) Auskunft über die potenzielle Gefährdung durch sein Produkt zu geben.

Die Grenzwerte der zugänglichen Emission sind klassenweise gestaffelt (aufsteigende Nummer – aufsteigende Gefährdung) wobei jeder Klasse eine bestimmte Sicherheitsphilosophie zugrunde liegt. Tab. 3.2 gibt eine Grobzuordnung der in den Produktnormen für optische Strahlungsquellen (Tab. 3.1) verwendeten Klassen und Sicherheitsphilosophien. In deren konkreter Auslegung können die Auffassungen der jeweiligen Normungsgremien allerdings deutlich voneinander abweichen.

Tab. 3.2 Grobzuordnung der Sicherheitsklassen und -philosophien der harmonisierten Produktnormen

| Lasereinrichtungen EN 60825-Reihe Laser in Maschinen EN ISO 11553-1 EN ISO 11553-2 | Lampen und Lampensysteme, LED (elektrisch betriebene opt. Strahlungsquellen) EN 62471 | inkohärente optische Strahlungsemissionen aus Maschinen EN 12198 | Sicherheitsphilosophie |
|--|--|---|---|
| Laserklasse 1*) | Risikogruppe 0 | Kategorie 0 | unter allen Umständen sicher |
| Laserklasse 1 | Risikogruppe 1 | Kategorie 1 | sicher bei normalem Umgang |
| Laserklasse 1M | | | |
| Laserklasse 2 | Risikogruppe 2 | | Sicherheit basiert auf Abwendungsreaktionen |
| Laserklasse 2M | | | |
| Laserklasse 3R | Risikogruppe 3 | Kategorie 2 | potenziell gefährlich: Schutzmaßnahmen |
| Laserklasse 3B | | | |
| Laserklasse 4 | | | |

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

Bei der Bewertung/Messung der Emission werden nach den harmonisierten Normen zumeist Worst-Case-Szenarien bezüglich der Nutzungsumstände (z. T. incl. möglicher Fehlerbedingungen) angelegt. Die Emissionsgrenzwerte selbst beziehen sich im Rahmen der jeweiligen Sicherheitsphilosophien auf maximale, vorhersehbare Betrachtungsdauern. Für die Auslegung der anzuwendenden Messverfahren werden maximale Pupillenöffnung für den Durchmesser der Messblende sowie minimaler (Akkommodations-)Abstand für die Messposition zugrunde gelegt. In der Lasersicherheit wird dabei z. T. sogar noch die Wirkung von optischen Instrumenten berücksichtigt – ein Grund für die stärkere Unterteilung bei den Laserklassen in Tab. 3.2. Verglichen damit kann man wohl davon ausgehen, dass zumeist nicht nur „...*die tatsächlichen Arbeitsplatzverhältnisse und Expositionsbedingungen mit den dort gemachten Angaben und Festlegungen in Einklang stehen...*“[1], sondern üblicherweise weit relaxierter sind. Auf dieser Worst-Case-Basis wurden die Emissionsgrenzwerte übrigens direkt von den Grenzwerten der Exposition hergeleitet. Die Zuordnung zu bestimmten (sicheren) Klassen kann also gleichzeitig die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte unter ungünstigsten Nutzungsumständen bedeuten.

3.4 Interpretation der Klassifizierungsaussagen

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

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

Das gilt im Grunde auch für die nächste herstellerseitige Zuordnung (Sicherheit basiert auf Abwendungsreaktionen) – allerdings wird hier auf die Auslösung willkürlicher und unwillkürlicher Abwehreflexe durch die optische Strahlungsquelle gebaut, wie z. B. durch grelles Licht oder Hitzeschmerz. Diese können u. U. jedoch außer Kraft gesetzt sein oder überwunden werden. Bei Produkten und Arbeitsmitteln dieser beiden Kategorien ist also zu prüfen, ob die jeweiligen Sicherheitsphilosophien im Einzelfall auch gelten und ob bestimmungsgemäßer Gebrauch vorliegt. In den meisten Umfeldern kann man beispielsweise darauf bauen, dass von einem Laserpointer der Laserklasse 2 bzw. einer LED-Taschenlampe der Risikogruppe 2 bei zufälligem direktem Blick in die Quelle im Normalfall die üblichen Abwendungsreaktionen auf den unangenehmen visuellen Reiz ausgelöst werden. Unter bestimmten Umständen (Medikamenteneinfluss o. ä.) muss dies jedoch nicht gelten.

Am kritischsten sind natürlich die Produkte und Arbeitsmittel, die herstellerseitig den höchsten Kategorien zugeordnet wurden, weil hier die Expositionsgrenzwerte definitiv überschritten werden können. Dies ist insbesondere bei Lasereinrichtungen mit hohen optischen Strahlungsleistungen im gebündelten Strahl von Bedeutung. Entgegen dem Anschein bedeutet allerdings auch hier eine hohe Laserklasse nicht gleichzeitig „immer gefährlich“. Sie bedeutet lediglich, dass die Lasersicherheit bis zu einem gewissen Grad beim Anwender liegt. In diesen Fällen muss der Hersteller nach der harmonisierten Laserschutznorm eine ganze Reihe von technischen und organi-

satorischen Schutzmaßnahmen realisieren, die von konstruktiven Anforderungen, wie Schutzgehäuse, Schlüsselschalter, Sicherheitsverriegelungen, Strahlwarnung usw. über bestimmte Kennzeichnungspflichten und anzubringende Warnschilder bis hin zu einer detaillierten Dokumentation mit Empfehlungen für den sicheren Umgang bzw. für zu ergreifende persönliche Schutzmaßnahmen reichen. Beim Anwender verbleibt es, diesen Vorgaben für die sichere Installation und den sicheren Betrieb zu folgen. Diese werden für Laserarbeitsplätze – bis hin zum Erfordernis eines Laserschutzbeauftragten – mit der genannten UVV BGV B2 ohnehin verbindlich vorgegeben.

Insbesondere bei inkohärenten optischen Strahlungsquellen müssen auch frei betriebene höher klassifizierte Einrichtungen im realen Anwendungsfall nicht gefährlich sein.

Im Gegensatz zur meist kollimierten Laserstrahlung, wo die Leistungsdichte im Strahl über große Entfernungen quasi unverändert bleibt, ist die Strahlung von Lampen, Leuchten und LED zumeist divergent – die Leistungsdichte verringert sich also stark mit dem Quellenabstand und damit auch die tatsächliche Gefährdung unter den meisten Anwendungsbedingungen.

Aus diesem Grund – um z. B. eine ausreichende Beleuchtungsstärke (auch mit Sicherheitsrelevanz) in der Arbeitsebene zu realisieren – kann es geradezu notwendig sein, Leuchtmittel einer hohen Risikogruppe an der Raumdecke zu verwenden. In größerer Entfernung bei bestimmungsgemäßem Gebrauch wird die Gefährdung durch die unter den o. a. Worst-Case-Konstellationen getroffene Risikogruppenzuordnung zumeist nicht mehr adäquat beschrieben. In derartigen Fällen bleibt zu prüfen, ob es arbeitsbedingte Situationen gibt, bei denen sich Personen diesen Strahlungsquellen über das übliche Maß hinaus annähern können.

Da sich diese Klassen- oder Risikogruppenzuordnung durch den Hersteller nur auf einzelne Quellen beziehen kann, ist sie allerdings für die Beurteilung von gleichzeitigen Expositionen durch mehrere Strahler begrenzt aussagefähig. Dann können sich die Einwirkungen u. U. addieren. Derartige Umstände müssen bei der Verwertung der Herstellerangaben ggf. berücksichtigt werden und können u. U. eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung notwendig machen.

3.5 Verbleibende Anforderungen

Der Anwendungsbereich der OStrV umfasst sowohl die direkten Gefährdungen für Auge und Haut als auch die indirekten und sekundären Gefährdungen z. B. durch Blendung oder durch bei einem Arbeitsprozess möglicherweise erzeugte gesundheitsschädliche Nebenprodukte. Auch ist u. U. auf schädliche Auswirkungen auf besonders photosensible Personen zu prüfen.

Direkte Gefährdungen für Auge und Haut sind gegeben, wenn die Expositionsgrenzwerte überschritten werden. Wie oben gezeigt, wird dies beim Großteil kommerzieller Strahlungsquellen bei bestimmungsgemäßem Gebrauch schon aus Gründen der Produktsicherheit nicht der Fall sein. Da sich die Produktsicherheitsvorgaben vorwiegend auf direkte Gefährdungen für Auge und Haut beziehen, muss beim Umgang mit diesbezüglich als „sicher“ bewerteten Produkten im Einzelfall also weiter geprüft werden, ob sekundäre Gefährdungen möglich sind. Insbesondere Lichtquellen, können ein u. U. derartiges sekundäres Gefahrenpotenzial besitzen: durch ihre Blendwirkung. Temporär eingeschränktes Sehvermögen und Nachbilder können je nach

Situation zu Irritationen, Belästigungen, Beeinträchtigungen, Schreckreaktionen und damit sogar zu Unfällen führen. Grad und Abklingzeit der zeitweiligen Störung sind nicht einfach quantifizierbar, sie hängen wesentlich vom Helligkeitsunterschied zwischen Blend-Lichtquelle und Umgebung ab.

Literatur

- [1] Drucksache 262/10
- [2] D. H. Sliney et al., JLA Vol. 19, No 3, pp 197-206

4 Offene Fragen bei der Expositionsermittlung und Risikobewertung

Detlef Schwaß

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

4.1 Einleitung

Die Messung und Beurteilung der Exposition gegenüber inkohärenter optischer Strahlung an Arbeitsplätzen erfolgt bisher auf Basis der Berufsgenossenschaftlichen Information BGI 5006 [1]. Grundlage für die in der BGI 5006 enthaltenen Expositionsgrenzwerte sind die Empfehlungen der ICNIRP [2, 3], die auch bei der Erstellung der EU-Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“ [4] herangezogen wurden. Mit der Arbeitsschutzverordnung zu optischer Strahlung – OStrV [5], die auf die Grenzwerte der Richtlinie verweist, werden erstmals verbindliche Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung festgelegt. Diese Grenzwerte weisen jedoch Lücken auf und es wird nicht ausreichend erläutert, wie die Grenzwerte anzuwenden sind. Zudem können mit der verfügbaren Messtechnik die geforderten Messgrößen teilweise nur unzureichend ermittelt werden.

4.2 Grenzwertfestlegung im Bereich von 180 nm bis 3000 nm

Obwohl der Geltungsbereich der Richtlinie den Wellenlängenbereich von 100 nm bis 1 mm umfasst, sind Grenzwerte für inkohärente optische Strahlung nur in einem Wellenlängenbereich von 180 nm bis 3000 nm festgelegt. Damit existieren im Wellenlängenbereich von 100 nm bis 180 nm und von 3000 nm bis 1 mm keine Expositionsgrenzwerte:

a) untere Grenze des Wellenlängenbereichs:

Bei der UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm bis 180 nm handelt es sich um das so genannte Vakuum-UV, d.h. die Reichweite der Strahlung in der Luft ist sehr gering. Trotz der geringen Reichweite der Strahlung bleiben jedoch Unsicherheiten dahingehend, wie die Exposition an Arbeitsplätzen zu beurteilen ist, an denen UV-Strahlung unter 180 nm angewendet wird. Dies betrifft z. B. Excimer-Lampensysteme, die Strahlung bei einer Wellenlänge von 172 nm emittieren.

b) obere Grenze des Wellenlängenbereichs:

Viele Strahlenquellen, z. B. in der Glasverarbeitung, emittieren einen großen Teil ihrer Strahlung im Wellenlängenbereich über 3000 nm. Als Beispiel ist in Abbildung 4.1 dargestellt, dass bei einer Strahlenquelle mit einer Temperatur von 800 °C theoretisch nur 32 % der emittierten Strahlung bei Anwendung des Grenzwertes zu berücksichtigen sind und die übrigen 68 % unberücksichtigt bleiben. Bei der Beurteilung von thermischen Hautschäden bleibt somit die Hauterwär-

mung, die durch IR-Strahlung über 3000 nm verursacht wird, unberücksichtigt. Ob damit eine realistische Bewertung des Verbrennungsrisikos realisiert wird, bleibt fraglich.

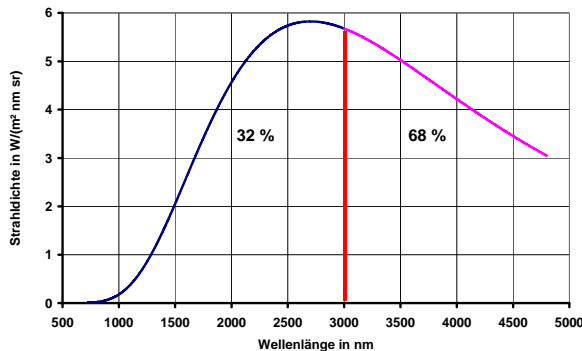


Abb. 4.1

Strahlenemission eines schwarzen Strahlers bei einer Temperatur von 800 °C. Nur für 32 % der Strahlung sind die Grenzwerte der Richtlinie gültig.

4.3 Regeln zur Anwendung der Expositionsgrenzwerte

Alle in der Tabelle 1.1 der Richtlinie genannten Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung enthalten Angaben zu dem Expositionszeitraum, in dem die Grenzwerte gültig sind. Die Grenzwerte sind weitgehend eindeutig, wenn eine kontinuierliche und konstante Strahleneinwirkung vorliegt. Üblicherweise liegt an industriellen Arbeitsplätzen aber keine kontinuierliche Strahleneinwirkung vor. Es fallen vielmehr einzelne Tätigkeiten mit unterschiedlicher Dauer und Strahlenintensität an, die durch Pausen, in denen keine Strahleneinwirkung vorliegt, unterbrochen sein können. Außerdem kann die Strahlenintensität starke Schwankungen aufweisen. Da keine Regeln zur Anwendung der Grenzwerte festgelegt sind, können sich für eine Expositionssituation durch unterschiedliche Berücksichtigung von Pausen sowie Mittel- und Spitzenwerten der Exposition verschiedene Risikobeurteilungen ergeben.

4.4 Zusammenfassung von Grenzwerten

In Tabelle 1.1 der Richtlinie sind unter den Kennbuchstaben „m“ und „n“ Grenzwerte zum Schutz vor Verbrennungen der Hornhaut und vor Trübungen der Augenlinse (Kataraktogenese) festgelegt. Die Kombination der Grenzwerte für beide Schädigungsarten (siehe Abb. 4.2) mit ihren sehr unterschiedlichen Einwirkungszeiten erscheint nicht sachgerecht.

Für die Entstehung eines Katarakts sind nicht die kurzzeitigen (wie bei der Verbrennung der Hornhaut), sondern die langfristigen Expositionen in einem Zeitraum von etwa 10 bis 30 Jahren maßgeblich. In der Literatur wird mehrfach darauf hingewiesen, dass für eine Kataraktentstehung der Mittelwert der Bestrahlungsstärke während einer Arbeitsschicht heranzuziehen ist [1, 6, 7]. Zum Schutz der Augen vor einer Katarakt ist deshalb in der BGI 5006 für eine 8-stündige Arbeitsschicht ein Expositionsgrenzwert von $H = 3 \text{ MJ/m}^2$ für den Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm festgelegt. Dies entspricht einer mittleren Bestrahlungsstärke von 100 W/m^2 . Kurzzeitige wiederholte Expositionen während einer Arbeitsschicht wären daher zulässig, sofern der Grenzwert für die Hornhautverbrennung eingehalten wird und der

Mittelwert der Exposition unter 100 W/m^2 bleibt. In der EU-Richtlinie wird dagegen für $t > 1000 \text{ s}$ ein Grenzwert der Bestrahlungsstärke von 100 W/m^2 festgelegt. Wird dieser Grenzwert auf mehrere wiederholte Einzelexpositionen angewendet, kann in vielen Fällen der Grenzwert überschritten werden und zwar auch dann, wenn der Mittelwert der Exposition unter 100 W/m^2 bleibt. An Arbeitsplätzen mit deutlich über 100 W/m^2 liegenden Bestrahlungsstärken (z. B. Glasindustrie) wird sich daher ggf. die Frage stellen, wie unter diesen Bedingungen die Arbeiten noch durchgeführt werden können.

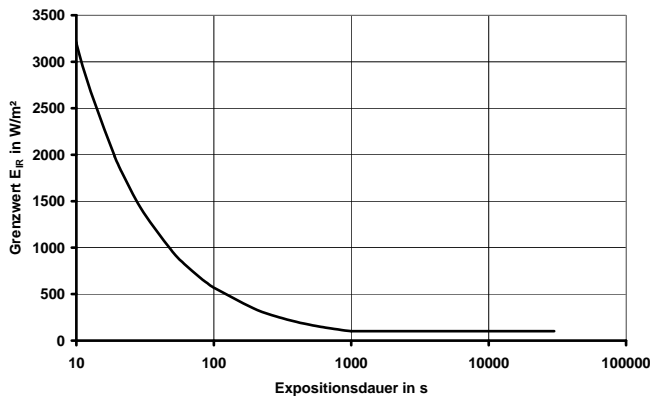


Abb. 4.2

Grenzwerte für Hornhautverbrennung und Kataraktogenese gemäß Buchstaben m. und n. in Tabelle 1.1 der Richtlinie

4.5 Schutz der Haut vor Verbrennungen

Der in Tabelle 1.1, Kennbuchstabe o der Richtlinie angegebene Grenzwert für Verbrennungen der Haut gilt nur für Expositionsdauern unter 10 s . In der Praxis treten jedoch auch Expositionen mit einer Dauer von mehr als 10 s auf. Ein Beispiel hierfür ist die Glasentnahme aus einem Hafnofen, wobei Expositionsdauern bis zu 20 s beobachtet wurden. Für diese Expositionssituation enthält die Richtlinie keinen Grenzwert obwohl eine erhebliche Verbrennungsgefahr für die Haut besteht. Zur Beurteilung der Exposition muss daher auf andere Informationsquellen zurückgegriffen werden. Hierfür kommt beispielsweise die in Abbildung 4.3 dargestellte Grafik zur Schmerzgrenze in Frage, die der DIN 33403-3 [8] entnommen wurde.

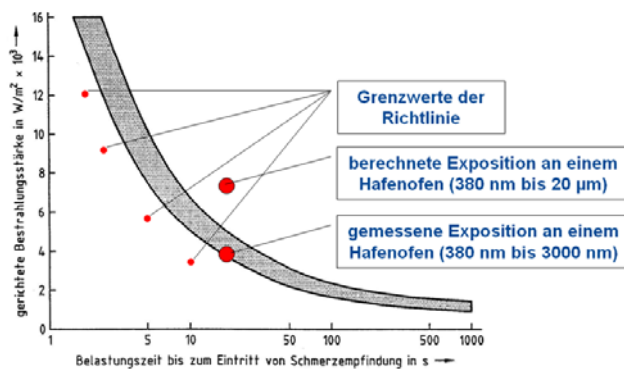


Abb. 4.3

Grenzwerte gemäß der Richtlinie 2006/25/EG und Bereich der Schmerzempfindung gemäß DIN 33403-3

4.6 Eignung von Messverfahren

Die Messung und Beurteilung personenbezogener Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung ist in DIN EN 14255 Teile 1 und 2 [9] ausführlich beschrieben. Demnach kommen für die Messung vor allem Spektrometer und Radiometer in Betracht. Mit diesen Geräten können jedoch einige der zu messenden Größen (z. B. E_{eff} (gemäß Buchstabe a. in Tabelle 1.1 der Richtlinie) oder E_{IR} (gemäß Buchstabe n. in Tabelle 1.1 der Richtlinie)) nur unvollständig gemessen werden:

a) Spektrometer:

Spektrometer haben den Vorteil, dass aus dem gemessenen Spektrum beliebig gewichtete spektrale Anteile der Bestrahlungsstärke ermittelt werden können. Die für Messungen an Arbeitsplätzen wünschenswerten kleinen, handlichen und damit preisgünstigen Spektrometer sind jedoch oft nicht ausreichend empfindlich. Zur Messung der effektiven UV-Bestrahlungsstärke E_{eff} sind sie daher eher ungeeignet. Empfindliche Spektrometer sind wesentlich teurer, sie liefern aber trotzdem nicht immer das gewünschte Ergebnis. Hier ist vor allem der eingeschränkte Wellenlängenbereich zu nennen, der eine Messung in dem erforderlichen Bereich unmöglich macht:

- Im Bereich der UV-Strahlung sind Spektrometer bei Wellenlängen unter 200 nm meist nicht verwendbar. Die spektrale Messung der effektiven Bestrahlungsstärke E_{eff} schließt daher den Bereich von 180 nm bis 200 nm üblicherweise nicht ein.
- Im Bereich der IR-Strahlung ist der Wellenlängenbereich der Spektrometer so eingeschränkt, dass der zu untersuchende Wellenlängenbereich von z. B. 780 nm bis 3000 nm nur durch Messung mit mehreren Spektrometern oder nach Umrüstung eines Spektrometers annähernd erreicht werden kann. Insbesondere die Messung im Wellenlängenbereich über ca. 2500 nm ist mit vielen Spektrometern aber nicht möglich. Daher kann ein IR-Spektrum von 780 nm bis 3000 nm in der Regel nicht vollständig sondern nur in einem Teil des Wellenlängenbereichs gemessen werden.

b) Radiometer:

Für die nach der Richtlinie zu messenden radiometrischen Größen sind je nach Wellenlängenbereich nur sehr wenige Messgeräte verfügbar, die die speziellen Anforderungen an die spektrale Empfindlichkeit erfüllen. Für die Messung der UV-A-Exposition ist gemäß Buchstabe b. in Tabelle 1.1 der Richtlinie in einem Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm zu messen. UV-A-Radiometer sind jedoch entweder nur in einem Teil dieses Wellenlängenbereichs empfindlich oder sie messen auch einen Teil der Strahlung aus den benachbarten Wellenlängenbereichen (siehe Abb. 4.4). Gemäß Buchstabe a. in Tabelle 1.1 der Richtlinie ist die UV-Strahlung mit der Funktion $S(\lambda)$ im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm zu wichten. Diese Wichtungsfunktion wird bei Radiometern im Wellenlängenbereich von etwa 250 nm bis 300 nm und teilweise auch bei 300 nm bis 400 nm annähernd erreicht (siehe Abb. 4.5). Wie die spektrale Empfindlichkeit unterhalb von 250 nm verläuft ist dem Anwender in der Regel nicht bekannt. Daher sind zuverlässige Messungen der effektiven Bestrahlungsstärke im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 250 nm mit Radiometern nicht möglich.

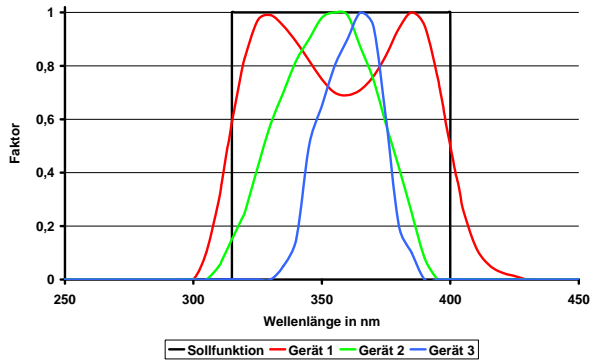


Abb. 4.4 Spektrale Empfindlichkeit von Radiometern: Messgröße: E_{UVA}

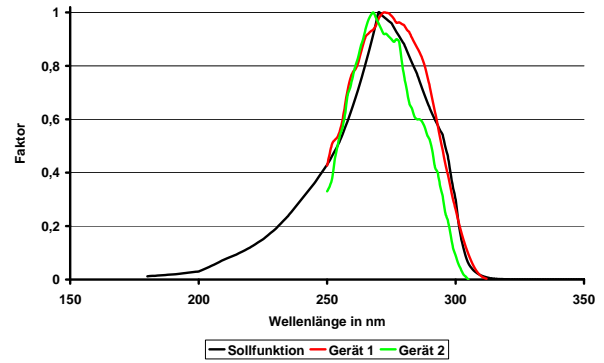


Abb. 4.5 Spektrale Empfindlichkeit von Radiometern: Messgröße: E_{eff}

Für die Messung der IR-Bestrahlungsstärke in den Wellenlängenbereichen von 780 nm bis 3000 nm bzw. 380 nm bis 3000 nm (Buchstaben n. und o. in Tabelle 1.1 der Richtlinie) gibt es keine Radiometer, die nur diesen Wellenlängenbereich erfassen. Hier können entweder Messgeräte verwendet werden, die die Strahlung in einem größeren Wellenlängenbereich erfassen oder bei denen ein Teil der Strahlung mit einem optischen Filter ausgeblendet wird (siehe Abb. 4.6). Mit beiden Methoden kann der vorgegebene Wellenlängenbereich aber nicht korrekt erfasst werden.

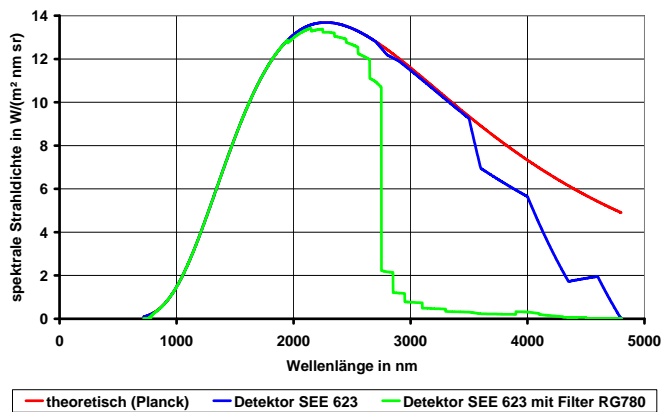


Abb. 4.6 Schwarzer Strahler bei 1000 °C: Möglichkeiten zur Messung von E_{IR} im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm

Literatur

- [1] BG Information BGI 5006: Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung. Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Oktober 2004
- [2] Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation); International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics Vol. 87, No. 2, pp. 171-186, August 2004.
- [3] Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation); International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics Vol. 87, No. 2, pp. 171-186, August 2004.
- [4] 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)
- [5] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV), Bundesratsdrucksache 262/10 vom 29.04.2010
- [6] Siekmann, H.: Trübung der Augenlinse durch Wärmestrahlung. Tagungsband zur 21. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, 1988
- [7] Leitfaden „Nichtionisierende Strahlung“: Sichtbare und infrarote Strahlung. Fachverband für Strahlenschutz, Stand 25.02.2005
- [8] DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße. Beuth Verlag, Berlin, April 2001.
- [9] DIN EN 14255 Teile 1 und 2: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung, Beuth Verlag, Berlin.

5 Risikobewertung von Licht emittierenden Dioden (LED)

Ljiljana Udovicic, Marco Janßen, Günter Ott, Florian Mainusch,
Erik Romanus

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

5.1 Einleitung

Dank ihres geringen Energieverbrauchs und der langen Lebensdauer gelten Licht emittierende Dioden (LED) als die „Lichtquellen der Zukunft“. In vielen Anwendungen haben sie bereits Einzug gehalten. So werden sie z. B. für Anzeigen von Messwerten und Betriebszuständen, in OP-Leuchten, in Autoscheinwerfern und Verkehrsampeln eingesetzt. Als Taschenlampen und in der Raum-, Straßen- und Architekturbeleuchtung kommen LED ebenfalls zum Einsatz. Auch in Spezialanwendungen im ultravioletten (UV) und infraroten (IR) Wellenlängenbereich sind sie zu finden, z. B. in der Zahntechnik zum Polymerisieren von Kunststoffen (UV-LED) oder bei der Freiraum-Datenübertragung (Infrarot Emittierende Dioden, IRED). Die großen Fortschritte, die in den letzten Jahren in der LED-Technologie erzielt wurden, haben im sichtbaren Wellenlängenbereich zu höheren Lichtausbeuten und höherenergetischen Spektren der LED geführt. Darüber hinaus sind leistungsstarke LED im UV- und IR-Wellenlängenbereich auf dem Markt erhältlich. Angesichts dieser Entwicklung stellt sich immer dringender die Frage nach der photobiologischen Sicherheit von LED.

Die Grenzwerte für die Exposition gegenüber Laserstrahlung bzw. inkohärenter optischer Strahlung für Augen und Haut legt die EU-Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung [1] fest¹. In der Richtlinie sind die Pflichten des Arbeitgebers hinsichtlich der Ermittlung und Bewertung sowie, falls erforderlich, einer Messung und/oder Berechnung des Ausmaßes der optischen Strahlung festgelegt. Dabei entspricht die Mess- und/oder Berechnungsmethodik hinsichtlich Laserstrahlung bzw. inkohärenter optischer Strahlung den dazugehörigen Normen.

Im Hinblick auf ihre geringe Quellengröße ähneln LED den Lasern, allerdings ist von ihnen ausgehende optische Strahlung nicht so kollimiert wie Laserstrahlung. Nachdem jedoch die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) die LED in den Anwendungsbereich der Lasersicherheitsnorm IEC 60825-1 aufgenommen und sie damit vom Standpunkt der optischen Strahlungssicherheit den Lasern gleichgestellt hat, wurde erkannt, dass das Messverfahren nach der Lasersicherheitsnorm zu überkritischen Ergebnissen bei der Bewertung der photobiologischen Sicherheit von LED führen kann. Das Messverfahren ist auf gut kollimierte Laserstrahlen ausgerichtet und stellt damit für LED eine Vereinfachung dar. Deswegen wurden mit der neuen Ausgabe der Lasersicherheitsnorm IEC 60825-1:2007, die in die nationale deutsche Norm DIN EN 60825-1:2008 [3] übernommen wurde, LED ausdrücklich von der

¹ Die Umsetzung der EU-Richtlinie 2006/25/EG in deutsches Recht wird über eine Artikelverordnung geschehen. Mit dem Dokument Bundesratdrucksache 262/10 [2] wurde das Bundesratsverfahren für den Verordnungsentwurf zur Umsetzung der Richtlinie eingeleitet.

Norm ausgenommen. Die photobiologische Sicherheit von LED wird stattdessen anhand der Lampensicherheitsnorm DIN EN 62471:2009 [4] beurteilt. LED für spezifische Anwendungen, wie etwa IRED zur Freiraum-Datenübertragung und LED in der Lichtwellenleitertechnik verbleiben allerdings noch in der DIN EN 60825-12 [5] bzw. DIN EN 60825-2 [6].

5.2 Lampensicherheitsnorm

Nach der Lampensicherheitsnorm DIN EN 62471 wird die von einer Lampe ausgehende Emission bewertet. Die Lampen werden in eine von vier Risikogruppen eingeteilt. Die Risikogruppe gibt Auskunft darüber, wie lange man der optischen Strahlung einer Lampe in einem bestimmten Abstand ausgesetzt sein kann, ohne dass es zur Überschreitung der Emissionsgrenzwerte kommt. Die Emissionsgrenzwerte der Risikogruppen wurden von den Expositionsgrenzwerten für verschiedene Schädigungsmechanismen hergeleitet.

- Lampen der **Freien Gruppe** (kein Risiko) stellen, auch bei kontinuierlichem, uneingeschränktem Gebrauch, keine Gefährdung dar.
- Lampen der **Risikogruppe 1** (geringes Risiko) sind unter den meisten Nutzungsumständen sicher, außer für sehr lang andauernde Betrachtung mit direkter Augenexposition.
- Lampen der **Risikogruppe 2** (mittleres Risiko) stellen keine optische Gefährdung dar, solange Abwendungsreaktionen die Expositionsdauer begrenzen.
- Lampen der **Risikogruppe 3** (hohes Risiko) sind auch bei kurzzeitiger Exposition gefährlich.

Für die Risikoklassifizierung soll eine Lampe im Hinblick auf verschiedene Schädigungsmechanismen für das Auge bzw. die Haut überprüft werden:

- Aktinische UV-Gefahr für das Auge und die Haut: UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 200 nm bis 400 nm kann zur Entzündung der Hornhaut, der Bindehaut und/oder zum Sonnenbrand führen.
- UV-Gefahr für das Auge: UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm kann zu einem Katarakt (Trübung der Augenlinse) führen.
- Photochemische Netzhautgefährdung (Blaulichtgefahr): Optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 300 nm bis 700 nm kann zu einer photochemischen Schädigung der Netzhaut führen.
- Thermische Netzhautgefährdung: Sichtbares Licht und IR-Strahlung im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 1400 nm können zu einer thermischen Schädigung der Netzhaut führen.
- IR-Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm kann zu einem Katarakt führen.
- Thermische Schädigung der Haut: Sichtbare und IR-Strahlung von 380 nm bis 3000 nm können zur Verbrennungen der Haut führen.

Die Einstufung in eine Risikogruppe beruht, je nach Art des Emissionsgrenzwertes, auf der Messung der spektralen Bestrahlungsstärke (definiert als Strahlungsleistung pro Detektorfläche) oder der Strahldichte (definiert als Strahlungsleistung pro Quel-

lenfläche und Raumwinkel) in einem vorgegebenen Referenzabstand zur optischen Quelle. Die spektrale Bestrahlungsstärke bzw. Strahldichte sind mit der entsprechenden Wirkungsfunktion zu bewerten, über den entsprechenden Wellenlängenbereich zu integrieren, und das Ergebnis ist mit den Emissionsgrenzwerten für eine vorgegebene Expositionsdauer zu vergleichen.

In der Lampensicherheitsnorm DIN EN 62471 wird zwischen Lampen, die für den Allgemeingebrauch vorgesehen sind, und Lampen für sonstige Anwendungen, wie z. B. zur Entkeimung, zum Heizen, zur Signalisierung usw. unterschieden. Für Lampen, die für den Allgemeingebrauch bestimmt sind, soll die Bestrahlungsstärke oder Strahldichte in einem Abstand ermittelt werden, bei dem die Beleuchtungsstärke 500 lx beträgt, der Abstand aber nicht kleiner als 20 cm ist. Für alle anderen optischen Quellen sollen die Messungen in einer Entfernung von 20 cm zur Quelle durchgeführt werden.

Bei optischer Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich dominieren zwei Schädigungsmechanismen der Netzhaut: Die photochemische und die thermische Netzhautschädigung. Während die thermische Netzhautschädigung eine lokale Verbrennung des Netzhautgewebes darstellt, wird bei der photochemischen Schädigung die Energie der einfallenden optischen Strahlung in chemische Reaktionsenergie (und nicht in Wärme) umgesetzt. Die photochemische und die thermische Netzhautschädigung sind von der Größe der bestrahlten Netzhautfläche abhängig. Hornhaut und Linse des Auges bilden die scheinbare Quelle² auf der Netzhaut ab, wobei die Größe der Abbildung auf der Netzhaut proportional zur Winkelausdehnung α der scheinbaren Quelle³ ist. Mit steigender Betrachtungszeit führen unwillkürliche Augenbewegungen dazu, dass die Abbildung der Quelle über einen größeren Winkel verschmiert und damit die bestrahlte Fläche auf der Netzhaut größer wird, was zu vermindertem Risiko führt. Die Lampensicherheitsnorm berücksichtigt den Effekt des verminderten Risikos durch Augenbewegungen, indem bei längeren Expositionsdauern ein größerer Empfangswinkel γ vorgegeben ist, der vom Detektor „gesehen“ wird. Dieser Empfangswinkel γ nimmt für Messungen zur photochemischen Gefährdung der Netzhaut je nach Expositionsdauern Werte von 100 mrad ($t \leq 10\,000$ s), 11 mrad ($t \leq 100$ s) und 1,7 mrad ($t \leq 0,25$ s) an. Bei der thermischen Gefährdung der Netzhaut beträgt der Empfangswinkel γ 11 mrad für $t \leq 10$ s und 1,7 mrad für $t \leq 0,25$ s. Die einzuhaltenen Emissionsgrenzwerte werden als Strahldichte angegeben und beziehen sich auf die maximale vorhersehbare Expositionsdauer für die jeweilige Risikogruppe (siehe Tabelle 5.1).

² Bei LED ist die Strahlungsquelle (Chip) meistens mit Linsen in einem Plastikgehäuse integriert. Durch die Linse entsteht bei direktem Blick für das Auge eine so genannte „scheinbare Quelle“.

³ Die Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle ergibt sich aus der Größe der scheinbaren Quelle d und dem Abstand r . Für kleine Winkel gilt $\alpha = d/r$.

Tab. 5.1 Emissionsgrenzwerte der Strahldichte L_B für die photochemische und L_R für die thermische Netzhautgefährdung sowie die maximale Expositionsdauer für die jeweilige Risikogruppe

| Gefährdung | | Freie Gruppe | Risikogruppe 1 | Risikogruppe 2 |
|------------------------|---|------------------|------------------|------------------|
| Netzhaut photochemisch | Expositionsdauer [s] | 10 000 | 100 | 0,25 |
| | Emissionsgrenzwert L_B [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$] | 100 | 10 000 | 4 000 000 |
| Netzhaut thermisch | Expositionsdauer [s] | 10 | 10 | 0,25 |
| | Emissionsgrenzwert L_R [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$] | $28\,000/\alpha$ | $28\,000/\alpha$ | $71\,000/\alpha$ |

5.3 Methoden

Im Optiklabor der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin wurde die photobiologische Sicherheit unterschiedlicher LED nach der Lampensicherheitsnorm DIN EN 62471 überprüft. Die Größe der scheinbaren Quelle d wurde nach der Vorgabe der Lampensicherheitsnorm aus den 50%-Punkten des Intensitätsprofils unter Verwendung eines Kamerasystems ermittelt. Damit konnte die Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle α im Referenzabstand ermittelt werden. Diese Winkelausdehnung wurde zur Bestimmung der Emissionsgrenzwerte für die thermische Netzhautschädigung aus der Tabelle 5.1 eingesetzt.

Die Beleuchtungsstärke wurde mit einem Beleuchtungsstärkemessgerät (X11, Gigahertz-Optik) ermittelt. Mittels eines Doppelmonochromators (DTM 300, Bentham Instruments Ltd.) wurde die spektrale Strahldichte gemessen. Die Kalibrierungsmessungen wurden mit einer 50 W Quarzhalogen-Kalibrierlampe (Strahldichtenormal SRS8, Bentham Instruments Ltd.) mit einer Bandbreite von 5 nm und einer Schrittweite von 1 nm durchgeführt. Der Doppelmonochromator wurde zudem hinsichtlich seiner Wellenlängengenauigkeit mittels einer Hg (Ar)-Lampe (L.O.T.-Oriol) überprüft. Als Detektor kam ein gekühlter Photomultiplikator (DH-30 TE, Bentham Instruments Ltd.) zum Einsatz. Die Messungen wurden mit einer 7-mm-Blende vor der Eingangsoptik durchgeführt. Vorgeschriebene Empfangswinkel γ von 1,7 mrad, 11 mrad und 100 mrad wurden mittels eines Teleskops (TEL 301, Bentham Instruments Ltd.) realisiert. Die Messwerte wurden mit einem PC erfasst, die Spektren mit Hilfe geeigneter Software (BenWin+) mit der passenden Wirkungsfunktion bewertet (Wirkungsfunktion $B(\lambda)$ für Blaulichtgefährdung bzw. $R(\lambda)$ für die thermische Netzhautgefährdung) und über den entsprechenden Wellenlängenbereich integriert. Die so ermittelten Strahldichte-Messwerte wurden für die entsprechende Gefährdung mit den Strahldichte-Emissionsgrenzwerten bei der jeweils vorgegebenen Expositionsdauer verglichen.

5.4 Ergebnisse

Insgesamt wurden 50 LED im sichtbaren Wellenlängenbereich untersucht. Dabei handelte sich um 41 einzelne LED mit oder ohne Linsen, 4 LED-Taschenlampen und 5 LED-Lampen. Im Folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse von einer Einzel-LED sowie einer LED-Lampe dargestellt.

5.4.1 LED Diamond Dragon LW W5AP weiß

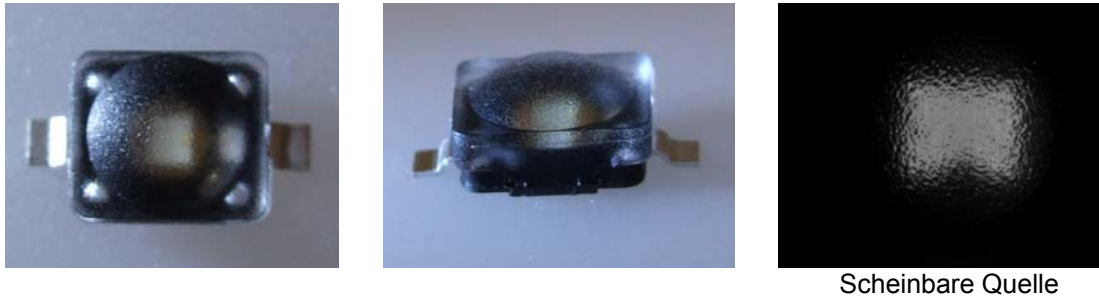


Abb. 5.1 LED Diamond Dragon LW W5AP weiß

Die LED Diamond Dragon LW W5AP (Osram) wurde entsprechend den Vorgaben in den technischen Daten mit einer Stromstärke von 1400 mA betrieben. Die Strahllichte-Messungen wurden in einem Abstand von 20 cm durchgeführt, da diese LED vielseitig verwendet werden kann und deshalb eine „Worst-Case“-Betrachtung erfolgen sollte. Aus der gemessenen Größe der scheinbaren Quelle (Abbildung 5.1) wurde die Winkelausdehnung α im Abstand von 20 cm berechnet und zur Bestimmung der Grenzwerte für thermische Netzhautschädigung eingesetzt (Tabelle 5.2). Die relative spektrale Strahllichte der LED LW W5AP wird in Abbildung 5.2 dargestellt. Die Strahllichte-Messwerte für die photochemische und die thermische Netzhautgefährdung, $(L_B)_{\text{mess}}$ bzw. $(L_R)_{\text{mess}}$ sind in Tabelle 5.3 zusammengestellt. Für die thermische Netzhautschädigung wurde keiner der Emissionsgrenzwerte überschritten. Die LED LW W5AP wäre deshalb in die Freie Gruppe einzustufen. Hinsichtlich der photochemischen Netzhautgefährdung kam es aber zu einer Überschreitung der Emissionsgrenzwerte der Freien Gruppe und auch der Risikogruppe 1. Weil für die Risikogruppenbewertung das höchste Risiko maßgebend ist, wird die weiße LED LW W5AP schließlich in die Risikogruppe 2 eingestuft.

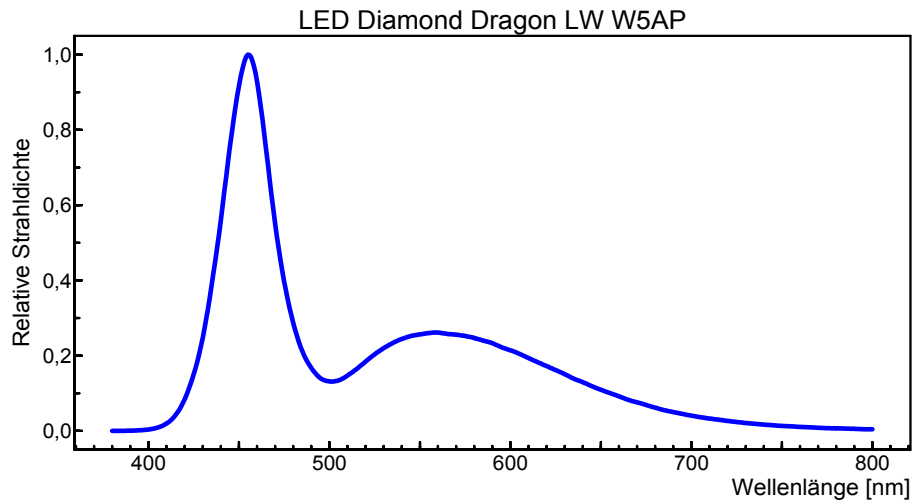


Abb. 5.2 Relative spektrale Strahlendichte der LED LW W5AP. Bei dieser LED regt das Licht einer blauen LED Fluoreszenzfarbstoffe an. Aus der direkten Emission der blauen LED (Maximum bei 455 nm) und der Fluoreszenz (Maximum etwa 565 nm) entsteht weißes Licht.

5.4.2 LED-Lampe MR 16 blau



Abb. 5.3 LED-Lampe MR 16 blau

Die blaue LED-Lampe Omnilux MR 16 (Abbildung 5.3) kann in Diskotheken, Theatern und im Heimbereich eingesetzt werden. Die Beleuchtungsstärke von 500 lx wurde im Abstand von 17 cm gemessen. Nach DIN EN 62471 soll die Strahlendichte in einem Abstand ermittelt werden, bei dem die Beleuchtungsstärke 500 lx beträgt, der aber nicht kleiner als 20 cm ist (vgl. 2.). Deshalb wurden die Strahlendichtemessungen in einem Abstand von 20 cm durchgeführt. Abbildung 5.4 zeigt die relative spektrale Strahlendichte der LED-Lampe MR 16. Weitere Ergebnisse sind in den Tabellen 5.2 und 5.3 dargestellt. Emissionsgrenzwerte für thermische Netzhautschädigung wurden auch hier nicht überschritten. Hinsichtlich der photochemischen Netzhautgefährdung wurden die Emissionsgrenzwerte für die Freie Gruppe und für die Risikogruppe 1 überschritten. Folglich ist die blaue LED-Lampe MR 16 ebenfalls in die Risikogruppe 2 einzuordnen.

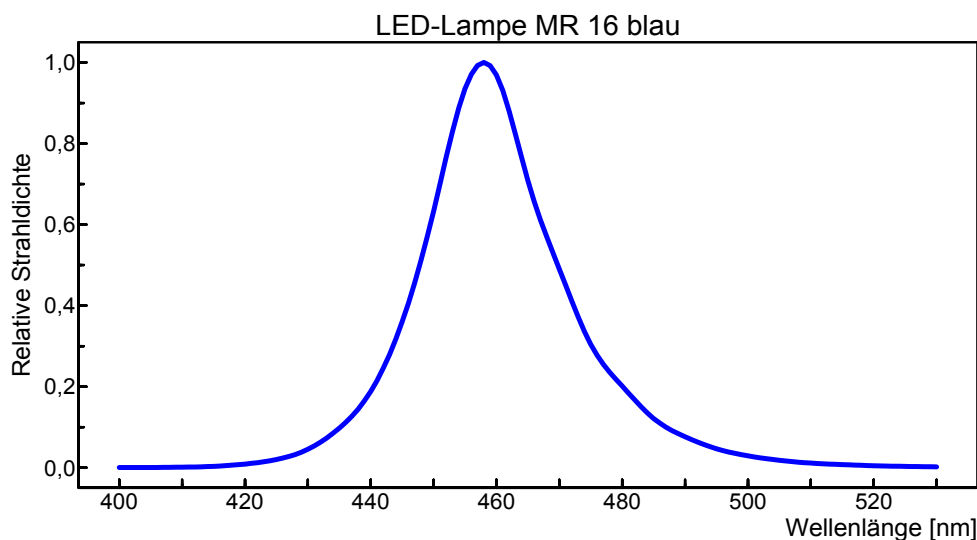


Abb. 5.4 Relative spektrale Strahlendichte der LED-Lampe MR 16. Das Spektrum enthält nur Strahlungsanteile im blauen Wellenlängenbereich, mit einem Maximum bei etwa 460 nm.

Tab. 5.2 Die Größe der scheinbaren Quelle, die Winkelausdehnung α und die Grenzwerte für die thermische Netzhautschädigung.

| LED-Typ | Größe der scheinbaren Quelle d [mm] | Winkel-ausdehnung [mrad] | 28 000/ α [$10^6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$] | 71 000/ α [$10^6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$] |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|--|
| LED LW W5AP weiß | 2,0 | 10,0 | 2,8 | 7,1 |
| LED-Lampe M16 blau | 4,3 | 21,5 | 1,3 | 3,3 |

Tab. 5.3 Strahlendichte-Messwerte $(L_B)_{\text{mess}}$ für die photochemische und $(L_R)_{\text{mess}}$ für die thermische Netzhautgefährdung. Fett gedruckte Messwerte bedeuten Überschreitung der Emissionsgrenzwerte (vgl. dazu die Emissionsgrenzwerte in Tabelle 5.1).

| Gefährdung | LED-Typ | Freie Gruppe | Risiko-gruppe 1 | Risiko-gruppe 2 | Messwert / Einheit |
|-------------------------|----------------------|--------------|-----------------|-----------------|---|
| Netzhaut photo-chemisch | LED LW W5AP weiß | 390 | 14 248 | 43 792 | $(L_B)_{\text{mess}} / \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ |
| | LED-Lampe MR 16 blau | 1 175 | 12 293 | 13 717 | $(L_B)_{\text{mess}} / \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ |
| Netzhaut thermisch | LED LW W5AP weiß | 33 579 | 33 579 | 101 305 | $(L_R)_{\text{mess}} / \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ |
| | LED-Lampe M16 blau | 16 043 | 16 043 | 17 770 | $(L_R)_{\text{mess}} / \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ |

5.5 Zusammenfassung

LED im sichtbaren Wellenlängenbereich, deren photobiologische Sicherheit nach der Lampensicherheitsnorm DIN EN 62471 beurteilt wurde, erreichten maximal die Risikogruppe 2 (Sicherheit auf Basis von Abwendungsreaktionen), und zwar aufgrund der photochemischen Netzhautgefährdung. Keiner der Emissionsgrenzwerte für thermische Netzhautschädigung wurde überschritten. Von 50 unterschiedlichen LED wurden 21 in die Freie Gruppe, 16 in die Risikogruppe 1 und 13 in die Risikogruppe 2 eingestuft. Bei fast allen LED, bei denen die Emissionsgrenzwerte der Freien Gruppe überschritten wurden, handelte es sich um weiße und blaue LED. Von 29 weißen LED haben 22 den Emissionsgrenzwert der Freien Gruppe für photochemische Netzhautgefährdung überschritten. Von sechs blauen LED wurde eine in die Risikogruppe 1 und fünf in die Risikogruppe 2 eingeteilt.

Die Beurteilung photobiologischer Sicherheit in einer Entfernung von 20 cm ist ein „Worst-Case“-Szenario. Das Risiko bei inkohärenten Quellen optischer Strahlung, wie LED, nimmt mit dem Abstand stark ab. Deshalb könnte auch eine LED einer höheren Risikogruppe bei Einhaltung größerer Abstände gefahrlos verwendet werden.

Tab. 5.4 Die Einteilung den untersuchten LED in die Risikogruppen nach der Lampensicherheitsnorm DIN EN 62471. Die Einstufung in die Risikogruppe 1 oder 2 erfolgte ausschließlich aufgrund photochemischer Netzhautgefährdung.

| LED | Typ | Anzahl | Freie Gruppe | Risiko- gruppe 1 | Risiko- gruppe 2 |
|------------------------|---------------------------|--------|--------------|---------------------|---------------------|
| Einzelne LED | weiß | 24 | 6 | 12 | 6 |
| | blau | 5 | | 1 | 4 |
| | grün, amber, gelb, rot | 12 | 11 | 1 (grün) | |
| LED-Taschen- lampen | weiß | 4 | | 2 | 2 |
| LED-Lampen | weiß | 1 | 1 | | |
| | blau | 1 | | | 1 |
| | grün, gelb, rot | 3 | 3 | | |

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Dennis Nowack für die technische Unterstützung bei der Durchführung der Messungen.

Literatur

- [1] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), ABI. EG L 114 vom 27. 4. 2006, S. 38 - 59
- [2] Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen, Bundesratdrucksache 262/10, 29. 04. 2010
- [3] DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1):2008-05: „Sicherheit von Laser-Einrichtungen - Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen“ (IEC 60825-1:2007); Deutsche Fassung EN 60825-1:2007, DIN und VDE, Beuth Verlag, Berlin
- [4] DIN EN 62471 (VDE 0837-471):2009: „Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen“ (IEC 62471:2006, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62471:2008
- [5] DIN EN 60825-12 (VDE 0837-12):2004-12: „Sicherheit von Lasereinrichtungen - Teil 12: Sicherheit von optischen Freiraumkommunikationssystemen für die Informationsübertragung“ (IEC 60825-12:2004); Deutsche Fassung EN 60825-12:2004
- [6] DIN EN 60825-2 (VDE 0837-2): 2005-06; „Sicherheit von Lasereinrichtungen - Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)“ (IEC 60825-2:2004); Deutsche Fassung EN 60825-2:2004

6 Personendosimetrische Messungen und Eigenschutz der Haut bei der Einwirkung von solarer UV-Strahlung

Peter Knuschke

Technische Universität Dresden, Medizinische Fakultät, Dermatologie

Untersuchungsbedarf zum Gesundheitsschutz an solar UV-exponierten Arbeitsplätzen

Hautkrebs mit Basalzellkarzinom, Plattenepithelkarzinom und malignem Melanom stellt mit Neuerkrankungsraten von über 100.000 pro Jahr den häufigsten Tumor in Deutschland dar. In den letzten Jahrzehnten war eine permanent steigende Hautkrebsinzidenz zu verzeichnen. Für diese Hauttumoren weisen epidemiologische Untersuchungen neben konstitutionellen Faktoren die UV-Strahlung, der wir durch die der Sonnenstrahlung täglich ausgesetzt sind, als wesentlichen Co-Faktor in der Tumorgenese aus [IARC, 1992]. Insbesondere für das Plattenepithelkarzinom weisen derartige biostatistische Auswertungen einen Zusammenhang mit dem Ausmaß der lebenslang kumulierten UV-Exposition aus. Für Personen mit ständigem beruflichem Aufenthalt im Freien ergab die Zusammenstellung verschiedenster epidemiologischer Studien durchgängig eine Erhöhung des Risikos, ein Plattenepithelkarzinom auszubilden [SCHMITT, 2009].

Die Konsequenz kann nur eine Reduktion der individuellen UV-Exposition auf ein erforderliches Minimum sein – sowohl im Arbeitsprozess als auch in der Freizeit.

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) sah die Notwendigkeit, für im Freien beschäftigte Arbeitnehmer das Ausmaß des erhöhten UV-Expositionsniveaus gegenüber innenbeschäftigten Arbeitnehmern detailliert abzuklären, um in Folge einen diesbezüglichen gesundheitlichen Schutz der Arbeitnehmer zu unterstützen. Es erfolgte eine Studie zu den existierenden Berufsgruppen, deren Arbeitsplätze solare UV-Expositionen aufweisen [TREIER et al., 2000]. Darauf aufbauend wurden repräsentative Berufsgruppen mit solarer Exposition gewählt, für die mittels UV-Personenmonitoring das Ausmaß der Erhöhung der UV-Personendosis quantifiziert wurde [KNUSCHKE et al., 2007]. Allgemein wurde angenommen, dass die erhöhten Expositionen durch die solare UV-Strahlung bei diesen Berufsgruppen zu einer deutlichen Adaptation über den natürlichen UV-Eigenschutz der Haut führen. Um das tatsächliche Ausmaß des UV-Eigenschutzes in Relation zu notwendigen Schutzkonzepten setzen zu können, müssen entsprechende Daten bekannt sein. Es wurden die Hautreaktionen auf sub-erythematöse UV-Einzelexpositionen, Mehrfachexpositionen und auf derartige, tägliche UV-Expositionen unterhalb der Sonnenbrandschwelle über ein gesamtes Sommerhalbjahr untersucht [KNUSCHKE et al., 2010].

Etablierte Methode zum UV-Personenmonitoring

Für die Untersuchung „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ (BAuA-Forschungsprojekt F 1777) konnte auf ein etabliertes Verfahren zum UV-Personenmonitoring zurückgegriffen werden.

Vor dem Hintergrund der o. g. steigenden Hauttumorinzidenzen war in das BMBF-Rahmenprogramm „Umwelt und Gesundheit“ Mitte der 1990er Jahre der Forschungsschwerpunkt „Wirkung von UV-B-Strahlung auf den Menschen“ aufgenommen worden. Im Rahmen der BMBF-Forschungsprojekte „UV-Personendosimetrie – Mit Verwendung des Polysulfonfilm als UV-Sensor“ [KNUSCHKE, KRINS, 2000] und „Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung“ [KNUSCHKE et al., 2004] konnte der Vorschlag, das tatsächliche Ausmaß der biologisch wirksamen UV-Expositionen der Bevölkerung zu quantifizieren, in Angriff genommen werden. Es wurde ein routinemäßiges UV-Personenmonitoringverfahren einschließlich einer vollständigen physikalischen Beschreibung des UV-Sensors Polysulfonfilm (PSF) [KRINS et al., 1998; KRINS et al., 1999a; KRINS et al., 1999b; KRINS, 2000; KRINS et al., 2000; KRINS et al., 2001] realisiert. In einer Pilotstudie wurden 13 soziologisch bzw. beruflich unterschiedlich charakterisierte Bevölkerungsgruppen von Kindergartenalter bis Altersheimbewohner untersucht. Es wurden die Verteilungen der individuellen UV-Expositionen innerhalb der Verhaltensgruppen sowie zwischen den Gruppen statistisch analysiert [KNUSCHKE, KRINS, 2000]. Daraus konnten Gruppen vergleichbarem Expositionsmusters von Werktagsexpositionen in Relation zu den Expositionen an Freizeit(Wochenend)tagen sowie deren jahreszeitlichem Verlauf festgestellt werden. Insbesondere zeigte sich ein deutlicher Einfluss des typischerweise passiven Freizeitverhaltens im Freien gegenüber einer aktiven Gestaltung der Freizeit im Freien, die zu einer zwischen 2fach und 3fach höheren UV-Freizeitexposition führt. Es zeigte sich, dass Innenbeschäftigte mit aktiver bzw. wenig aktiver (passiver) Freizeitgestaltung im Freien, Außenbeschäftigte mit diesen beiden Freizeitverhaltensmustern, Kindergartenkinder und Grundschüler jeweils auch mit einer Reihe anderer Bevölkerungsgruppen bezüglich der UV-Expositionsmatrix im Jahresverlauf vergleichbar sind. So wurden die genannten Bevölkerungsgruppen mit größerer Probandenzahl untersucht. Die Untersuchungen erfolgten über zwei Jahre, um meteorologische Einflüsse auf die Globalstrahlung und auf das individuelle Verhalten zum Aufenthalt im Freien zu berücksichtigen [KNUSCHKE et al., 2004].

Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien (BAuA-Forschungsprojekt F 1777)

Für ausgewählte Berufsgruppen ständig im Freien Beschäftigter Arbeitnehmer sowie ausgewählte Berufsgruppen mit wechselndem Arbeitsumfeld, sowohl im Freien als auch in Gebäuden, erfolgte die Quantifizierung der UV-Expositionsniveaus im saisonalen Verlauf und für die kumulativen UV-Jahresdosen im Rahmen des BAuA-Projektes F 1777.

Mittels UV-Personenmonitoring wurden UV-Expositionen im Jahresverlauf differenziert nach Werktags-, Freizeit- und Urlaubsexpositionen gemessen. Erfasst wurde weiterhin die jahreszeitlich variierende Körperverteilung der solaren UV-Exposition. Sowohl aus kontinuierlichen Messungen über 52 Wochen als auch aus Berechnungen mittels biostatistischem Modell, mit den jahreszeitlichen UV-Personenmonitoringdaten als Stützstellen [KNUSCHKE et al., 2004], liegen für die als reprä-

sentativ ermittelten Berufsgruppen mittlere UV-Jahresexpositionen vor. Diese Mittelwerte liegen neben der Brustposition für weitere 18 Körperpositionen vor.

Als repräsentativ für ständig im Freien beschäftigte Arbeitnehmer wurden folgende drei Beschäftigungsfelder untersucht:

- Hochbau
- Landwirtschaft/Feldwirtschaft
- Müllabfuhr

Als Berufe mit intermittierender Tätigkeit im Freien wurden untersucht:

- Sportlehrer
- Kindergärtnerinnen
- Glasreiniger

Für den Vergleich mit den UV-Expositionsniveaus von Innenbeschäftigten wurde auf die Daten aus den o. g. BMBF-Projekten zurückgegriffen. Aus den Messungen zwischen 1996 und 1998 [KNUSCHKE, KRINS, 2000] sowie 2000 und 2002 [KNUSCHKE et al., 2004] wurden jeweils für die jahreszeitlichen Messperioden jene mit vergleichbaren meteorologischen und UV-Strahlungsbedingungen herangezogen.

Die Ergebnisse der UV-Personenmonitoringuntersuchungen zu im Freien Beschäftigten wiesen aus:

- 1) Die mittleren arbeitstäglichen UV-Personendosen einer Querschnittsgruppe von Außenbeschäftigten (über Postboten, Politessen, GaLaBau, Gärtner, Bau) liegen zwischen 200 % und 700 % bezogen auf die arbeitstäglichen UV-Personendosen von Innenbeschäftigten für die einzelnen jahreszeitlichen Messperioden des UV-Personenmonitoring (Abb. 6.1a) [KNUSCHKE et al., 2004].
- 2) Die Freizeitexpositionen von Außenbeschäftigten und Innenbeschäftigten sind weitgehend identisch bezüglich Mittelwert und Verteilung der UV-Personendosen, so es sich um den gleichen Freizeitverhaltenstyp (aktiv bzw. passiv) handelt [KNUSCHKE et al., 2004].

Anteil von Beschäftigten mit typischen (eher geringen) Freizeitaktivitäten im Freien (Stichprobe n = 240):

- Innenbeschäftigte (indoor worker, passive = in_p): $\approx 80 \%$
- Außenbeschäftigte (outdoor worker, passive = out_p): $\approx 70 \%$

Anteil von Beschäftigten mit aktiver Freizeitgestaltung im Freien:

- Innenbeschäftigte (indoor worker, active = in_p): $\approx 20 \%$
- Außenbeschäftigte (outdoor worker, active = out_p): $\approx 30 \%$

Das Ausmaß der UV-Freizeitexposition in Relation zur solaren Globalstrahlung wurde bei den gleichen untersuchten Personen von Jahr zu Jahr neben dem Freizeitverhaltenstyp (aktiv/passiv) auch deutlich durch die meteorologischen Bedingungen beeinflusst (Abb. 6.1b).

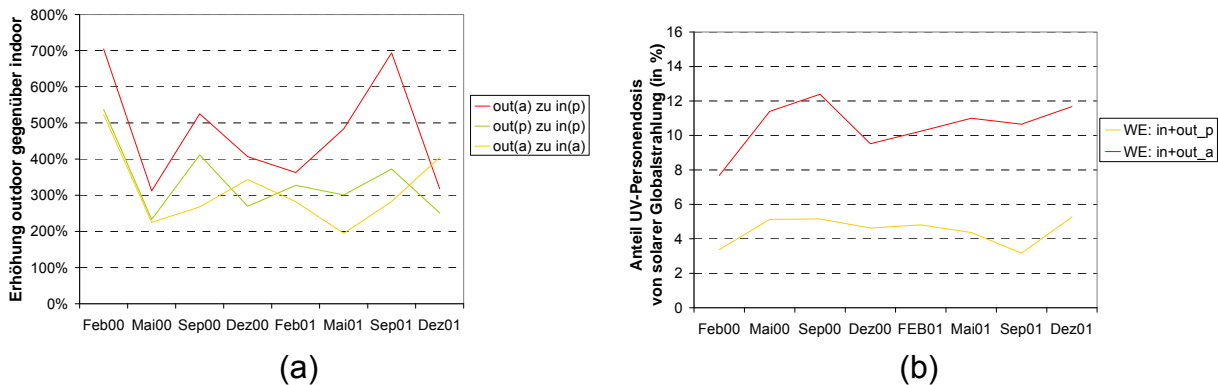


Abb. 6.1 (a) Prozentuale Erhöhung der mittleren arbeitstäglichen solaren UV-Expositionen von Außenbeschäftigten mit aktiver Freizeitgestaltung im Freien (out(a)), mit typischerweise geringer/passiver Freizeitgestaltung im Freien (out(p)) gegenüber Innenbeschäftigten mit aktiver Freizeitgestaltung im Freien (in(a)) sowie Innenbeschäftigten mit typischerweise geringer/passiver Freizeitgestaltung im Freien (in(p)).
 (b) Mittlere UV-Personendosis an Wochenend-/Freizeittagen bezogen auf die solare Globalstrahlung dieser Tage in Prozent
 (Daten aus KNUSCHKE et al., 2004; Angaben für die Brustposition)

- 3) Zwischen Außenbeschäftigten und Innenbeschäftigten (n = 240; nur aus Dresden) wurde kein Unterschied der Wahl bestimmter Urlaubsziele festgestellt.
- 4) Für die UV-Jahresexposition ständig im Freien Beschäftigter (Hochbau, Landwirtschaft, Müllabfuhr) wurde eine Erhöhung auf 260 % bis 470 % nachgewiesen. Diese Erhöhung bezieht sich auf die UV-Referenzbasis (KNUSCHKE et al., 2007 – UV-Referenzbasis: individuelle UV-Exposition Innenbeschäftigter ohne betonte Freizeitaktivitäten im Freien und bei Urlaub am Wohnort ohne betonte Freizeitaktivitäten im Freien). Dabei wird die UV-Jahresexposition dieser im Freien Beschäftigten maßgeblich (40...66 %) durch den Werktagsanteil bestimmt.
- 5) Für Beschäftigte mit intermittierender Außentätigkeit (Kindergärtnerinnen, Sportlehrer) betrug die Erhöhung der UV-Jahresdosis gegenüber der UV-Referenzbasis 200 bis bzw. 270 %, wobei der berufliche Anteil an der UV-Jahresexposition mit ≥ 40 % etwa doppelt so hoch ist, wie von Innenbeschäftigten.
 Für Fensterputzer ergab sich für die Brustposition eine Erhöhung der UV-Jahresexposition auf 170 % bei einem arbeitstäglichen Anteil von 39 %. Jedoch weisen die Körperverteilungsmessung der solaren UV-Expositionen am Arbeitsplatz beispielsweise für den Nackenbereich deutlich höhere UV-Expositionen (Mai/Juni 450 %, September 230 %) verglichen mit der Brustposition aus.
- 6) Gegenüber der Erhöhung der UV-Jahresexposition liegt der arbeitstägliche Anteil der Erhöhung der UV-Personenexposition für Außenbeschäftigte gegenüber Innenbeschäftigten insbesondere im Sommerhalbjahr noch höher (Tab. 6.1).

Tab. 6.1 UV-Exposition von Außenbeschäftigten in Relation zur Vergleichsgruppe (Referenzbasis)

| Berufsgruppen | Anteil der Werktagsexposition an der UV-Jahresexposition | Erhöhung der UV-Exposition an Werktagen im Vergleich zu Innenbeschäftigten als UV-Referenzbasis | | UV-Jahresexposition im Vergleich zur Jahresexposition von Innenbeschäftigten |
|---|--|---|-------------------------------------|--|
| | | Sommer / % | Winter / % | |
| | % | | | % |
| Innenbeschäftigte (UV-Referenzbasis) | 20^{*)} | 100 | 100 | 100 |
| Deutsche Bevölkerung (Erste Abschätzung insbesondere bezüglich Urlaubsanteil) | 22 | (nur Daten für UV-Jahresexposition) | (nur Daten für UV-Jahresexposition) | 185 |
| Bauarbeiter | 66 | 500 - 1000 | 400 - 600 | 470 |
| Landarbeiter | 55 | 250 - 500 | - | 260 |
| Müllwerker | 40 | 200 | 300 | 310 |
| Kindergärtnerinnen | 41 | 150 - 300 | 200 | 270 |
| Sportlehrer | 43 | 350 - 700 | 100 | 200 |
| Glasreiniger ^{*)} | 39 | 250 | 100 | 170 |

^{*)} s. o. Anstrich 5.

- 7) Die aus den Forschungsprojekten gewonnene Datenbank der saisonalen Jahresverläufe mittlerer UV-Personendosen für Bevölkerungsgruppen von Kindergartenalter bis Altersheim gestattet Modellrechnungen zum werktäglichen Anteil und Freizeitanteil an der UV-Jahresdosis. Der Anteil der Urlaubsdosis ist individuell erheblich verschieden. Aus den Daten der Jahresexpositionen und aus Angaben zu Urlaubsregionen können Abschätzungen auch zu kumulativen Lebensdosen vorgenommen werden.
- 8) Auf diesen Daten beruht eine erste Abschätzung einer mittleren UV-Jahresdosis (für die Brustposition) mit $H_{er} \approx 130$ SED [KNUSCHKE et al., 2008]. Jedoch wurde darauf verwiesen, dass die Einbeziehung der UV-Urlaubsexpositionen auf für diese Auswertungen nur eingeschränkt nutzbarem statistischem Datenmaterial beruht. Es wurde anteilig im Wesentlichen allen Bevölkerungsgruppen die gleichen Urlaubsexpositionen, die sich aus den mittleren Urlauberströmen hochrechnen ließen, zugerechnet. Daraus ergaben sich 81 SED pro Jahr. Demgegenüber wurden im Rahmen des BAuA-Projektes F1777 im Mittel 60 SED für die entsprechenden jährlichen Urlaubsexpositionen gemessen. Entsprechend kritisch sollte gemäß den Hinweisen mit dieser ersten Abschätzung umgegangen werden. (Anmerkung: 2,5 SED entspricht „1 Sonnenbrandeinheit“ oder richtiger 1 MED für den helleren Hauttyp II)

Zusammenfassend kann für ständig im Freien Beschäftigte Arbeitnehmer festgestellt werden: Verglichen mit Innenbeschäftigten sind sie - abhängig von ihrer Tätigkeit - in erheblich höherem Maße der solaren UV-Exposition ausgesetzt.

Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien (BAuA-Forschungsprojekt F 1986)

Für die Bewertung von Schutzkomponenten für die Haut gegen solare UV-Expositionen von im Freien Beschäftigten war zu klären, in welchem Maße sich der natürliche Eigenschutz der Haut im Verlauf des Sommerhalbjahres bei diesen Arbeitnehmern ausbildet und ggf. den UV-Schutz der Haut bereits ohne Schutzkomponenten erhöht.

Ziel des BAuA-Forschungsprojektes F 1986 „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“ war es darum, den Gesamteigenschutz (bezüglich des UV-Erythems) und dessen Komponenten Melaninpigmentierung (Hautbräunung) und Lichtschwielereaktion (Verdickung der Oberhaut in Folge UV-Exposition) zu quantifizieren.

Die Haut ist unter extremen Expositionsbedingungen prinzipiell in der Lage, einen hohen Eigenschutz gegen UV-Strahlung bis zu einem Schutzfaktor 40fach bezogen auf den Ausgangswert aufzubauen [JUNG et al., 1971: In der Studie wurde über 20 Tage immer bis zum UV-Erythem/Sonnenbrand täglich exponiert.]. Das führte in der Vergangenheit zur Fehlannahme, dass die solaren Alltagsexpositionen im Jahresverlauf in der Lage sind, einen ähnlich hohen UV-Eigenschutz mit einem Faktor 10fach oder gar 40fach aufzubauen und damit einen deutlichen Schutz gegen UV-Strahlung auszubilden.

Im Teil A des Projektes wurde im jahreszeitlichen Verlauf die Eigenschutzreaktion der Haut auf solare UV-Strahlung bei Außenbeschäftigten (Gruppe 1: Gärtner, Bauarbeiter; n = 12) bzw. auf solarsimulierte UV-Strahlung bei Innenbeschäftigten (Gruppe 2: n = 12) untersucht. Die an lichtungewöhnter Rückenhaut der Innenbeschäftigten applizierte solarsimulierte Strahlung entsprach im jahreszeitlichen Verlauf mittleren UV-Gesichtsdosen von Außenbeschäftigten (bezogen aus UV-Personenmonitoringuntersuchungen). Die so simulierte Situation entspricht der von Berufsneneinsteigern bei Außentätigkeit. Simultan zu Gruppe 2 wurde eine Gruppe 3 (Gärtner, Bauarbeiter; n = 12) einbezogen, um die Ergebnisse aus Gruppe 1 und 2 zu Pigmentierungsgrad und Lichtschwielereaktion zu bestätigen.

Übereinstimmend bestätigte sich, dass durch die Tätigkeit der Außenbeschäftigten im Sommerhalbjahr im Freien lediglich ein UV-Eigenschutzfaktor ≤ 2 ausgebildet wird. Der Sommerurlaub mit zumeist höheren individuellen Sonnenexpositionen führte zu vergleichbaren bis stärkeren UV-Eigenschutzreaktionen.

Für die Lichtschwielereaktion konnte eine Dosis-Wirkungsbeziehung ermittelt werden. Es konnte nachgewiesen werden: Signifikante Epidermisverdickung setzen erst bei individuellen UV-Expositionen von 1,0 MED und höher ein (ähnlich wie die Melaninphotosynthese, die Hautbräunung) – also deutlich oberhalb von 1 SED.

Das erklärt die fehlenden UV-Eigenschutzreaktionen bei den im Projektteil A untersuchten Außenbeschäftigten.

Im Teil B des Projektes wurde die Eigenschutzreaktion nach einmaliger (Gruppe A) bzw. nach fünf seriellen, sub-erythematischen UV-Expositionen von je 1,8 SED über

einen Zeitraum von 8 Wochen untersucht. Eine erythem-effektive Bestrahlung $H_{er} = 1,8$ SED an einem Tag auf zuvor lichtungewöhnte Haut appliziert, entspricht der Situation eines sonnigen Apriltages, dessen Temperaturen erstmals dünnere und kurzärmelige Kleidung zulassen, bei bereits relativ hohem Sonnenstand. Weiterhin ist die simulierte Situation auch mit UV-Expositionen durch künstliche UV-Strahlenquellen an Arbeitsplätzen (z. B. Streustrahlung) vergleichbar, die unterhalb der Erythem („Sonnenbrand“-)-Schwelle als Akutreaktion liegen (so vom Arbeitnehmer nicht bemerkt werden), aber den zulässigen 8-Stunden-Grenzwert für den Arbeitsplatz [EU-Richtlinie, 2006] überschreiten.

Während die Einzelexposition keine nachhaltigen Effekte zeigte, führten die fünf seriellen UV-Expositionen zu einer über 8 Wochen beständigen Eigenschutzerhöhung um 20 %. Anmerkung: Das entspräche bei einer Lichtschutzcreme gerade mal dem nichtexistenten LSF 1,2!

Mittlere solare Tagesexpositionen im Freien Beschäftigter liegen im Gesichtsbereich im Mittel im Sommer bei 1 SED pro Tag.

Fazit

Es ist zu konstatieren, dass einerseits im Freien beschäftigte Arbeitnehmer einer erhöhten solaren UV-Exposition ausgesetzt sind. Andererseits hingegen, liegen in Deutschland die mittleren UV-Expositionen an Arbeitsplätzen im Freien in einem Bereich, der keine nennenswerte UV-Eigenschutzerhöhung der Haut nach sich zieht. Diese setzt erst mit Erreichen der Sonnenbrandschwelle bei 1 MED ein.

Konsequenz

Es ist ein effektiver Schutz von Haut und Augen bei beruflicher Tätigkeit im Freien vorzusehen. (Hinweis: Aber auch bei nichtberuflichen Aktivitäten im Freien!)

Dazu müssen in ausgewählten Branchen exemplarisch die Effektivität und die Kosten technischer sowie organisatorischer Maßnahmen zur Reduzierung solarer UV-Strahlenexposition untersucht werden. Weiterhin sind individuelle Komponenten zur Reduktion der persönlichen UV-Expositionen von Haut und Augen als persönliche Schutzausrüstungen zu bewerten. Solche Untersuchungen sollen zu einer Versachlichung der Diskussion zum Schutz vor solarer UV-Strahlung beitragen und eine Grundlage für eine Auswahl von Schutzmaßnahmen bilden.

Diese Punkte sind die Zielstellung eines laufenden BAuA-Projektes F 2036 „Schutzkomponenten zur Reduzierung solarer UV-Expositionen bei Arbeitnehmern im Freien“.

Literatur

- [1] **EU-Richtlinie 2006:** Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rats über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) L 114/38 DE Amtsblatt der Europäischen Union 27.4.2006
- [2] **IARC 1992:** International Agency for Research on Cancer (Hrsg.): Solar and Ultraviolet Radiation. Lyon: WHO 1992. (IARC Monographs on Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 55)
- [3] **Jung, E. G., Anton-Lamprecht, I.:** Untersuchung über Albinismus. Arch. Derm. Forsch. 240 (1971), 123-137
- [4] **Knuschke, P., Krins, A.:** UV-Personendosimetrie Teil B: Mit Verwendung des Polysulfonfilms als UV-Sensor. Hannover: Universitätsbibliothek und Technische Informationsbibliothek 2000. (F00B1544). Schlussbericht BMBF-Vorhaben 07UVB54B (2000)
- [5] **Knuschke, P., Kurpiers, M., Koch, R., Kuhlisch, W., Witte, K.:** Mittlere UV-Expositionen der Bevölkerung. Hannover: Technische Informationsbibliothek 2004. (F05B898). Schlussbericht BMBF-Vorhaben 07UV-B54C/3
- [6] **Knuschke, P., Unverricht, I., Ott, G., Janßen, M.:** Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Dortmund/Berlin/Dresden: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2007, Forschung F 1777; ISBN 978-3-88261-060-4
- [7] **Knuschke, P., Janßen, M., Ott, G.:** Referenzbasis solarer UV-Expositionen zur Bewertung der Expositionslevel in der Bevölkerung und an Arbeitsplätzen im Freien. In: Licht und Gesundheit, Hrg.: Kaase H, Serick F, Berlin (2008) 24-29, ISBN3-9807635-0-3
- [8] **Knuschke, P., Unverricht, I., Thiele, A., Janßen, M., Ott, G., Aschoff, R., Koch, E., Krüger, A., Cuevas, M.:** Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschung, F 1986; Dortmund/Berlin/Dresden 2010; ISBN noch nicht bekannt
- [9] **Krins, A., Dörschel, B., Henniger, J., Knuschke, P.:** Mathematical description of measuring effects in personal UV-dosimeters on the example of polysulphone film. Rad. Prot. Dosimetry. 78 (1998), 195-204
- [10] **Krins, A., Dörschel, B., Henniger, J., Knuschke, P., Bais, A.:** Readings of polysulphone film after fractionated and continuous exposures to UV radiation and consequences for the calculation of the reading resulting from polychromatic UV radiation. Rad. Prot. Dosimetry, 83 (1999a), 303-308

- [11] **Krins, A., Dörschel, B., Henniger, J., Knuschke, P.:** Polysulfonfilm als UV-Personendosimeter. In: Krause, N., Fischer, M., Steimel, H.-P. (Hrsg.): Nicht-ionisierende Strahlung - mit ihr leben in Arbeit und Umwelt, 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., Köln, 27.09.-01.10.1999b. Köln: TÜV-Verl. 1999, 265-274. (Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz)
- [12] **Krins, A.:** Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften von Polysulfonfilm zur Anwendung in der UV-Dosimetrie. Dissertation, Technische Universität Dresden 2000a
- [13] **Krins, A., Bolsée, D., Dörsche, B., Gillotay, D., Knuschke, P.:** Angular dependence of the efficiency of the UV sensor polysulphone film. Radiat. Prot. Dosimetry 87 (2000b) 261-266
- [14] **Krins, A., Dörschel, B., Knuschke, P., Seidlitz, H. K., Thiel, S.:** Determination of the calibration factor of polysulphone film UV dosemeters for terrestrial solar radiation. Radiat. Prot. Dosimetry 95 (2001), 345-352
- [15] **Schmitt, J., Diepgen, T., Bauer, A.:** Occupational exposure to non-artificial UV-light and non-melanocytic skin cancer – a systematical review concerning a new occupational disease. JDDG 7 (2009)
- [16] **Treier, C., Schnauber, H., Messinesis, St., Hoffmann, V., Aliferis, K. :** Untersuchung der Außentätigkeiten unter unmittelbarer Einwirkung von Sonnenstrahlen. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 2000. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschung, Fb 903)

7 Ermittlung der UV-Strahlenexposition bei Seeleuten

Gabriele Meyer

Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft, Referat See

Einleitung

Seit zwei Jahren verzeichnet die Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft (BG Verkehr) eine deutliche Zunahme der Hautkrebskrankungen bei Seeleuten, die auf weltweiter Fahrt im Decksdienst tätig waren. Die Erkrankungen traten vorrangig im Gesicht, am Kopf und auf den Schultern auf. Nachgewiesen wurden präkanzeröse Hautveränderungen, Plattenepithelkarzinome und Basaliome.



Abb. 7.1 Arbeiten an Deck

Bei der Arbeit an Deck sind Seeleute je nach Fahrtgebiet, Jahreszeit, Tageszeit und Wetterlage einer unterschiedlichen UV-Strahlenexposition durch Sonnenstrahlung ausgesetzt (s. Abbildung 7.1). Durch hohe UV-Strahlenexpositionen können Akutschäden wie Sonnenbrand, aber auch chronische Schäden wie Hautalterung und Hautkrebs auftreten. Zurzeit wird die Anerkennung von Hautkrebs, der durch UV-Strahlung an Arbeitsplätzen hervorgerufen wird, als Berufskrankheit diskutiert. In diesem Zusammenhang ist von Interesse, verlässliche Daten über die Höhe der UV-

Strahlenexposition, der die Seeleute unter realistischen Arbeitsbedingungen ausgesetzt waren und sind, zu bekommen.

Deshalb wurde in Kooperation mit dem Institut für Arbeitsschutz (IFA), St. Augustin, und dem Deutschen Wetterdienst (DWD), Lindenberg, ein Projekt zur „Ermittlung der UV-Strahlenexposition bei Seeleuten“ ins Leben gerufen. Dabei sollen insgesamt fünf Messfahrten auf Schifffahrtsrouten unternommen werden, auf denen eine hohe UV-Exposition zu erwarten ist. Mit Hilfe der erhobenen Daten soll festgestellt werden, ob Seeleute im Vergleich zur übrigen Bevölkerung einer erhöhten UV-Strahlenexposition ausgesetzt sind und ob somit eine Berufskrankheit vorliegt.

Material und Methoden

Vom 22.06. bis zum 05.07.2009 fand die erste Messreise auf einem Schwergutschiff statt. Sie führte von Tarragona (Spanien) nach Santos (Brasilien). Die Fahrtroute wurde mittels GPS aufgezeichnet. Parallel dazu wurden dreimal am Tag Wetterbeobachtungen vorgenommen. Hierbei wurden u. a. die Temperatur, die Luftfeuchte und die Bewölkung dokumentiert. Zur Bestimmung der UV-Strahlenexposition kamen elektronische Dosimeter (X2000 der Firma Gigahertz-Optik) und Viospor-Dosimeter (Firma Biosense) zum Einsatz.

Die Ermittlung der maximalen UV-Strahlung erfolgte mit horizontal ausgerichteten Dosimetern (ein elektronisches Dosimeter und zwei Viospor-Dosimeter), die an einem Messbalken befestigt und anschließend auf dem Peildeck des Schiffs aufgestellt worden sind (s. Abbildung 7.2). Parallel wurde die Strahlung in und entgegengesetzt der Fahrtrichtung und steuer- und backbord mit Hilfe von Viospor-Dosimetern erfasst.



Abb. 7.2 Stationäre Messung auf dem Peildeck

Weiterhin wurden Messungen an der Person vorgenommen. An einem Gurtsystem wurden auf der Brust und auf den Schultern je zwei Viospor-Dosimeter und auf dem Rücken ein Viospor-Dosimeter befestigt. Eine Person wurde zusätzlich mit einem elektronischen Dosimeter ausgerüstet, das auf dem Rücken angebracht worden ist (s. Abbildung 7.3). Für die Bestimmung der UV-Strahlung auf dem Kopf wurden Viospor-Dosimeter auf dem Schutzhelm befestigt. Um den Arbeitsablauf an Bord nicht zu behindern, wurden die personengetragenen Messungen von den beiden Messfahrtteilnehmern der BG Verkehr übernommen. Beide wurden mit je zwei Gurten ausgestattet, so dass für die Auswertung insgesamt vier Messungen an der Person vorlagen. Die Messfahrtteilnehmer haben ebenso wie die Besatzung, die an Deck tätig war, Reinigungs- und Malarbeiten ausgeführt. Diese Tätigkeiten wurden arbeits-täglich dokumentiert.



Abb. 7.3 Messung an der Person

Die Messungen fanden täglich über einen Zeitraum von acht Stunden statt. Anschließend wurden die Messwerte, die die elektronischen Dosimeter aufgezeichnet haben, ausgewertet. Anhand dieser Werte konnte abgeschätzt werden, ob ein Austausch der Viospor-Dosimeter erfolgen musste. Da die Viospor-Dosimeter nur über einen bestimmten Messbereich verfügen, der nicht überschritten werden darf, wurden die Dosimeter in Abständen von zwei bis drei Tagen gewechselt. Der Dosimeterwechsel wurde entsprechend dokumentiert. Nach Abschluss der Messfahrt wurden die Viospor-Dosimeter an die Firma Biosense versandt, wo die Auswertung stattfand.

Erste Ergebnisse

Sowohl mit dem elektronischen als auch mit dem Viospor-Dosimeter wurde die erythemale Strahlung in J/m^2 bestimmt. Über den Messzeitraum vom 22.06. bis zum 05.07.2009 wurden täglich zwischen 1000 und 5000 J/m^2 auf dem Peildeck ermittelt. Die höchsten Werte wurden bei wolkenfreiem Himmel auf der Höhe der Kanarischen Inseln und in der Nähe des Äquators gemessen. Kurz vor dem Erreichen des Zielhafens Santos wurde mit 1000 J/m^2 der niedrigste Wert festgestellt, da auf der Südhalbkugel Winter herrschte. Bei diesen Werten handelte es sich um die maximal mögliche erythemale Bestrahlung.

Die Messergebnisse, die auf dem Peildeck mit dem elektronischen Dosimeter erzielt worden sind, wurden mit den Ergebnissen verglichen, die mit den horizontal ausgerichteten Viospor-Dosimetern ebenfalls auf dem Peildeck ermittelt wurden. Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Dosimetertypen.

Summiert über den Messzeitraum von 14 Tagen wurde bei der stationären Messung eine maximale erythemale Bestrahlung bis zu 50000 J/m^2 festgestellt. An der Person wurden insbesondere auf dem Kopf und auf den Schultern die höchsten UV-Strahlenexpositionen nachgewiesen. Sie lagen summiert über den gesamten Messzeitraum bei 27000 bzw. 22000 J/m^2 .

Für den Hauttyp II wird eine tägliche Dosis von 250 J/m^2 (= 1 MED) empfohlen. Hochgerechnet auf eine 14-tägige Messreise entspricht dies 3500 J/m^2 . Somit lag auf der hier beschriebenen Fahrt für den Kopfbereich eine achtfache und für den Schulterbereich eine sechsfache Überschreitung der Empfehlung für den Hauttyp II vor.

Ausblick

Es ist beabsichtigt, anhand der im Rahmen der Messfahrten erhobenen Expositions- und Wetterdaten sowie des Verlaufs der jeweiligen Fahrtroute ein Modell zu entwickeln. Das Modell soll Anwendung bei der Ermittlung der UV-Strahlenexposition finden, der ein Versicherter während seiner Beschäftigungszeit ausgesetzt war.

Ebenso werden die Messergebnisse in Maßnahmen zur Prävention einfließen.

8 Schutzkomponenten zur Reduzierung solarer UV-Expositionen – BAuA Entwicklungsprojekt F 2036

Günter Ott, Peter Knuschke*, Marco Janßen

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

* Technische Universität Dresden

8.1 Ausgangslage und Ziel des Vorhabens

In Deutschland sind ca. 2,5 Mill. Beschäftigte überwiegend oder teilweise im Freien tätig. Jährlich verzeichnet Deutschland ca. 140.000 Neuerkrankungen an Hautkrebs mit steigender Tendenz. Bisher wurden in zwei Forschungsprojekten der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin mit F 1777 „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“ und F 1986 „Untersuchung des Eigenschutzes der Haut gegen solare UV-Strahlung bei Arbeitnehmern im Freien“ die Exposition von Arbeitnehmern im Freien bei unterschiedlichen Berufsgruppen und der Eigenschutz der Haut gegen solare UV-Strahlung untersucht. Die als ein Ergebnis des Projektes F 1777 ermittelte UV-Jahresexposition ist in einigen Branchen entscheidend vom Werktagsanteil und nicht – wie häufig argumentiert - von den Anteilen aus Freizeit und Urlaub beeinflusst. Bisher liegen nur wenige praxisnahe Erkenntnisse über technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen zur effektiven Vermeidung bzw. Minderung der Gefährdung durch solarer UV-Expositionen vor.

Obwohl nach Arbeitsschutzgesetz Arbeitgeber alle notwendigen Maßnahmen ergreifen müssen, um einer Gefährdung der Beschäftigten durch starke Sonnenstrahlung bei Tätigkeiten im Freien entgegen zu wirken, fehlt durch die Nichtberücksichtigung der natürlichen Strahlung in der EU-Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) eine **spezifische** rechtliche Basis zur Durchsetzung des Schutzes der Beschäftigten vor solarer UV-Strahlung. Derzeit bestehen massive Unsicherheiten hinsichtlich der Praktikabilität und Kosten von Schutzmaßnahmen. Einer zunehmenden Anzahl von schweren Hauterkrankungen steht ein fehlendes Bewußtsein zur Gefährdung durch solare UV-Strahlung bei Arbeitgebern und Arbeitnehmern gegenüber.



Handlungshilfen zur Verbesserung der Sicherheit und Gesundheit von Arbeitnehmern im Freien tragen dazu bei, die Gesundheitsschutzziele auch ohne spezifische rechtliche Grundlage in die Praxis umzusetzen.

Ziel des Entwicklungsprojektes ist es, in ausgewählten Branchen exemplarisch Effektivität und Kosten technischer sowie organisatorischer Maßnahmen zur Reduzierung solarer UV-Strahlenexposition zu untersuchen. Die Effizienz persönlicher Schutzausrüstungen zur Reduktion individueller UV-Expositionen von Haut und Augen werden bewertet.

Auf Grundlage der Ergebnisse des Projektes werden Handlungshilfen mit praxisorientierten, modellhaften Lösungen zur Verringerung der Gefährdung durch die solare UV-Strahlung bei Arbeiten im Freien erstellt.

8.2 Bearbeitungsschritte

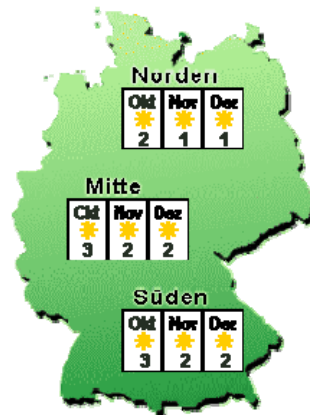
Die Untersuchungen werden von der BAuA in Kooperation mit der TU Dresden durchgeführt. Nachfolgende Bearbeitungsschritte sind vorgesehen:

- a) Der Wissenstand hinsichtlich der Anwendung von Maßnahmen zum Schutz vor solarer UV-Strahlung wird durch Recherchen in Publikationen ermittelt. Es wird untersucht, welche technischen, organisatorischen und persönlichen Maßnahmen in der Praxis bereits erfolgreich zur Anwendung kommen.
 - b) Die Analyse des Ausgangszustandes soll durch Befragung bei Firmen deutschlandweit in klein- und mittelständischen Betrieben/Firmen aus den Branchen Bau, Garten-Landschafts-Bau, Tagebau und Kindergarten sowie in Großfirmen aus dem Baubereich erfolgen. Im Ergebnis dieser Recherche steht eine Übersicht über bereits angewandte Maßnahmen, Erfahrungen zur Wirksamkeit und Akzeptanz zur Verfügung.
 - c) Nach der Analyse des Ausgangszustandes und Festlegung einer Schwerpunktbranche werden exemplarisch Effektivität und Kosten von technischen sowie organisatorischen Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexposition untersucht.
- Die Wirksamkeit unterschiedlicher Textilien unter Berücksichtigung der speziellen Arbeitsbedingungen und Tragekomfort ist zu ermitteln.
 - An verschiedenen Materialien werden die Effektivität von textilem Hautschutz unter dem Einfluß der Gewebelastung (neu, scheuern, waschen, reinigen, Langzeiteinsatz), Dehnung und Feuchteinfluß gemäß UV-Standard 801 untersucht.
 - Ein Bekleidungstyp wird mit PSF Dosimetern ausgestattet, damit bei unterschiedlichen Sonneneinstrahlungswinkeln unter realen Arbeitsbedingungen Körperverteilungsmessungen durchgeführt werden können.
 - Die Wirksamkeit von verschiedenen Varianten der Kopfbedeckung sind hinsichtlich UV-Schutz und Blendung unter praxisnahen Einstrahlbedingungen im Labor



und an Arbeitsplätzen auf Wirksamkeit, Akzeptanz und Tragekomfort zu untersuchen.

- Eine Auswahl von auf dem Markt erhältlichen Sonnen(schutz)brillen werden im Labor auf ihre Schutzfunktion untersucht. Die durch die Laboruntersuchungen für gut befundenen Brillen sollen auf Praxistauglichkeit, Akzeptanz und Tragekomfort an ausgewählten Arbeitsplätzen geprüft werden.
- An ausgewählten Arbeitsplätzen ist zu prüfen, ob der Einsatz eines Messgerätes zur Ermittlung des UV-Index oder die Internet-Information des BfS zur Festlegung von angemessenen Schutzmaßnahmen geeignet sein können.



8.3 Ausgewählte bisherige Ergebnisse

Die BAuA ist seit 1996 ein assoziiertes Mitglied im bundesweiten UV-Messnetz. Alle 6 Minuten wird von morgens bis abends ein kompletter UV-Scan durchgeführt und daraus der UV-Index berechnet. Der UV-Index ist ein Maß für die Intensität der sonnenbrandwirksamen ultravioletten (UV-) Strahlung und kann für die Beurteilung der Gefährdung für Arbeitnehmer im Freien herangezogen werden. Für entsprechende Empfehlungen in Deutschland ist zu analysieren, wann und wie häufig eine Gefährdung in Deutschland im Mittel im Jahresverlauf und im Tagesverlauf, abhängig von den meteorologischen Bedingungen, eintritt.

Weiter wäre zu klären, ob die ermittelten Bedingungen für Deutschland relativ unabhängig von der Region sind?

In einem Bearbeitungsschritt wurden hierzu die mittleren meteorologischen Bedingungen, bereitgestellt vom DWD, der unterschiedlichen Regionen und das UV-Strahlenklima in Deutschland untersucht. Dazu wurden die Messdaten des bundesweiten UV-Messnetzes, an dem die BAuA in Dortmund mit einer Messstelle beteiligt ist, von den Jahren 2000 bis 2009 hinsichtlich der Erythem bewerteten Bestrahlung und dem daraus ermittelten UV-Index in großem Umfang ausgewertet. Das Ergebnis der Auswertung dieser geografisch über Deutschland verteilten Messstationen weist aus, dass es keine signifikanten meteorologischen Änderungen in Deutschland gibt, die ein speziell angepasstes Verhalten der im Freien Beschäftigten Arbeitnehmer in den unterschiedlichen Regionen notwendig machen würde.

Für die Beurteilung der Gefährdung von Arbeitnehmern im Freien durch solare UV-Strahlung sind folgende Ergebnisse von Bedeutung:

- In Deutschland wird ein maximaler UV-Index⁴ von 8 nur an wenigen Tagen (2009 an 5 Tagen) erreicht. An diesen Tagen sollten dringend Maßnahmen ergriffen werden.
- Ein UV-Index von 7 wird über 2 bis 3 Mittagsstunden an 20 bis 30 Tagen erreicht.
- An mehr als 150 Tagen im Jahr betrug die mittlere erythemwirksame Bestrahlung $> 750 \text{ J/m}^2$ (dreifacher Wert der Erythemschwellenbestrahlung für den Hauttyp 2) mit einem UV-Index von 3 und höher.

Auf Grundlage diese Ergebnisse wurde ein Konzept eines Stufenplanes von Maßnahmen zur UV-Arbeitsplatzexposition erarbeitet.

Bei dem Modell sind folgende Erkenntnisse aus dem Entwicklungsprojekt 1777 „Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien“, die zum Teil auf die Körperverteilungsmessungen zurückzuführen sind, von Bedeutung:

- Für Gesicht, Brust und Rücken sind nur 1/3 der horizontalen Einstrahlung wirksam.
- Für die Schultern sind 90 % der horizontalen Einstrahlung wirksam.
- Oberarme sind um einen Faktor 1,7 und Oberschenkel um einen Faktor 3 unempfindlicher

Daraus können für Tage mit hoher UV-Belastung (UV Index= 8) die Anforderungen an Schutzkleidung abgeleitet werden. Dies führt zu folgenden UV-Schutzfaktoren (UPF):

- Brust und Rücken ein UPF von 20
- Schultern ein UPF von 50
- Oberschenkel ein UPF von 6

Für Hautbereiche, die nicht mit Textilien abgedeckt sind, ist eine Sonnenschutzcreme anzuwenden, die folgende minimale Anforderungen an den Lichtschutz (LSF) erfüllen sollte:

- Für Gesicht, Hals, Nacken einen LSF von 20
- Für Hände, Arme, Beine einen LSF von 10

Hierbei ist zu beachten, dass der nach DIN ermittelte LSF selbst bei normgerechtem Mengenauftrag deutlich geringer sein kann.

⁴ Der UV-Index (UVI) beschreibt den am Boden erwarteten Tagesspitzenwert der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und ist international einheitlich festgelegt. Weitere Informationen unter: <http://www.bfs.de/de/uv>

Transfer der Ergebnisse in die Praxis

- Erstellung von Handlungshilfen mit praxisorientierten, modellhaften Lösungen zur Verringerung der Gefährdung durch solare UV-Strahlung bei Arbeiten im Freien.
- Erstellung eines Konzeptes für Schulungsmaterialien und Prüfung, ob diese Informationen Bestandteil der Ausbildungsinhalte z. B. für spezielle Ausbildungsberufe, Facharbeiter, Meister, Sicherheitsfachkräfte sein können.

Die Ergebnisse dienen einer Versachlichung der Diskussion zum Schutz vor solarer UV-Strahlung und bilden eine wichtige Grundlage für ein Schutzkonzept mit geeigneten Schutzmaßnahmen.

9 UV-Belastung bei der Glasbearbeitung

Marc Wittlich

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

9.1 Einleitung

Bei der Bearbeitung von Werkstücken aus Glas kommen in vielfältiger Weise Gasflammen zur Erhitzung der Werkstücke zum Einsatz. Von der Gasflamme und vom erhitzten Werkstück geht neben sichtbarer (VIS) und infraroter (IR) Strahlung auch ultraviolette Strahlung (UV) aus. Beschäftigte, die Gasflammen anwenden, können an den Augen und der Haut starker optischer Strahlung ausgesetzt und hierdurch gefährdet sein. Während Strahlenexpositionen durch IR-Strahlung bei der Anwendung von Gasbrennern schon lange bekannt sind, rückt die Erkenntnis, dass auch die UV-Strahlenexpositionen ein Gefahrenpotenzial darstellen, erst in den letzten Jahren stärker ins Blickfeld. Messungen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) und der BG ETEM haben gezeigt, dass dabei Überschreitungen der Expositionsgrenzwerte möglich sind.

Das Ziel eines Projektes des IFA mit der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) und der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) ist es, aus der systematischen Untersuchung der optischen Emissionen der Gasbrenner in Abhängigkeit vom Brennertyp, der Gasart und dem bearbeiteten Werkstück geeignete Schutzmaßnahmen für die Glasbearbeitung mit Gasbrennern abzuleiten. Die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte und die Verminderung von Gefährdungen stehen dabei im Vordergrund.

Vor dem Hintergrund der Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche Optische Strahlung“ [1], die in Kürze durch die „Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV“ [2] in nationales Recht umgesetzt wird, ist die Ermittlung der Bestrahlungsstärken von besonderer Aktualität.

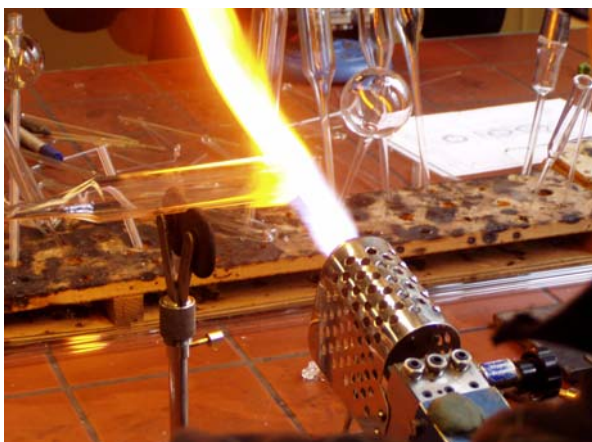


Abb. 9.1 Tischbrenner



Abb. 9.2 Maschinenbrenner

9.2 Messmethoden und Versuchsaufbau

Die Messung der Emissionen optischer Strahlung von Gasbrennern bedarf eines genauen, mechanisch stabilen und den Sicherheitsanforderungen entsprechenden Versuchsaufbaus.

Dazu wurde ein Messraum im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) gewählt, der den folgenden Voraussetzungen entsprechen musste:

- Aktive Luftabführung
- Abdunklung gegen Umgebungslicht
- Feuerfestigkeit
- Reflexionsfreiheit

Zu Beginn der Laborexperimente wurde die Reflexivität der umgebenden Wände bestimmt. Dazu wurde eine Halogenlampe am späteren Ort des Brenners positioniert und dann gegenüber den Messgeräten abgeschirmt. Die nun empfangene Intensität konnte der Streustrahlung zugeordnet werden. Es stellte sich heraus, dass die Reflexion unabhängig von Entfernung und Winkel einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Messung haben wird.

Zur Messung der Strahlungsemission von Gasbrennern stehen sieben Brenner verschiedener Leistung zur Verfügung, die jeweils mit einem Gas-/Sauerstoffgemisch betrieben werden. Das Messschema wird für alle Brenner gleichermaßen durchgeführt: Nach der Akquisition eines Flammenspektrums wird die Bestrahlungsstärke im UV/A-, UV_{eff}/ABC - und IR-Bereich in Abhängigkeit von Abstand und Winkel gemessen (siehe dazu auch Abb. 9.3). Die zeitliche Abhängigkeit der Strahlungsemission wird erythemgewichtet mit Hilfe eines Dosimeters während der Gesamtdauer eines Versuches verfolgt und dokumentiert. Die Gasbrenner werden so betrieben, dass ein Maximum der UV-Emission erfolgt.

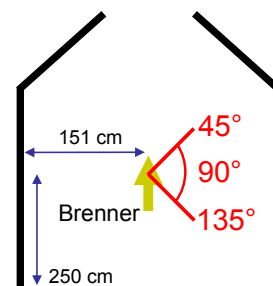
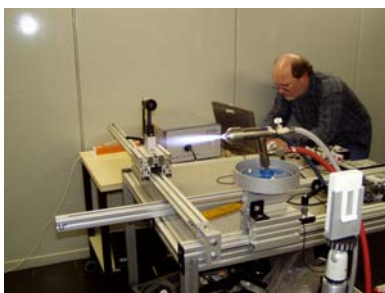


Abb. 9.3 Versuchsaufbau für Labormessungen. Die Skizze stellt die Winkel, unter denen gemessen wurde, dar. Zusätzlich sind die Abstände zu Laborwand und -tür angegeben.

9.3 Ergebnisse der Labormessungen

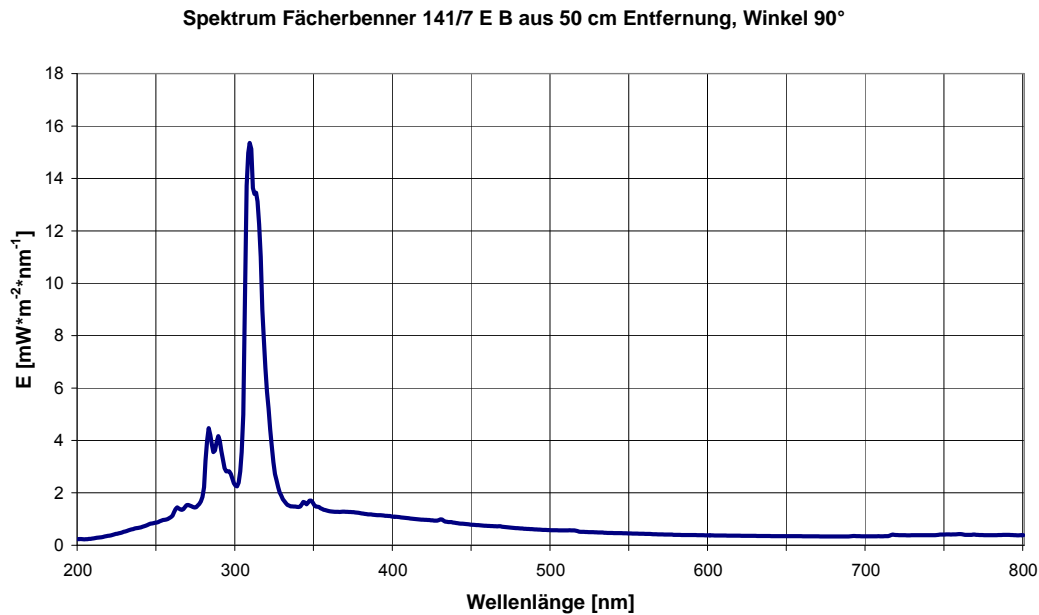


Abb. 9.4 Strahlenspektrum einer Gasflamme

Das Strahlenspektrum der verschiedenen Brenner ist vergleichbar. Es treten starke Emissionen im UV-B- und UV-A-Bereich auf, die je nach Brenner unterschiedlich groß sind. Interessanterweise scheinen die Bestrahlungsstärken in den Bereichen UV-A, UV_{eff}-ABC und IR nicht von der herstellerseitig angegebenen Brennerleistung abhängig zu sein. Die bei der Glasbearbeitung typische Linie bei etwa 595 nm fehlt in diesen Spektren, da es sich um Flammenspektren ohne den Einsatz von Werkstücken handelt. Die Beurteilung der IR-Emissionen in spektraler Auflösung erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

Erste Auswertungen der Messergebnisse zeigen eine Abhängigkeit der Emissionen vom Abstand (Abb. 9.5 links). Eine quadratische Abhängigkeit, die man bei einer isotrop strahlenden Punktlichtquelle erwarten würde, kann nicht festgestellt werden. Für den Beschäftigten lassen sich Schlussfolgerungen qualitativ ableiten. Im Bereich der Hände und Unterarme (Entfernung zur Gasflamme etwa 15-25 cm) können sehr hohe Bestrahlungsstärken auftreten, während diese im Bereich der Augen und Gesichtshaut (Entfernung zur Gasflamme etwa 40-50 cm) bereits deutlich geringer sind (Abb. 9.5 links).

Die Bestrahlungsstärken sind im Wesentlichen unabhängig vom Winkel (siehe Abb. 9.5 rechts). Bei Brennern mit großem Flambild spielen bei Winkeln von 135° bereits geometrische Abschirmungseffekte eine Rolle, die eine geringere gemessene Intensität ergeben.

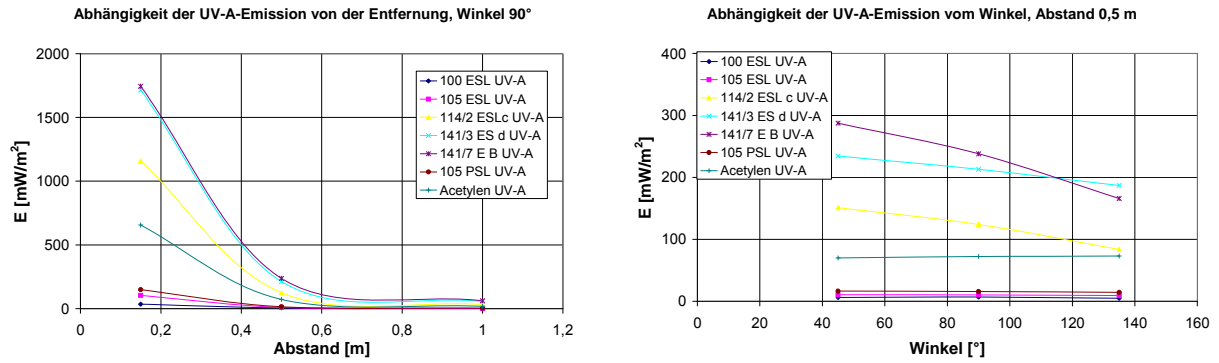


Abb. 9.5 Bestrahlungsstärke im UV-A-Bereich in Abhängigkeit von der Entfernung (links) und dem Winkel (rechts).

9.4 Begleitende Messungen in Betrieben

Vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) wurden an einer Reihe von Arbeitsplätzen UV-Strahlenexpositionen der Beschäftigten während der Glasbearbeitung mit Gasflammen gemessen [3]. An den untersuchten Arbeitsplätzen wurden Tischbrenner, Handbrenner, Maschinenbrenner und Brenner zum Feuerpolieren bzw. Erwärmen eingesetzt. Die Messungen erfolgten im Bereich der Augen, der Hände und der Unterarme während der üblichen Tätigkeiten der Beschäftigten an den Gasbrennern.

Es wurde auch die Höhe der UV-Strahlenexpositionen in Abhängigkeit vom Abstand zu den Strahlenquellen bestimmt. In Abbildung 9.6 sind die gemessenen Werte der effektiven Bestrahlungsstärke E_{eff} im UV-A/B/C-Bereich in Abhängigkeit vom Abstand zu den Gasbrennern dargestellt. Die Werte sind nach Expositionen des Kopfes und der Hände/Arme aufgeschlüsselt (entnommen aus [4]).

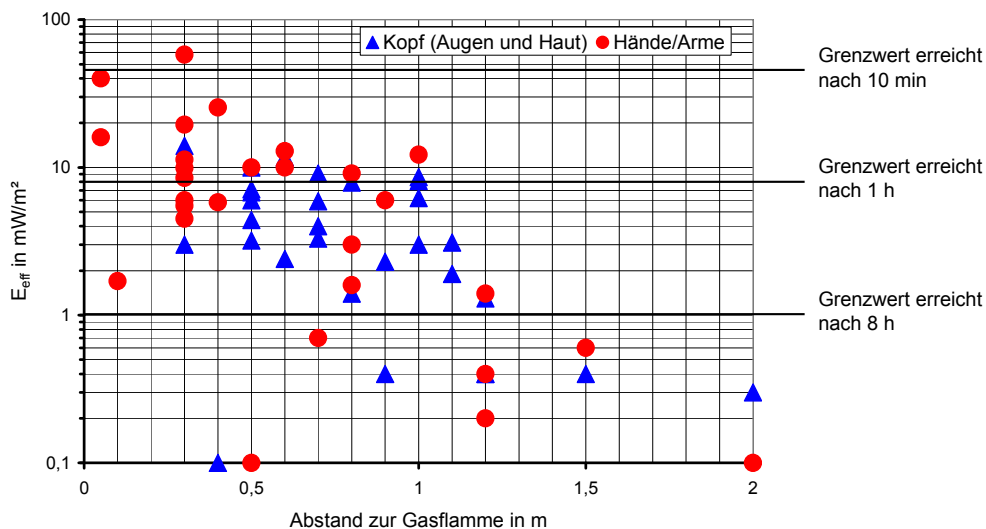


Abb. 9.6 Gemessene effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} bei der Glasbearbeitung in Abhängigkeit von der Entfernung zu den Gasbrennern (logarithmische Darstellung)

Zur Erlangung anwendungsbezogener Daten im Rahmen des Projektes werden Messungen in Betrieben zu Grunde gelegt. Dazu wurden Glaswerkstücke von einem Beschäftigten unter definierten Bedingungen bearbeitet. Bei der als „Spitzenziehen“ bekannten Tätigkeit wurden sowohl das Strahlenspektrum mit und ohne persönliche Schutzausrüstung, als auch die Bestrahlungsstärken in den verschiedenen Wellenlängenbereichen ermittelt. Es stellte sich heraus, dass es bei der Bearbeitung eines Werkstückes zur Blendung durch eine dominierende Linie bei etwa 595 nm kommen kann, ebenso tritt eine Erhöhung der Bestrahlungsstärke im IR-Bereich auf.

Ein Messprogramm unter definierten Bedingungen soll nun die quantitative Auswertung der spektralen Veränderungen während der Bearbeitung eines Glaswerkstückes ermöglichen.

In diesem Zusammenhang können auch die gängigen UV-Schutzmaßnahmen wie Brille oder Visier beurteilt werden.

9.5 Schlussfolgerungen

Die Messungen in Betrieben und im Labor zeigen bereits jetzt, dass die UV-Bestrahlung ein wesentliches Problem bei der Glasbearbeitung mit Gasbrennern darstellen kann. Legt man die Grenzwerte, die durch die Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche Optische Strahlung“ [1] festgelegt werden zu Grunde, dann kann es häufig bei Tätigkeiten während eines Arbeitstages zu Grenzwertüberschreitungen kommen.

Aus den Erfahrungen durch die bereits erfolgten Labor- und Betriebsmessungen können zu diesem Zeitpunkt bereits Schutzmaßnahmen empfohlen werden. Durch das Tragen von langärmeliger, feuerfester Kleidung wird die Haut an den Unterarmen hinreichend geschützt, zusätzliches Tragen von Handschuhen ist zum Schutz der Hände angebracht. Die Gesichtshaut und die Augen werden durch das Tragen von UV-Schutzbrillen und UV-Schutzvisieren gegen UV-Strahlung geschützt, auch wenn es noch zu einer leichten Transmission im UV-A-Bereich kommen sollte.

9.6 Ausblick

Befragungen von Beschäftigten haben ergeben, dass spezielle persönliche Schutzausrüstungen unpraktikabel und bei der Beschäftigung nicht ohne weiteres einsetzbar sind. Hier wurden vor allem Handschuhe (wegen des „Fingerspitzengefühl“) und Schutzvisiere (wegen des Ausblasens von Glaswerkstücken) genannt. Die aus diesem Projekt abgeleitete Gefährdungsbeurteilung kann eine Basis für eine zukünftige Forschung nach verbesserten und neuen Schutzmaßnahmen (gerätetechnisch/persönlich) darstellen.

Die Gefährdung durch Hautkrebs durch UV-Strahlung stellt auch in Zukunft eine große Herausforderung dar, da langfristige Schädigungen auch erst Jahrzehnte später auftreten können. Die Prävention ist daher von besonderer Bedeutung.

Literatur

- [1] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlamentes 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)
- [2] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV), Bundesdrucksache 262/10 vom 29.04.2010
- [3] UV-Strahlenexpositionen an Arbeitsplätzen. BGIA-Report 3/2007, Bert Aengvoort und Detlef Schwass.
- [4] UV-Strahlenexpositionen bei der Glasbearbeitung mit Gasbrennern, Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV, 2010

Kontaktadressen der Referenten

| Name | Institut | Anschrift |
|-----------------------|--|---|
| Dr. Georg Hilpert | Bundesministerium für Arbeit und Soziales Referat IIIc5 „Arbeitsstätten, physikalische Einwirkungen, Koordinierung der Arbeitsschutzausschüsse“ | Villemomblerstr. 76 53123 Bonn |
| Günter Ott | Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fachgruppe „Physikalische Faktoren“ | Friedrich-Henkel-Weg 1-25 44149 Dortmund |
| Werner Horak | Siemens AG, Corporate Office for Radiation Safety | Otto-Hahn-Ring 6 81739 München |
| Detlef Schwaß | Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) Referat 4.4: Strahlung | Alte Heerstraße 111 53577 Sankt Augustin |
| Dr. Ljiljana Udovicic | Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fachgruppe „Physikalische Faktoren“ | Friedrich-Henkel-Weg 1-25 44149 Dortmund |
| Peter Knuschke | Technische Universität Dresden Medizinische Fakultät „Carl Gustav Carus“, Dermatologie | Fetscherstr. 74 01307 Dresden |
| Dr. Gabriele Meyer | BG für Transport und Verkehrswirtschaft Hauptabteilung Gesundheitsschutz Referat See | Ottenser Hauptstraße 54 22765 Hamburg |
| Dr. Marc Wittlich | Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) Referat 4.4: Strahlung | Alte Heerstraße 111 53577 Sankt Augustin |
| Marco Janßen | Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fachgruppe „Physikalische Faktoren“ | Friedrich-Henkel-Weg 1-25 44149 Dortmund |