

Künstliche UV-Strahlung am Arbeitsplatz

Fünf häufige Anwendungsfelder im Fokus

1 Einführung

Optische Strahlung kann Augen und Haut schädigen. Sie dringt in Abhängigkeit von der Wellenlänge unterschiedlich tief in das Gewebe ein und kann dort unmittelbar das Erbgut schädigen. Die energiereiche ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung) kann sowohl kurzfristige (akute), als auch langfristige (chronische) Schädigungen hervorrufen. Akute Schädigungen durch UV-Strahlung äußern sich beispielsweise durch schmerzhafte Entzündungen der Hornhaut oder der Bindehaut des Auges (Photokeratitis, Photokonjunktivitis) sowie als Sonnenbrand auf der Haut (Erythembildung). In der Regel sind diese Symptome reversibel, das heißt sie lassen nach wenigen Tagen meist von selbst wieder nach, da die akuten Schäden von einem körpereigenen Reparatursystem behoben werden. Bei häufiger, langanhaltender und intensiver UV-Bestrahlung kann dieses Reparaturssystem jedoch überlastet sein, sodass Schäden nur noch teilweise oder gar nicht mehr behoben werden – dies kann chronische Schädigungen wie Linsentrübung (Katarakt, Grauer Star) oder Hautkrebs zur Folge haben [1, 2].

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat alle Wellenlängen der UV-Strahlung (UV-A: 315 bis 400 nm, UV-B: 280 bis 315 nm, UV-C: 100 bis 280 nm) als krebserregend für den Menschen eingestuft – unabhängig davon, ob sie natürlichen oder künstlichen Ursprungs sind. Dies bezieht sich vor allem auf die mögliche Entstehung von Hautkrebs [3]. Demnach ist das Schädigungspotenzial der UV-Strahlung für den Menschen eindeutig belegt.

Arbeitgebende haben die Pflicht, Beschäftigte vor den möglichen Folgen der Einwirkung von UV-Strahlung zu schützen. Dazu gehört neben der natürlichen UV-Strahlung der Sonne auch die künstliche UV-Strahlung. Zur Gefährdungsbeurteilung führt das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen

Unfallversicherung (IFA) seit über 40 Jahren Messungen der künstlichen UV-Strahlung an Arbeitsplätzen durch. Durch eine gezielte Datenanalyse der vorliegenden Messergebnisse können neue Erkenntnisse gewonnen werden, um die Prävention von UV-bedingten Schädigungen nachhaltig zu verstehen und zu verbessern. Ziel des Vorhabens war es, anhand der durchgeführten Messungen Anwendungsbereiche zu identifizieren, bei denen die Exposition durch künstliche UV-Strahlung besonders kritisch ist, sowie Empfehlungen für mögliche Schutzmaßnahmen abzuleiten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Archivrecherche von Messberichten aus dem Zeitraum 1981 bis 2020	2
3	Einblick in die einzelnen Anwendungsbereiche	4
3.1	Messung der UV-Strahlungsexpositionen und Gefährdungsbeurteilung	4
3.2	Ortsbezogene Bestrahlungsstärke ohne Berücksichtigung von PSA	4
3.3	Personenbezogene Bestrahlungen mit Berücksichtigung von PSA	8
4	Fazit und Ausblick	9
5	Literatur	9

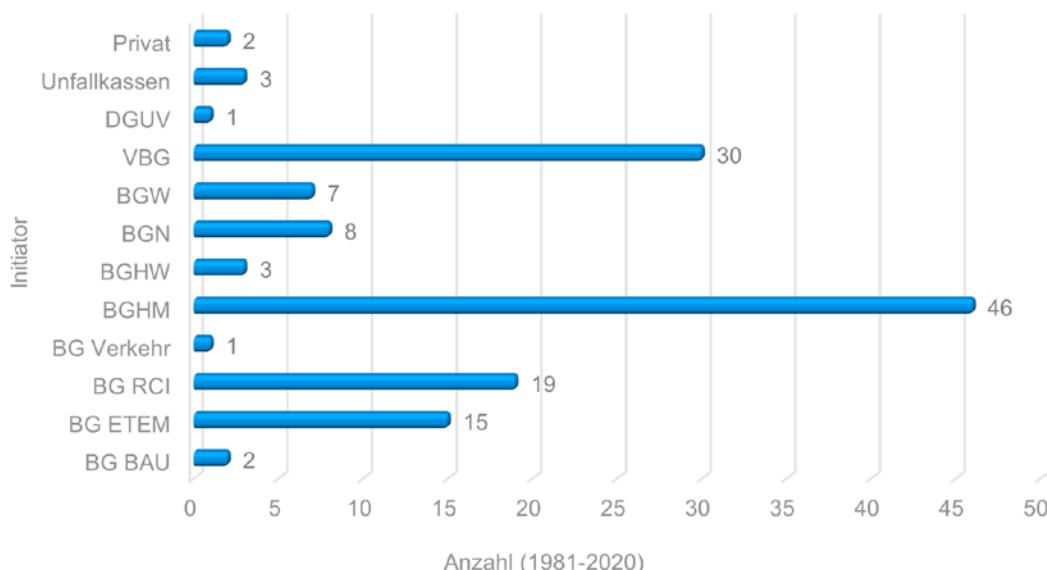


Abbildung 1: Verteilung der Betriebsmessungen von UV-Strahlungsexpositionen nach Auftraggebern; hierbei sind die jetzigen Namen nach den Fusionen dargestellt. Quelle: IFA

2 Archivrecherche von Messberichten aus dem Zeitraum 1981 bis 2020

Im Rahmen des Vorhabens wurden knapp 140 Messberichte aus dem Zeitraum 1981 bis 2020 im Archiv des IFA durchgesehen und ausgewertet. Dabei wurden die notwendigen Informationen zur UV-Exposition am Arbeitsplatz extrahiert und digital eingesortiert. Diese Informationen sind z. B.:

- allgemeine Informationen zur Messung inkl. Datum, Messort, Initiator, Art des Betriebs,
- Angaben zu Strahlungsquellen, Arbeitsabläufen und Expositionsbedingungen,
- Dokumentation der Messgeräte und Grundlagen der Gefährdungsbeurteilung,
- Messwerte und Auswertung,
- Gefährdungsbeurteilung der untersuchten Arbeitsplätze bzw. Tätigkeiten,
- Empfehlungen und Schutzmaßnahmen.

Die Messungen wurden zunächst anonymisiert nach Jahrgang, Bundesländern, Anwendungsbereichen und Initiatoren gelabelt. Die mit den jeweiligen Messungen assoziierten Arbeitsabläufe, Expositionsbedingungen und Messwerte wurden nach Anwendungsbereichen in Clustern aufbereitet. Daraus ergeben sich ca. 1 000 Datenpunkte für die untersuchten Messberichte.

Durch die gelabelten Daten kann man einen Überblick über alle Betriebsmessungen darstellen. Ein selektiver Einblick in die einzelnen Anwendungsbereiche ist ebenfalls möglich. In **Abbildung 1** ist die Verteilung der Betriebsmessungen nach jeweiligem Auftragsgeber dargestellt. Demnach wurden im betrachteten Zeitraum die meisten Messaufträge (n = 46) von der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGH M) erteilt, gefolgt von der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG, n = 30) und der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI, n = 19). Diese Verteilung sagt zunächst jedoch

nichts über die Häufigkeit der Anwendung von künstlicher UV-Strahlung in den assoziierten Branchen aus, da einige Unfallversicherungsträger (UVT) über eigene Ressourcen zur Messung von UV-Strahlung verfügen und die Vergabe von Messaufträgen an die DGUV somit nicht notwendig ist.

Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Betriebsmessungen nach Bundesland. Die meisten Betriebsmessungen (n = 33, entspricht 24 %) wurden in Hessen durchgeführt. An zweiter Stelle kommt Bayern mit 32 Messungen, gefolgt von Nordrhein-Westfalen mit 25 Messungen.

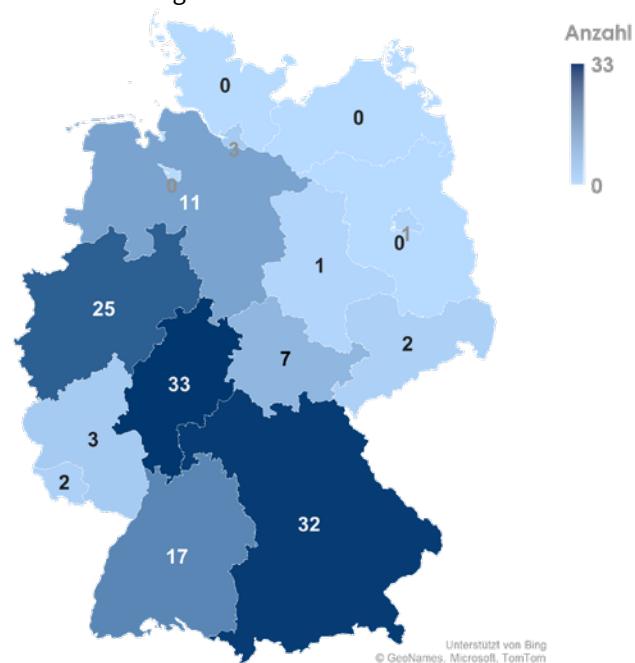


Abbildung 2: Verteilung der Betriebsmessungen von UV-Strahlungsexpositionen nach Bundesländern. Quelle: IFA

Das Donut-Diagramm in Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Betriebsmessungen nach jeweiligem Anwendungsbereich der künstlichen UV-Strahlung. Daraus lassen sich die Anwendungsbereiche zusammenfassen, die am häufigsten vorkommen:

- Tintenfixierung in der Druckerei (19 %),
- Gasbrenner zur Glasbearbeitung (18 %),
- Fluoreszenz zur Sichtbarmachung (15 %),
- UV-Härtung von Klebern (12 %),
- Entkeimung durch UV-C-Strahlung (9 %),
- Lichtbogenschweißen

Die aufgezählten Anwendungen machen zusammen 82 % aller Messungen aus. Das Wort „Anwendungsbereich“ ist hier jedoch nicht wörtlich zu nehmen, sondern dient lediglich zur Charakterisierung des zugrunde liegenden Verfahrens, bei dem

UV-Strahlung entweder ein Prozessmittel darstellt oder aber, wie bei Gasbrennern und beim Lichtbogenschweißen, als unerwünschtes Nebenprodukt entsteht.

Beim Lichtbogenschweißen werden die gesetzlich festgeschriebenen Grenzwerte oft schon nach Sekunden der Exposition erreicht. Zur UV-Exposition beim Lichtbogenschweißen gibt es bereits umfassende Studien sowie eine Handlungshilfe zur Gefährdungsbeurteilung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) [4, 5]. Aus diesem Grund wird die UV-Exposition beim Lichtbogenschweißen im Rahmen dieser Zusammenfassung nicht mehr näher betrachtet. Der Schwerpunkt liegt im Folgenden auf den ersten fünf Anwendungsbereichen.

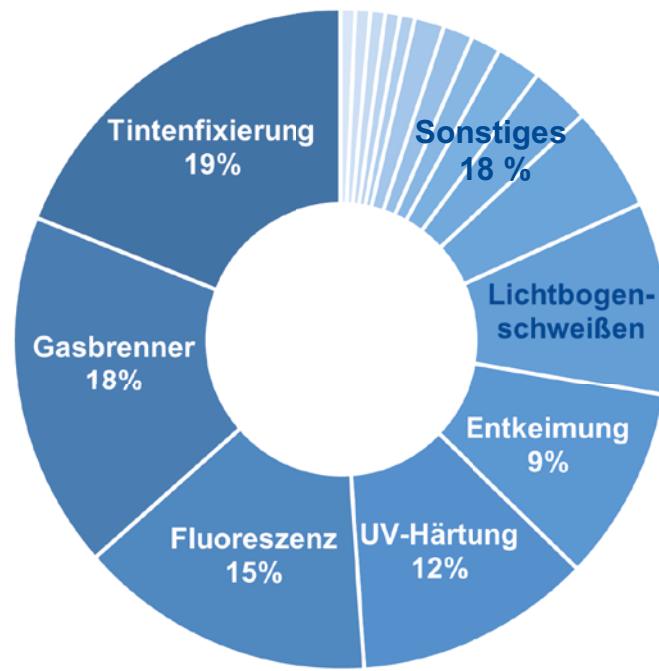


Abbildung 3: Donut-Diagramm über die Verteilung der Betriebsmessungen nach Anwendungsbereichen (1981 bis 2020). Quelle: IFA

3 Einblick in die einzelnen Anwendungsbereiche

3.1 Messung der UV-Strahlungsexpositionen und Gefährdungsbeurteilung

Wenn eine Gefährdung bereits anhand der Ermittlung von Informationen – wie branchen- oder tätigkeitsbezogenen Informationen, Herstellerangaben und Informationen der UVT –

- aufgrund der geringen UV-Strahlungsexposition (z. B. Beleuchtung in Büroräumen) ausgeschlossen oder
- wegen der sehr hohen UV-Strahlungsexposition (z. B. beim Lichtbogenschweißen) als vorhanden geschätzt

werden kann, entfällt der Aspekt der Messung. Ist eine vollständige Gefährdungsbeurteilung auf Basis der zugrundeliegenden Informationen nicht möglich, ist eine genauere Überprüfung durch Messung notwendig [1].

Eine Messung von Expositionen gegenüber UV-Strahlung ist fachkundig durchzuführen und muss repräsentativ für die Exposition der Beschäftigten sein. Dazu ist eine individuelle Analyse des Arbeitsablaufs und der Expositionsbedingungen vor der Messung notwendig. Die Messung hat vorwiegend zum Ziel, die Exposition an den unbedeckten Körperteilen der Beschäftigten zu bestimmen. Dafür werden die Detektoren der Messgeräte an den Positionen angeordnet, an denen sich der Kopf, die Hände und die Unterarme der Beschäftigten während der Tätigkeiten befinden.

Zum Schutz vor akuten Schäden der Augen und der Haut durch UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm ist ein kumulativer gewichteter Expositionsgrenzwert (EGW) – die effektive Bestrahlung für die Gefährdung durch UV-Strahlung H_{eff} – von 30 J/m² innerhalb einer achtstündigen Arbeitsschicht einzuhalten [1, 6, 7]:

$$H_{\text{eff}} = 30 \text{ J/m}^2 = E_{\text{eff}} * \Delta t$$

Dieser effektive EGW basiert auf einer Wichtung mit der spektralen Bewertungsfunktion $S(\lambda)$ nach ICNIRP und ACGIH [8, 9]. Hierbei beschreibt die spektrale Bewertungsfunktion $S(\lambda)$ die kombinierte, akut schädigende Wirkung der UV-Strahlung für die Augen und die Haut in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

Bei geringen effektiven Bestrahlungsstärken E_{eff} (Einheit: mW/m²) wird im Rahmen der vom IFA durchgeführten Messungen eine vereinfachte Expositionsbeurteilung vorgenommen. Sofern die effektive UV-Bestrahlungsstärke den Wert von 1 mW/m² immer unterschreitet, kann man davon ausgehen, dass der EGW eingehalten wird:

$$E_{\text{eff}} = \frac{30 \text{ J/m}^2}{8 \text{ h}} = 1 \text{ mW/m}^2.$$

Darüber hinaus steht ein weiterer EGW H_{UVA} zum Schutz vor langfristigen Schäden der Augenlinsen (Grauer Star) zur Verfügung:

$$H_{\text{UVA}} = 10\,000 \text{ J/m}^2 = E_{\text{UVA}} * \Delta t$$

In diesem Bericht wird nur der Grenzwert H_{eff} betrachtet, da der Grenzwert H_{UVA} nur in wenigen Betriebsmessungen aufgenommen wurde. Daher ist hier die statistische Signifikanz der daraus ableitbaren Aussagen zu gering. Das IFA hat alle Messungen der effektiven Bestrahlung nach Verfahren A gemäß [10] durchgeführt. Dabei werden die UV-Bestrahlungsstärke und die Bestrahlungsdauer gemessen, um daraus nach obiger Formel die Gesamtbestrahlung H_{eff} zu berechnen. Nach Analyse der Tätigkeiten und Expositionsbedingungen der exponierten Beschäftigten wurden die ortsbezogenen Bestrahlungsstärken an dem untersuchten Arbeitsplatz durch ein Radiometer gemessen, das regelmäßig vom Hersteller kalibriert wird und in dem die Bewertungsfunktion $S(\lambda)$ bereits integriert ist. Zur Berechnung der personenbezogenen Bestrahlungen wurde die gesamte Bestrahlungsdauer des/der exponierten Beschäftigten an diesem Arbeitsplatz dokumentiert und mit den Bestrahlungsstärken multipliziert. Daraus ergeben sich die personenbezogenen Bestrahlungen (Kopf, Hände/Unterarme etc.) des untersuchten Arbeitsplatzes.

Des Weiteren wurde in vielen Berichten eine „maximale Aufenthaltszeit“ t_{max} berechnet. Diese gibt an, nach welcher Zeit der EGW erreicht wird. Mit einem Messwert E_{mess} berechnet sich die Zeit nach:

$$t_{\text{max}} = \frac{30 \text{ J/m}^2}{E_{\text{mess}}}$$

3.2 Ortsbezogene Bestrahlungsstärke ohne Berücksichtigung von persönlicher Schutzausrüstung (PSA)

Im Folgenden werden die aus den Messberichten extrahierten Ergebnisse zu den ortsbezogenen Bestrahlungsstärken der fünf am häufigsten untersuchten Anwendungsbereiche dargestellt. Dies beinhaltet jeweils eine kurze Beschreibung des Verfahrens sowie der durchgeführten Tätigkeiten, eine Darstellung der gemessenen Bestrahlungswerte sowie die daraus abgeleiteten Schutzempfehlungen.

3.2.1 Tintenfixierung

Bei Herstellern bzw. in den Druckereien von Zeitungen, CDs, Etiketten, Verpackungen und auch Schreibwaren werden die Farben durch UV-Strahlung getrocknet [11]. Der für das Verfahren nützliche Wellenlängenbereich ist der UV-A-Bereich, allerdings emittieren die UV-Lampen häufig auch Strahlung im UV-B- und UV-C-Bereich. Die Beschäftigten, die die Druckmaschinen bedienen oder in der Nähe arbeiten, können dieser UV-Strahlung ausgesetzt werden.

Das Streudiagramm in Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der effektiven Bestrahlungsstärken von insgesamt 245 Einzelmessungen, in Abhängigkeit vom Abstand zur Strahlungsquelle. Messpunkte, an denen es zu einer Überschreitung der EGW

kam, sind in rot eingefärbt. Die grüne Linie liegt bei einer effektiven Bestrahlungsstärke von 1 mW/m^2 und stellt die Grenze dar, bis zu der die vereinfachte Expositionsbewertung möglich ist. Bei den Messpunkten unterhalb der grünen Linie wurde demnach der EGW eingehalten. Auch oberhalb dieser Grenze gibt es viele Messpunkte, bei denen der EGW eingehalten wurde. Grund dafür ist die kurze Aufenthaltszeit bzw. kurze Expositionsdauer der Beschäftigten dort. Eine Überschreitung der EGW konnte bei 38 % der gemessenen Expositionen im Bereich Tintenfixierung festgestellt werden. Hohe UV-Strahlungsexpositionen des Kopfes und der Hände wurden insbesondere an den folgenden Stellen der Druckmaschinen gemessen:

- Lichtaustrittsöffnungen und Lichtspalte der UV-Leuchten,
- Kühlschlitz, Lüftungsgitter und Ventilatoren der Anlagen,
- Einlass- bzw. Auslassöffnung des Förderbandes (trotz Gummilamellen),
- Förderband, Fußboden (Reflexion).

In Hinblick auf die möglichen Schutzmaßnahmen wurde unter anderem empfohlen,

- die Spalthöhe der Einlass-/Auslassöffnungen zu verringern,
- optimierte Abschirmung an den Lichtaustrittsstellen zu installieren,
- Warnschilder an der Anlage anzubringen,
- keine Tätigkeiten in unmittelbarer Nähe der Lichtaustrittsöffnung vorzunehmen,
- die Expositionsdauer zu begrenzen bzw. einen Mindestabstand zum Lichtaustritt zu halten.

Sollten technische und organisatorische Schutzmaßnahmen nicht realisierbar sein, müssen persönliche Schutzmaßnahmen wie Schutzvisier und -handschuhe angewendet werden. Unerlässlich ist zudem die regelmäßige Unterweisung der Beschäftigten zu den möglichen Gefährdungen durch UV-Strahlung und über die Anwendung von Schutzmaßnahmen.

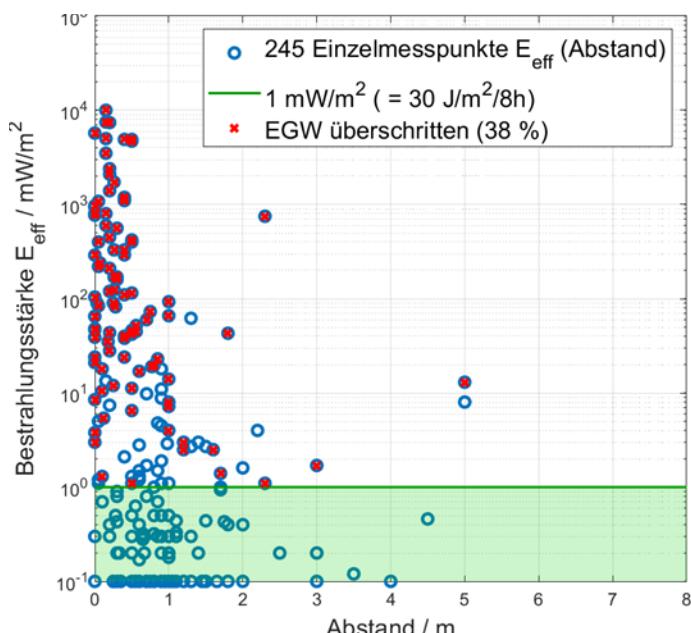


Abbildung 4: Gemessene Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit vom Abstand zur Strahlungsquelle im Bereich „Tintenfixierung“. Quelle: IFA

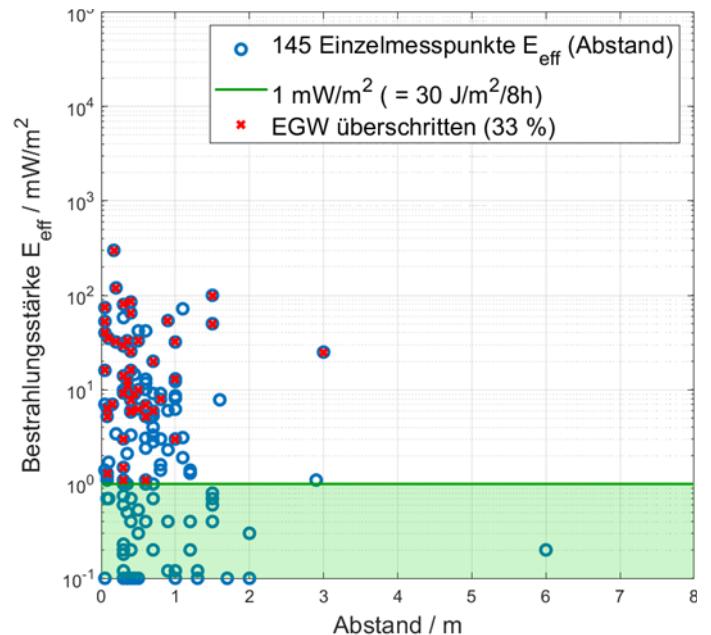


Abbildung 5: Gemessene Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit vom Abstand zur Strahlungsquelle im Bereich „Gasbrenner“. Quelle: IFA

3.2.2 Gasbrenner

Bei der Glasverarbeitung werden Gasflammen zur Erhitzung der Werkstücke eingesetzt. Für den Prozess selbst ist die Hitze das eigentliche Prozessmittel und die dabei entstehende Strahlung wird als Nebenprodukt erzeugt. Oft arbeiten Beschäftigte sehr nah an der Flamme und können somit unmittelbar der Strahlung ausgesetzt werden. Befinden sich andere Personen in der Nähe der Flamme, wären sie ebenfalls exponiert.

In **Abbildung 5** sind die Ergebnisse der effektiven Bestrahlungsstärke aus insgesamt 145 Einzelmessungen an Gasbrennern aufgetragen. Analog zu Kapitel 3.2.1 sind hier Messwerte mit Grenzwertüberschreitung in rot eingefärbt. Die Grenze von 1 mW/m^2 zur vereinfachten Expositionsbewertung ist durch eine grüne Linie gekennzeichnet. Es zeigt sich, dass ein Drittel der gemessenen Expositionen den EGW überschritten haben. Bei der Anwendung von Tischbrennern (kleine Flammen) wurde bei vielen Betrieben eine Schutzscheibe zwischen der Gasflamme und dem Kopf der Beschäftigten installiert. Allerdings waren die Hände – und aufgrund von kurzer Kleidung in den Sommermonaten auch die Unterarme der Beschäftigten – oft unbedeckt. Bei der Anwendung von Maschinenbrennern (große Flammen) trugen die Beschäftigten in der Regel Schutzbrillen und Schutzhandschuhe, wobei die Gesichtshaut meist unbedeckt blieb. Die unbedeckten Körperstellen waren der von Gasflammen emittierten UV-Strahlung ausgesetzt.

In Hinblick auf die möglichen Schutzmaßnahmen wurde unter anderem empfohlen,

- sofern möglich ausreichend große Schutzscheiben zwischen Flammen und Gesicht zu montieren,
- langärmelige Kleidung bzw. Stulpenärmel und Schutzhandschuhe (ggf. ohne Fingerkuppen) zu tragen und
- Schutzvisiere anstatt Schutzbrillen zu verwenden.

Auch hier spielt die Unterweisung der Beschäftigten zur möglichen Gefährdung und den entsprechenden Schutzmaßnahmen eine zentrale Rolle. Warnschilder sollen am Arbeitsplatz oder an der Anlage angebracht werden.

Tiefergehende Bewertungen des IFA über die Strahlungsbelastung bei der Arbeit mit Gasbrennern im Rahmen der Glasbearbeitung finden sich in der IFA Information [12] sowie im IFA Report 6/2026 [13].

3.2.3 Fluoreszenz

Im Rahmen der Qualitätskontrolle von hoch belasteten Metallteilen wird an sogenannten Flux-Arbeitsplätzen untersucht, ob diese Teile Haarrisse aufweisen. Die Werkstücke werden mit einem fluoreszierenden Mittel besprüht, das sich in den Rissen ablagert. Unter UV-Strahlung werden diese Risse sichtbar und die Werkstücke mit Rissen werden dann aussortiert. Für diesen Prozess werden in der Regel Leuchtmittel verwendet, deren Emission im UV-A-Bereich liegt. Fluoreszierende Substanzen werden in verschiedenen Branchen eingesetzt, um Farben oder andere Stoffe so zu markieren, dass die Markierung nur bei einer UV-Bestrahlung sichtbar wird. Beim Einsatz der dazu notwendigen UV-Leuchten können die Beschäftigten der UV-Strahlung ausgesetzt sein.

In diesem Anwendungsbereich wurde der EGW bei 37 % der 173 Messpunkte überschritten (Abbildung 6). Die Überschreitung des EGW betraf überwiegend den Bereich der Hände und Unterarme, weil die UV-Leuchten in der Regel unterhalb des Gesichts angeordnet waren oder Schutzscheiben vor den UV-

Lampen montiert waren.

Folgende Schutzmaßnahmen wurden unter anderem empfohlen:

- UV-Leuchten stets unterhalb der Augenhöhe montieren,
- langärmelige Kleidung und Schutzhandschuhe tragen,
- Blick in den direkten Strahl vermeiden und ggf. Schutzvisiere verwenden,
- regelmäßige Unterweisung der Beschäftigten zu Gefährdungen durch UV-Strahlung und in der Anwendung von Schutzmaßnahmen,
- Anbringen von Warnschildern am Arbeitsplatz und Gebotschilder zur Nutzung von PSA.

3.2.4 UV-Härtung

Das Verfahren zur UV-Härtung funktioniert ähnlich wie die bereits beschriebene Tintenfixierung mittels UV-Strahlung. Anstatt Farben werden hier Kleber, Glaskleber und Lacke durch UV-Strahlung getrocknet. Im Gegensatz zu Druckmaschinen, bei denen Bedruckung und Trocknung maschinell nacheinander durchgeführt werden, führen Beschäftigte bei der UV-Härtung die Trocknung der produzierten Gegenstände sehr oft manuell durch. Demnach kann sich die Exposition hier deutlich von derjenigen im Rahmen der Tintenfixierung unterscheiden.

In diesem Anwendungsbereich wurde der EGW bei 22 % der 137 Messpunkte überschritten (Abbildung 7). Die Überschreitung des EGW betraf hierbei vorwiegend den Bereich der

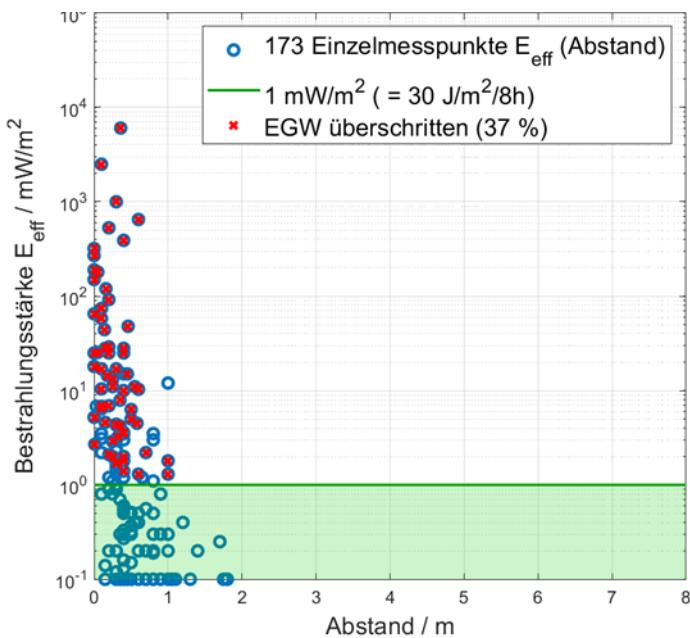


Abbildung 6: Gemessene Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit vom Abstand zur Strahlungsquelle im Bereich „Fluoreszenz“. Quelle: IFA

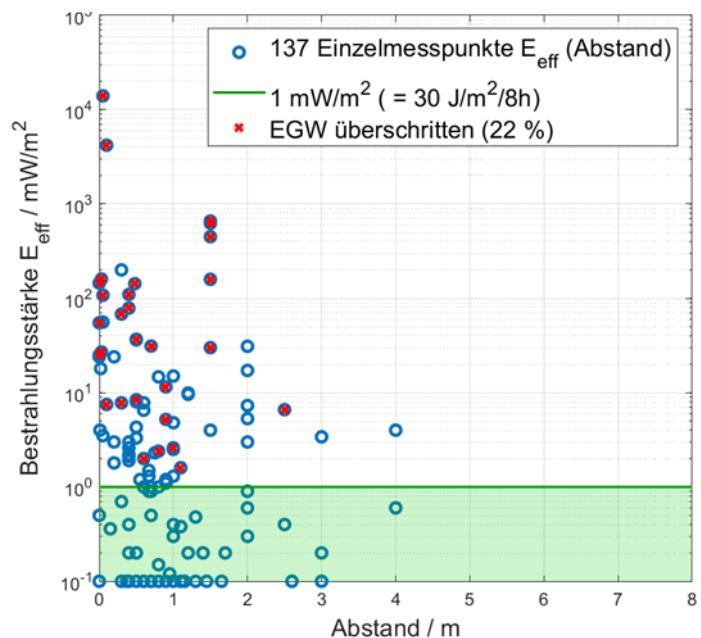


Abbildung 7: Gemessene Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit vom Abstand zur Strahlungsquelle im Bereich „UV-Härtung“. Quelle: IFA

Hände.

Schutzmaßnahmen sollten die folgenden Aspekte berücksichtigen:

- Überprüfen der Erforderlichkeit des UV-B-/UV-C-Anteils für die Aushärtung und ggf. Einsatz von Filterscheiben,
- Installation von Abschirmungen bzw. Trennwänden an der Anlage,
- Anbringen von UV-absorbierender Beschichtung auf reflektierenden Flächen,
- Reduzieren der Aufenthaltsdauer in unmittelbarer Nähe des Lichtaustritts,
- Verwendung von langärmeliger Kleidung und Schutzhandschuhen,
- regelmäßige Unterweisung der Beschäftigten zu Gefährdungen durch UV-Strahlung und in der Anwendung von Schutzmaßnahmen,
- Anbringen von Warnschildern am Arbeitsplatz und Gebotschilder zur Nutzung von PSA.

3.2.5 Entkeimung

Das Wort Desinfektion war im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie ab dem Jahr 2020 fast täglich in den Medien zu hören. Eine von vielen Desinfektionsmöglichkeiten ist die Verwendung von UV-C-Strahlung. Aufgrund der keimtötenden Wirkung von UV-C-Strahlung ist deren Anwendung seit Jahrzehnten in vielen Bereichen wie Krankenhäusern, Lebensmittelindustrie und Trinkwasseraufbereitung üblich. Zur Desinfektion des oberen Raumluftbereichs (Upper-Air) kommen freistrahrende Decken- oder Wandstrahler zum Einsatz. Die direkte Strahlung war im Rahmen der durchgeführten Messungen meist auf die Raumdecke gerichtet und sollte die dort ggf.

befindlichen Bakterien oder Viren abtöten und somit eine Desinfektion der Raumluft bewirken.

Die durchgeführten Messungen zeigten deutlich, dass die Entkeimung mittels UV-C-Strahlung mit Gefahren verbunden sein kann (Abbildung 8). Bei 74 % der 77 Messungen wurde der EGW überschritten – sogar bei einer Entfernung von bis zu acht Metern zur Strahlungsquelle! Der EGW wurde bei ca. 60 % der Messpunkte bereits nach zwei Stunden erreicht. Die Überschreitung des EGW betraf überwiegend den Kopf (Gesicht und Nacken) der Beschäftigten. Dabei handelte es sich um freistrahrende Systeme, die in Anwesenheit von Personen eingeschaltet sind. Die Beschäftigten wurden nicht nur der direkten, sondern auch der von der Decke reflektierten UV-Strahlung ausgesetzt.

Schutzmaßnahmen legten den Fokus auf:

- Die UV-C-Strahler sind nur dort einzusetzen, wo sie zur Reduzierung der Keimbelastung zwingend erforderlich sind.
- Sofern auf die UV-C-Strahler nicht verzichtet werden kann, sollten die Beschäftigten durch geeignete Abschirmungen vor der UV-Strahlung der UV-C-Strahler geschützt werden.
- Eine UV-absorbierende Beschichtung an der Raumdecke wurde empfohlen.
- Zusätzlich sollten entsprechende Hinweisschilder angebracht werden.

Weitere Informationen zur Gefährdung durch UV-C-Strahlung im Rahmen von Anwendungen zur Luft- und Oberflächendesinfektion sowie umfassende Leitlinien zur Gefährdungsbeurteilung an den entsprechenden Systemen wurden im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie in einer Handlungshilfe festgehalten [14].

3.2.6 Zusammenfassung ortsbezogene Messungen

Zusammenfassend sind in Abbildung 9 die Streudiagramme zur gemessenen Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit von der Entfernung zur Strahlungsquelle der fünf näher betrachteten Anwendungsbereiche nochmals gegenübergestellt. Darüber hinaus wurde für alle Messpunkte, an denen eine Überschreitung der EGW vorliegt (in rot dargestellte Messpunkte), die maximal zulässige Aufenthaltszeit t_{max} berechnet (nach Kapitel 3.1). Diese Ergebnisse sind in der Abbildung rechts als Histogramme dargestellt. Die Intervallbreite eines Histogrammbalkens entspricht dabei jeweils 20 Minuten.

Besonders auffällig ist bei dieser Betrachtung der Anwendungsbereich der Tintenfixierung. Es lässt sich ablesen, dass bei über 60 Messpunkten der EGW für eine achtstündige Arbeitsschicht bereits nach 20 Minuten erreicht wurde; dies entspricht 64 % aller Grenzwertüberschreitungen. Bei den übrigen Anwendungen liegen diese Anteile bei 38 % (Gasbrenner), 36 % (Fluoreszenz), 63 % (UV-Härtung) und 30 % (Entkeimung). Da diese Zahlen nur Werte enthalten, bei denen der Grenzwert in der angegebenen Zeit überschritten wird, ist hier aber automatisch mit einer Verschiebung zu kurzen Zeiten zu rechnen.

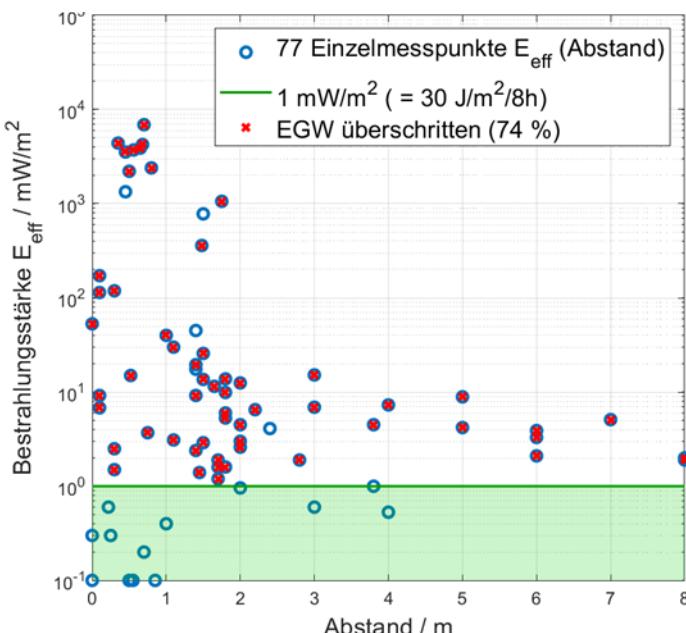


Abbildung 8: Gemessene Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit vom Abstand zur Strahlungsquelle im Bereich „Entkeimung“. Quelle: IFA

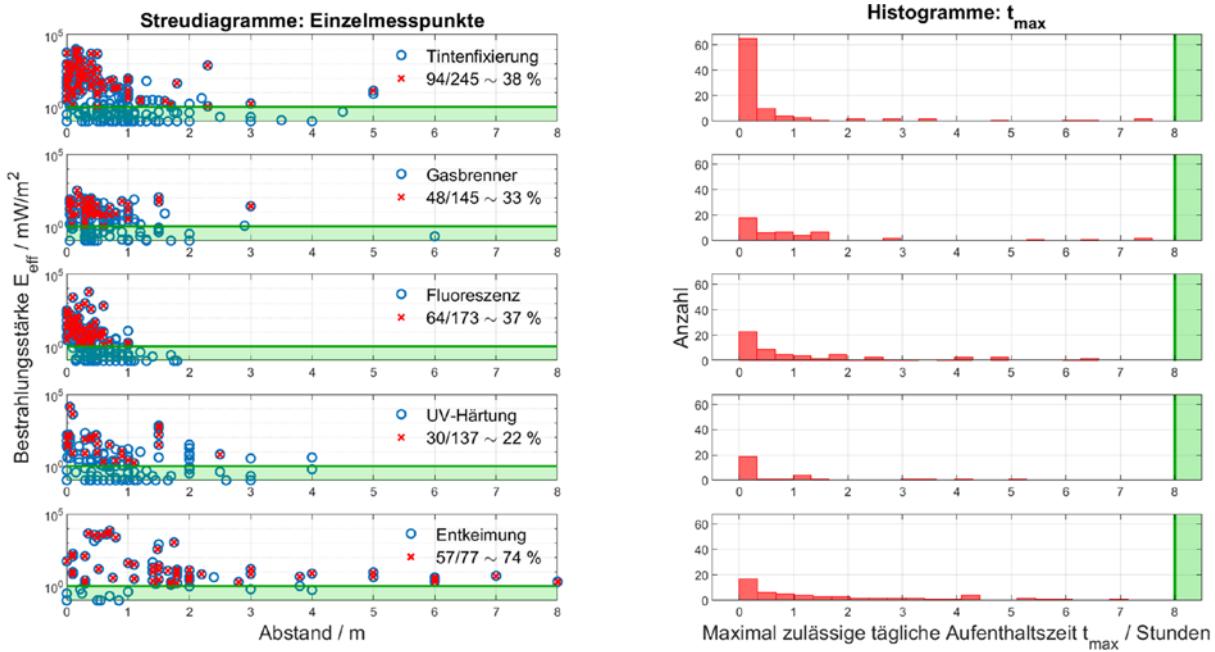


Abbildung 9: Zusammenfassung aller fünf Bereiche und die jeweils maximal zulässige tägliche Aufenthaltszeit t_{\max} . Quelle: IFA

3.3 Personenbezogene Bestrahlungen mit Berücksichtigung von PSA

In den Betriebsmessungen dokumentierte das IFA nicht nur die ortsbezogenen Bestrahlungsstärken, sondern ermittelte auch die personenbezogenen Bestrahlungen. Es kam immer wieder vor, dass Beschäftigte während einer Arbeitsschicht verschiedene Tätigkeiten an mehreren Arbeitsplätzen durchführten. In diesem Fall mussten die Bestrahlungen an mehreren Arbeitsplätzen zuerst summiert und dann mit dem EGW von 30 J/m^2 verglichen werden.

In Abbildung 10 sind die vom IFA ermittelten personenbezogenen UV-Strahlungsexpositionen (effektive Bestrahlung H_{eff}) fünf näher betrachterter Anwendungsbereiche dargestellt. Hierfür

werden die einzelnen Gefährdungsbeurteilungen in drei Kategorien eingeteilt:

- Blau: EGW eingehalten ($< 30 \text{ J/m}^2$),
- Grün: EGW überschritten, PSA vorhanden und verwendet ($\geq 30 \text{ J/m}^2$, PSA verwendet),
- Gelb: EGW überschritten, PSA nicht vorhanden ($\geq 30 \text{ J/m}^2$, PSA nicht vorhanden).

Zudem wurden die Gefährdungsbeurteilungen entsprechend des Messjahres getrennt für mehrere Zeitperioden (in Schritten von zehn Jahren) ausgewertet.

Abbildung 10 zeigt die Veränderungen in den verschiedenen Arbeitsbereichen über die Jahre. In den 1980er-Jahren gab es z. B. keine Messungen an Gasbrennern; diese Messungen

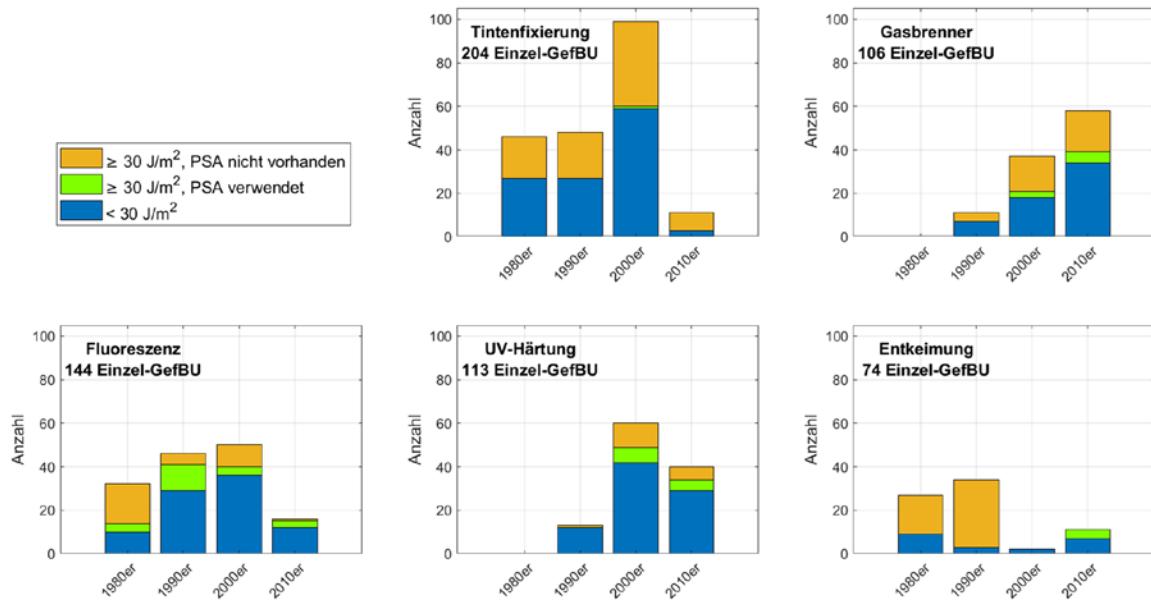


Abbildung 10: Vom IFA dokumentierte personenbezogene UV-Strahlungsexpositionen (effektive Bestrahlung H_{eff}) einer 8h-Arbeitsschicht aller fünf Bereiche in vier Jahrzehnten. Quelle: IFA

haben mit der Zeit aber stark zugenommen. Dies liegt vermutlich an einer gehäuften Anwendung der Gasbrenner bzw. an einer Sensibilisierung für die vorliegende Gefährdung.

Andererseits haben die Messungen bei der Entkeimung mit der Zeit abgenommen, wobei es vor allem viel weniger Messungen mit Grenzwertüberschreitungen gab. Das muss nicht, bedeuten, dass Entkeimung in den 2000er- und 2010er-Jahren weniger genutzt wurde. Es kann auch sein, dass (wie in Kapitel 3.1 erklärt) Arbeitsplätze mit starker UV-Strahlung nicht gemessen wurden, da eine Grenzwertüberschreitung im Vorhinein schon als sehr hoch eingeschätzt wurde und Maßnahmen demnach per se umzusetzen sind.

Auch die in den meisten Fällen geringe Anzahl an Arbeitsplätzen, an denen PSA verwendet wurde, sollte nicht täuschen. Es ist wahrscheinlich, dass eher an Arbeitsplätzen gemessen wird, wo keine PSA verwendet wird. Die Arbeitsplätze, an denen PSA vorgeschrieben ist, machen eine Messung oft nicht nötig.

4 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde eine umfassende Übersicht der Betriebsmessungen zur Exposition gegenüber künstlicher UV-Strahlung im Zeitraum von 1981 bis 2020 erstellt. Die Analyse erfolgte nach verschiedenen Kriterien, darunter Auftraggeber (UVT) und unterschiedliche Anwendungsbereiche.

Ein besonderer Fokus lag auf den fünf am häufigsten untersuchten Anwendungsbereichen, in denen die effektive Bestrahlungsstärke (E_{eff}) bzw. die gemessenen effektiven Bestrahlungen (H_{eff}) betrachtet wurden. Für jeden Bereich wurden die jeweiligen Anwendungsprinzipien und Szenarien analysiert, um die Expositionen besser zu verstehen. Dabei zeigte sich, dass die Exposition in erster Linie vom Abstand zu den UV-Quellen abhängt.

Die Untersuchung ergab zudem, dass in einigen Bereichen regelmäßig Überschreitungen des Expositionsgrenzwertes (EGW) auftreten – vor allem im Hinblick auf die Belastung von Händen oder der Kopfregion. Diese Erkenntnisse unterstreichen die Notwendigkeit gezielter Schutzmaßnahmen, um das Risiko für Anwenderinnen und Anwender zu minimieren.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die gesammelten Daten wertvolle Einblicke in das Verhalten und die Risiken bei der Nutzung künstlicher UV-Strahlung bieten. Für zukünftige Forschungen empfiehlt es sich, die Messungen kontinuierlich fortzusetzen und insbesondere neue Technologien sowie veränderte Anwendungspraktiken zu berücksichtigen. Zudem sollten präventive Maßnahmen weiterentwickelt werden, um eine sichere Nutzung der UV-Quellen in allen relevanten Bereichen zu gewährleisten.

Die vorliegenden Erkenntnisse können im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung Hinweise geben, auf welche Anwendungen ein spezifisches Augenmerk gelegt werden muss und welche Schutzmaßnahmen zu empfehlen sind.

5 Literatur

- [1] Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung: TROS Inkohärente optische Strahlung (TROS IOS). <https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/a228-technische-regeln-inkoae%C3%A4rente-optische-strahlung.pdf>
- [2] BfS: Wie wirkt UV-Strahlung? <https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/wirkung/einfuehrung/einfuehrung.html>
- [3] Exposure to artificial UV radiation and skin cancer / views and expert opinions of an IARC Working Group that met in Lyon, France 27–29 June 2005, IARC Working Group Reports, Vol. 1
- [4] Information des IFA: Emission von UV-Strahlung beim Elektroschweißen. <https://publikationen.dguv.de/widgts/pdf/download/article/2547>
- [5] BAuA: Drehscheibe Lichtbogenschweißen. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/Sonderformate/Drehscheibe-Lichtbogenschweissen.html>
- [6] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG).
- [7] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - OStrV), Stand: 18.10.2017.
- [8] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. <https://www.icnirp.org/>
- [9] American Conference of Governmental Industrial Hygienists. <https://www.acgih.org/>
- [10] DIN EN 14255-1:2005-06: Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung – Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung.
- [11] Information der BGETEM: Schutzmaßnahmen bei der UV-Trocknung. <https://medien.bgetem.de/medienportal/artikel/TUIwMzQ>
- [12] Information des IFA: UV-Strahlenexpositionen bei der Glasbearbeitung mit Gasbrennern. https://www.dguv.de/medien/ifa/de/fac/strahl/pdf/uv_expositionen_gasbrenner.pdf
- [13] IFA Report 6/2016: Emissionen optischer Strahlung bei der Bearbeitung von Werkstücken aus Glas mit Gasbrennern. <https://www.dguv.de/ifa/publikationen/reports-download/reports-2016/ifa-report-6-2016/index.jsp>
- [14] FBETEM-006: Handlungshilfe zur Gefährdungsbeurteilung von UV-C Geräten zur Luft- und Oberflächendesinfektion an Arbeitsplätzen. <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4430>

Glossar:

UV-Strahlung:	Ultraviolette Strahlung
EGW:	Expositionsgrenzwert
DGUV:	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
UVT:	Unfallversicherungsträger
UK:	Unfallkasse
BG ETEM:	Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse
BG Verkehr:	Berufsgenossenschaft Verkehrswirtschaft Post-Logistik Telekommunikation
BGHM:	Berufsgenossenschaft Holz und Metall
BGHW:	Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik
VBG:	Verwaltungsberufsgenossenschaft
BGW:	Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege
BGN:	Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe
BG Bau:	Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
BG RCI:	Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie

Verfasst von:

Claudine Strehl, Timo Heepenstrick,
Sandra Breuer, Weiqi Zhou-Hanf
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen
Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstr. 111
53757 Sankt Augustin
Telefon: 030 13001-38600
E-Mail: ifa@dguv.de
Internet: www.dguv.de, p022818

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)

Glinkastr. 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
E-Mail: info@dguv.de
↗ www.dguv.de