

7.8.17

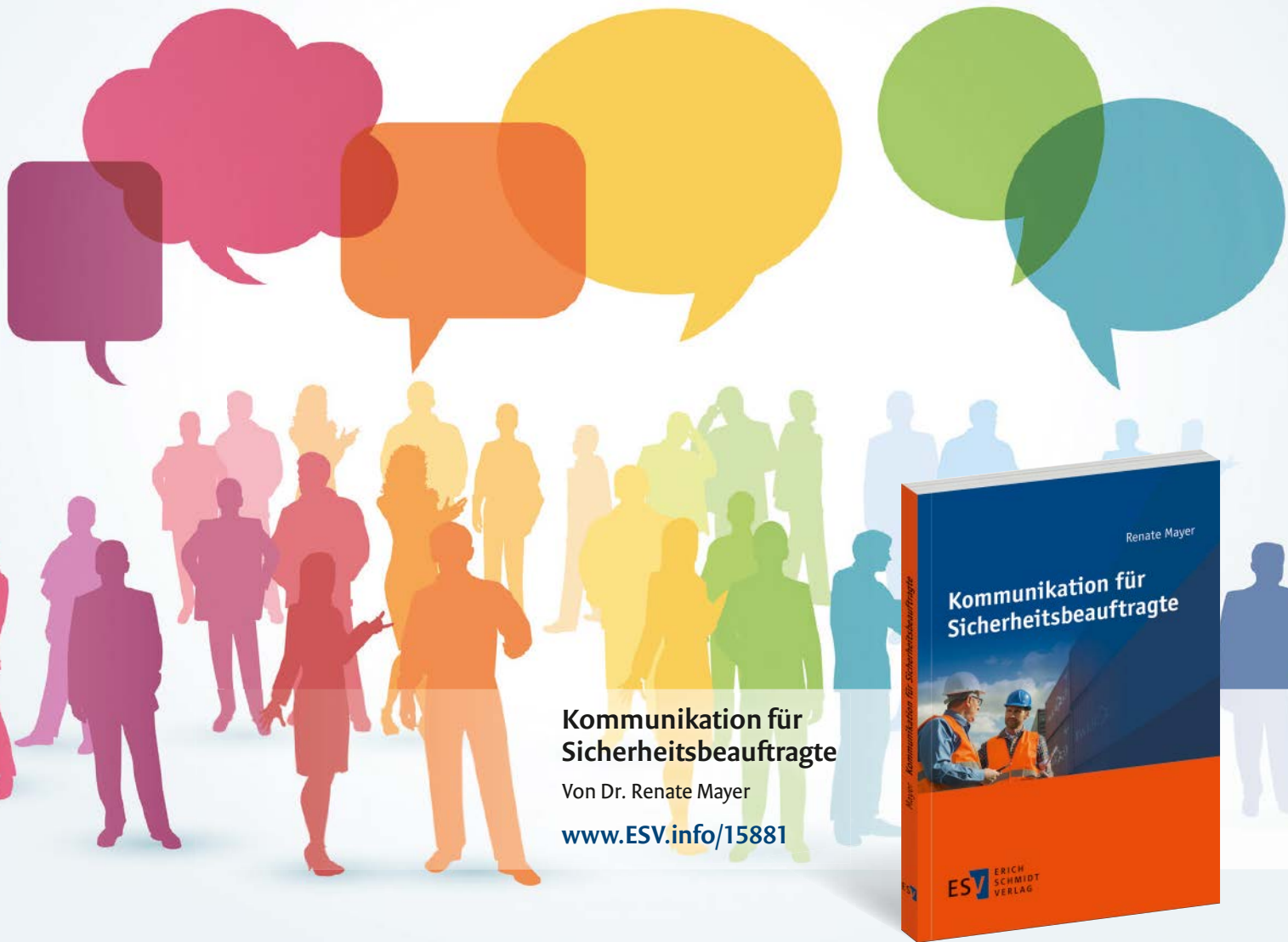
Lizenziert für BAUA.
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.
In Kooperation mit:



68. Jahrgang
Juli/August 2017
ISSN 2199-7330
1424

sicher ist sicher

www.SISdigital.de



Kommunikation für Sicherheitsbeauftragte

Von Dr. Renate Mayer

www.ESV.info/15881



Gesundheitsförderung und
Organisationsentwicklung **310**
Elektromagnetische Felder **330**

UV-Strahlung bei Tätigkeiten
im Freien **318**
Beurteilung der optischen
Strahlungsbelastung beim Schweißen **322**

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG



© BAUA

STEFAN BAUER · GÜNTER OTT

Schnell & unkompliziert – Vereinfachte Beurteilung der optischen Strahlungsbelastung beim MSG-Schweißen

Sowohl für den professionellen Schweißer, als auch für den privaten Bastler in der Hobbywerkstatt ist klar: Schweißen ist eine nicht ungefährliche Fügetechnik. Neben der Entstehung von giftigem Rauch oder der Verwendung hoher Schweißstromstärken muss vor allem auch optische Strahlung als Risikofaktor betrachtet werden. Neue Untersuchungen der BAuA zeigen, dass hierfür eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung ohne eigenständige Messung möglich ist.

Ausgangssituation, Handlungsbedarf und Ziele

Der Begriff „optische Strahlung“ bezeichnet den Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Spektrums zwischen 100 nm und 1 mm (Abb. 1), welcher wiederum in ultraviolette (UV, 100–400 nm), sichtbare (VIS, 380–780 nm) und infrarote Strahlung (IR, 780 nm–1 mm) unterteilt ist. UV- und IR-Strahlung sind gemäß ihrer biolo-

gischen Wirkungen nochmals in drei Spektralbereiche untergliedert [1].

Die Emission optischer Strahlung vom Schweißlichtbogen wurde zum ersten Mal verstärkt in den 1980iger Jahren untersucht. Die daraus resultierenden Publikationen zeigten deutlich das hohe Gefährdungspotential für Schweißer auf [2]. Der damalige Forschungsschwerpunkt lag allerdings fast ausschließlich

auf Untersuchungen zur UV-Emission und berücksichtigte kaum sichtbare oder infrarote Strahlungsanteile [3].

In den darauf folgenden Jahren und Jahrzehnten nahm das Forschungsinteresse an optischer Strahlungsemission beim Schweißen stetig ab, was sich in einem Rückgang fachspezifischer Veröffentlichungen widerspiegelte. Technologischer Fortschritt findet allerdings auch im Bereich der Schweißtechnik statt, z. B. mit neuen Metallschutzgas (MSG-)Prozessvarianten wie etwa CMT-Schweißen (engl.: Cold Metal Transfer) oder aber mit modernen Hybridschweißverfahren. Für eine zeitgemäße Gefährdungsbeurteilung der Exposition des Schweißers gegenüber optischer Strahlung vom Lichtbogen ist die heute vorhandene Datenbasis deswegen teilweise überholt bzw. überhaupt noch nicht vorhanden. Hinzu kommt, dass modernes optisches Mess-equipment bessere Möglichkeiten der Datenerfassung bietet, als dies z. B. vor etwa 30 Jahren der Fall war.

Basierend auf dieser Ausgangssituation startete die BAuA ein Projektbündel zum Thema „Optische Strahlungsbelastung beim Schweißen“ mit dem übergeordneten Ziel, den Schutz des Arbeitnehmers vor Gefährdungen durch inkohärente optische Strahlung zu verbessern (Abb. 2). Der Begriff „inkohärent“ bezieht sich hierbei im Gegensatz zur (kohärenten) Laserstrahlung auf die gleichzeitige Strahlungsemission bei vielen verschiedenen Wellenlängen. Hauptaugenmerk der Untersuchungen lag auf der Strahlungsexposition des Schweißers selbst, aber auch weitere Beschäftigte an benachbarten Arbeitsplätzen oder auf Verkehrswegen wurden hinsichtlich einer Gefährdung durch optische Strahlung betrachtet.

Aufgrund des Umfangs der erhobenen experimentellen Daten können für den vorliegenden Artikel nur ausgewählte Erkenntnisse aus dem Projekt F 2368 „Erfassung der optischen Strahlungsbelastung“ präsentiert werden. Wesentliche Bestandteile hierin waren eine umfassende Aktualisierung der Datengrundlage zur optischen Strahlungsemission beim Lichtbogenschweißen, eine mathematische Beschreibung der Emissionsintensität als Funktion der Schweißstromstärke [4] sowie eine abschließende Validierung der daraus abgeleiteten Emissionsmodelle in der Praxis. Weitere Informationen zum Projektbündel sowie zu den aktuell laufenden Teilprojekten F 2377 und F 2422 können im Abschlussbericht des ersten Teilprojektes nachgelesen werden [5].

Messplan und Schweißvorrichtung

Die für eine grundlegende Aktualisierung der Datenbasis zur optischen Strahlungsbelastung notwendigen experimentellen Untersuchungen müssen vor allem verschiedene Schweißverfah-

ren mit entsprechenden Prozessvarianten auf ausgewählten Werkstoffen unter Variation der Schweißstromstärke berücksichtigen. Diese und zusätzliche Einflussparameter auf die Strahlungsemission, wie etwa der Anstellwinkel des Schweißbrenners, die Lichtbogenlänge oder die Verwendung verschiedener Schutzgase, wurden in enger Absprache mit Schweißfachingenieuren einer schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt auf praxisrelevante und am häufigsten in der Industrie verwendete Werte begrenzt. Abb. 3 gibt eine schematische Darstellung des Messplanes wider.

Entsprechend des Umfangs dieser Untersuchungen und der damit verbundenen großen Datenmenge können für diesen Beitrag nur die Ergebnisse der MSG-Verfahren, respektive Metallaktivgas- (MAG-), Metallinertgas- (MIG-) und CMT-Schweißen, erörtert werden. Die dafür zugrunde liegenden Variationsparameter sind die Schweißstromstärke, der Werkstoff [Bau- und Edelstahl (S235, CrNi), Aluminium (Al)] und die verwendete Prozessvariante (Standard und gepulstes Verfahren).

Alle Messungen der vom Lichtbogen emittierten optischen Strahlung fanden an einer halbautomatischen Schweißanlage statt (Abb. 4a). Mit Hilfe einer sich mit konstanter Rotationsgeschwindigkeit drehenden Rohrschweißvorrichtung konnte ein ortsfester Lichtbogen für ca. eine Minute stabil aufrechterhalten werden. Nach einer vollständigen Umdrehung wurde der Schweißbrenner entlang der Längsrichtung des Rohres versetzt, um nicht auf einer bereits bestehenden Schweißnaht schweißen zu müssen. Abb. 4b zeigt ein durch mehrfache Schweißvorgänge bearbeitetes Rohr. Eine genaue Beschreibung der verwendeten optischen Messtechnik ist in [6] zu finden.

Relevante Expositionsgrenzwerte

Bei einer Beurteilung der Gefährdungen durch optische Strahlung beim Lichtbogenschweißen ist die EU-Richtlinie 2006/25/EG [1] sowie deren Umsetzung in nationales Recht durch die „Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV“ [7] zu beachten. Umfangreiche Konkretisierungen dieser gesetzlichen Vorschriften können in den „Technischen Regeln zu inkohärenter optischer Strahlung (TROS IOS)“ [8] nachgelesen werden. Dabei basieren die entsprechenden Expositionsgrenzwerte (EGW) grundsätzlich auf den aktuellen Empfehlungen der „International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection“ [9, 10], wobei speziell für IR-Strahlung aus Sicht des deutschen Arbeitsschutzes zusätzlicher Regelungsbedarf besteht [11] und in dieser sis-Ausgabe in einem separaten Artikel näher erörtert wird [12].

DIE AUTOREN



Dr. Stefan Bauer

Stefan Bauer graduierte 2011 im Diplomstudiengang Physik an der Technischen Universität Dortmund. In den folgenden Jahren lag sein Forschungsschwerpunkt im Bereich molekularer Dynamik biologischer Modellsysteme, welcher ihm 2015 den Abschluss seiner Promotion ermöglichte. Seitdem arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Gruppe „Physikalische Faktoren“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), wo er u. a. mit Forschungs- und Entwicklungsfragen zur Arbeitssicherheit beim Umgang mit optischer Strahlung beschäftigt ist.



Günter Ott

Studium zum Dipl.-Ing. Physikalische Technik (FH) an der Fachhochschule Iserlohn. Seit 1978 ist er bei der BAuA in der Gruppe Physikalische Faktoren beschäftigt. Sein Schwerpunkt liegt im Kompetenzfeld Optische Strahlung. Zu seinen Aufgaben zählt die Mitarbeit in Gremien zur Normung und technischen Regelsetzung, sowie die Initiierung und Betreuung von Forschungsprojekten. Sein Arbeitsschwerpunkt im Rahmen der Politikberatung liegt in der Unterstützung des BMAS zur Fortentwicklung und Umsetzung von Vorschriften und EU-Richtlinien.

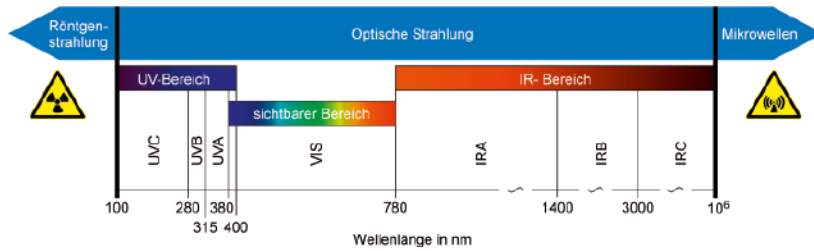


Abb. 1: Übersicht der verschiedenen Spektralbereiche optischer Strahlung.

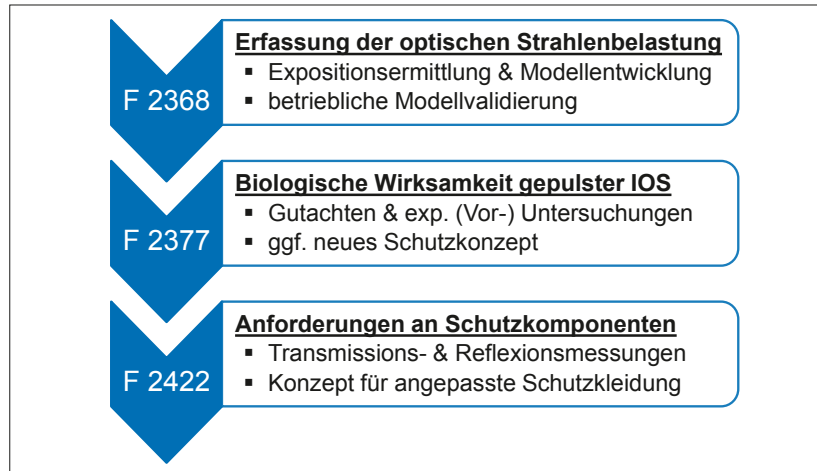


Abb. 2: Schematische Abfolge des Projektbündels zur Verbesserung des Schutzes von Schweißern und anderer Beschäftigter vor inkohärenter optischer Strahlung.

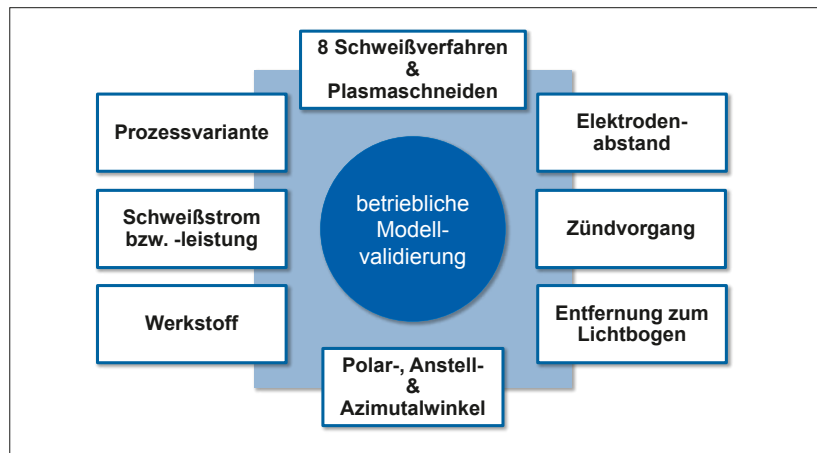


Abb. 3: Schematische Darstellung des Messplanes für das Forschungsvorhaben F 2368.

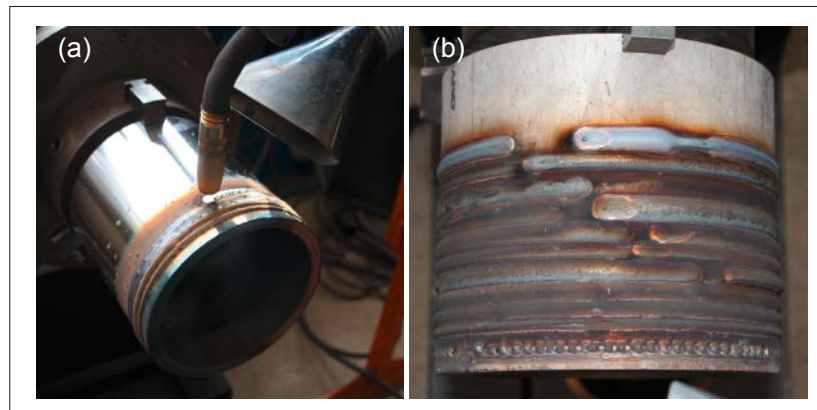


Abb. 4: (a) Rohrerschweißvorrichtung mit Schweißbrenner und Absaugvorrichtung. (b) Abhängigkeit der Schweißnahtform von der eingestellten Schweißstromstärke.

Strahlungsemission und maximal zulässige Expositionsdauer

Die Erfassung der optischen Strahlungsemission des Lichtbogens beim MSG-Schweißen erfolgte durch Messung der spektralen Bestrahlungsstärke, d.h. eines Schweißspektrums [6] sowie durch Detektion infraroter Strahlungsanteile bis 3000 nm mit Hilfe eines Integralmessgerätes [5]. Die anschließende Analyse der Emissionsdaten wurde gemäß OStrV durchgeführt, wobei die wesentlichen EGW durch die aktinische Bestrahlung, die blaulichtgewichtete Bestrahlungsstärke und den IR-Bestrahlungswert für die Haut gegeben sind. Deutlich anschaulicher als diese optischen Messgrößen und für betriebliche Zwecke besser handhabbar ist die Angabe einer maximal zulässigen Expositionsdauer (MZE) bis zum Erreichen des jeweiligen EGW.

Für die MSG-Verfahren MAG-, MIG- und CMT-Schweißen in Kombination mit den Werkstoffen Bau- und Edelstahl sowie Aluminium sind in Tab. 1 MZE-Werte erfasst. Zur besseren tabellarischen Darstellung wurde der praxisrelevante Stromstärkebereich je nach Schweißverfahren und Prozessvariante in niedrige, mittlere und hohe Schweißströme unterteilt. Dies hat den Vorteil, dass für mehrere Schweißstromstärken ein MZE-Wert angegeben werden kann, wodurch die Beurteilung der Strahlungsgefährdung deutlich vereinfacht wird. Für niedrige Stromstärken im jeweiligen Bereich führt dies allerdings zu einer Überbewertung der Gefährdung.

Beim Blick auf Tab. 1 fällt schnell auf, dass unabhängig vom Schweißverfahren, der Prozessvariante oder den Werkstoffen die UV-EGW die restriktivsten sind, gefolgt von den VIS-EGW mit entsprechenden MZE-Werten im Millisekunden- bis Sekundenbereich. Für IR-Strahlung liegt dagegen erst im Minuten- bis Stundenbereich eine Überschreitung der EGW vor. Die höchsten optischen Strahlungsemissionen und die damit verbundenen kürzesten MZE-Werte (0,13 s) wurden beim gepulsten MAG-Schweißen von Baustahl und beim gepulsten MIG-Schweißen von Aluminium bei hohen Schweißstromstärken gemessen. Generell zeigte sich bei allen untersuchten Schweißverfahren, dass die gepulste Prozessvariante strahlungsintensiver als der Standardprozess ist. Eine eindeutige Tendenz bezüglich eines Werkstoffes ist aus den vorliegenden Daten nicht zu erkennen. Zu beachten ist, dass die mathematischen Beziehungen zwischen Schweißstromstärke und MZE-Wert hochgradig nicht-linear sind und, basierend auf den in Tab. 1 erfassten Daten, dies keine Extrapolation der MZE-Werte zu größeren oder kleineren Schweißströmen gestattet.

Beispiel einer vereinfachten Expositionsabschätzung

Im Folgenden soll anhand eines einfachen Beispiels die Strahlungsexposition in einer Schweißwerkstatt abgeschätzt werden. Dabei steht allerdings nicht der Schweißer selbst im Mittelpunkt, der durch persönliche Schutzausrüstung (PSA) ausreichend geschützt sein sollte, sondern ein Vorarbeiter auf seinem Kontrollgang durch die Schweißwerkstatt. Dort passiert er im Abstand von jeweils 2 m zunächst einen CMT- ($I = 185 \text{ A}$, S235, gepulste Prozessvariante) und dann einen MIG-Schweißarbeitsplatz ($I = 270 \text{ A}$). Da die Abschirmung des Lichtbogens durch Schweißvorhänge unvollständig ist, wird der Vorarbeiter der optischen Strahlung für jeweils etwa 1 s ausgesetzt.

Für eine Abschätzung des größten Gefährdungspotentials ist der restriktivste MZE-Wert zu betrachten. Entsprechend dem oben erwähnten CMT-Schweißvorgang entnimmt man aus Tab. 1 im UV-Spektralbereich einen UV-MZE-Wert von 0,19 s, für den MIG-Schweißprozess analog 0,13 s. Da diese Expositionsdauern für einen Abstand von 50 cm bestimmt wurden, der Vorarbeiter aber in 2 m Entfernung die Arbeitsplätze passiert, muss das photometrische Entfernungsgesetz berücksichtigt werden. Dies besagt, dass bei n -fachem Abstand zur Strahlungsquelle der MZE-Wert um den Faktor n^{-2} abnimmt. Im vorliegenden Beispiel mit vierfachem Abstand (2 m zu 50 cm aus Tab. 1) resultiert somit eine Verlängerung der UV-MZE-Werte um das 16-fache, d. h. für den Vorarbeiter fände eine Überschreitung des UV-Expositionsgrenzwertes beim Passieren des CMT-Schweißarbeitsplatzes nach 3,0 s statt, für den MIG-Schweißarbeitsplatz nach 2,1 s.

Diese einfache Rechnung zeigt, dass für den Vorarbeiter, der der optischen Strahlung der Lichtbögen jeweils ca. 1 s ausgesetzt ist, die EGW für die einzelnen Schweißvorgänge eingehalten werden. Da er aber direkt nacheinander an beiden Arbeitsplätzen vorbeigeht, kommt es zusätzlich zu einem kumulativen Effekt: 33 % ($1 \text{ s}/3 \text{ s}$) seiner maximal zulässigen UV-Expositionsdauer wird beim Passieren der CMT-Schweißung erreicht, beim MIG-Schweißarbeitsplatz nochmals ca. 48 % ($1 \text{ s}/2,1 \text{ s}$). Mit einer Ausschöpfung von insgesamt 81 % der MZE würde es somit bei einem weiteren Rundgang des Vorarbeiters in der Schweißwerkstatt definitiv zu einer EGW-Überschreitung kommen.

Schutzmaßnahmen

Als Konsequenz dieser Berechnung folgt, dass der Vorarbeiter bei seinen mehrmals täglich stattfindenden Kontrollgängen besser vor optischer Strahlung geschützt werden muss. Eine einfache aber effektive technische Schutzmaß-

MAG		Standardprozess			gepulstes Verfahren		
		$I < 200 \text{ A}$	$I < 260 \text{ A}$	$I < 320 \text{ A}$	$I < 200 \text{ A}$	$I < 275 \text{ A}$	$I < 350 \text{ A}$
UV	S235	1,2 s	0,54 s	0,24 s	0,46 s	0,23 s	0,13 s
	CrNi	1,2 s	0,80 s	0,80 s	0,55 s	0,35 s	0,28 s
VIS	S235	10 s	3,5 s	1,9 s	4,2 s	2,1 s	1,3 s
	CrNi	12 s	4,2 s	3,1 s	8,6 s	3,7 s	2,6 s
IR	S235	98 min	27 min	17 min	43 min	25 min	14 min
	CrNi	98 min	27 min	14 min	42 min	21 min	14 min

MIG (Al)		gepulstes Verfahren		
		$I < 180 \text{ A}$	$I < 240 \text{ A}$	$I < 290 \text{ A}$
UV		0,36 s	0,19 s	0,13 s
VIS		8,2 s	4,6 s	3,1 s
IR		11 min	5,2 min	3,0 min

CMT		Standardprozess			gepulstes Verfahren		
		$I < 140 \text{ A}$	$I < 200 \text{ A}$	$I < 240 \text{ A}$	$I < 110 \text{ A}$	$I < 180 \text{ A}$	$I < 240 \text{ A}$
UV	S235	0,95 s	0,39 s	0,30 s	0,60 s	0,29 s	0,19 s
	Al	-	-	-	0,60 s	0,38 s	0,19 s
VIS	S235	12 s	3,8 s	2,8 s	6,1 s	3,1 s	2,0 s
	Al	-	-	-	15 s	7,7 s	3,9 s
IR	S235	46 min	13 min	8,6 min	24 min	9,0 min	5,7 min
	Al	-	-	-	24 min	9,0 min	4,7 min

Tab. 1: Maximal zulässige Expositionsdauern (MZE) beim MAG-, MIG- und CMT-Schweißen von Baustahl (S235), Edelstahl (CrNi) und Aluminium (Al) in Abhängigkeit von der Schweißstromstärke für den ultravioletten, sichtbaren und infraroten Spektralbereich. Die aufgelisteten MZE-Werte entsprechen dem Minimalwert für die entsprechend dem jeweiligen Stromstärkebereich höchste Schweißstromstärke. Alle Strahlungsdaten basieren auf einem Messabstand von 50 cm.

nahme wäre, die vom Vorarbeiter passierten Schweißarbeitsplätze besser nach Außen gegenüber optischer Strahlung abzuschirmen. Gemäß dem STOP-Prinzip in Abb. 5 sind auch organisatorische Schutzmaßnahmen, wie etwa ein Pausieren des Schweißbetriebes bei Anwesenheit des Vorarbeiters, denkbar.



Abb. 5: Exemplarische Umsetzung des STOP-Prinzips beim Schweißen

Zusammenfassung

Durch die experimentellen Untersuchungen im Rahmen des BAuA-FuE-Projektes F 2368 „Optische Strahlungsbelastung beim Schweißen“ konnte eine umfassend aktualisierte Datenbasis geschaffen werden, die Vorgesetzten oder Sicherheitsfachkräften schnell und ohne eigene Messungen eine Abschätzung der Strahlungsexposition des Schweißers, aber auch weiterer Beschäftigter an benachbarten Arbeitsplätzen oder auf Verkehrswegen ermöglicht. Neben Schweißverfahren mit nicht-abschmelzender Elektrode (z. B. Wolfram inertgasschweißen) oder Schweißtechniken mit Laserstrahlung wurden vor allem MSG-Verfahren hinsichtlich ihrer optischen Strahlungsemission untersucht und anschließend bewertet.

Wesentlicher Bestandteil des Projektes war eine umfassende Aktualisierung der Datengrundlage zur optischen Strahlungsemission beim Lichtbogenschweißen.

Eine detaillierte Analyse der optischen Strahlungsdaten führte zu drei mathematischen Emissionsmodellen. Dabei zeigte sich, dass eine Erhöhung der Schweißstromstärke eine stark nicht-lineare Verringerung der maximal zulässigen Expositionsdauern mit sich bringt. Außerdem sind gepulste Prozessvarianten stets mit einer höheren Emission von optischer Strahlung verbunden als der Standardprozess. Insgesamt ist eine Überschreitung der UV-Expositionsgrenzwerte bereits nach Bruchteilen einer Sekunde möglich. ■

LITERATUR

- [1] 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). Amtsblatt der Europäischen Union L 114/38, 38-59 (27.4.2006).
- [2] D. Sliney und M. Wolbarsht, *Welding Arcs. In: Safety with Lasers and other Optical Sources*. New York: Plenum Press, 801-859 (1980).
- [3] T. Okuno, *Measurement of Blue-Light Effective Radiance of Welding Arcs*. *Industrial Health* 24(4), 213-226 (1986).
- [4] S. Bauer, M. Janßen, M. Schmitz und G. Ott, *Mathematical Modeling of Optical Radiation Emission as a Function of Welding Power During Gas Shielded Metal Arc Welding*. *Health Physics* (2017), akzeptiert.
- [5] S. Bauer, G. Ott, M. Janßen, M. Schmitz und U. Mückenheim, *Optische Strahlenbelastung beim Schweißen – Erfassung und Bewertung*. *baua: Bericht*(2017). doi:10.21934/baua-bericht20170523
- [6] G. Ott und S. Bauer, *Neue Erkenntnisse zur Belastung durch optische Strahlung beim Schweißen*. *Technische Sicherheit* 7(3), 46-51 (2017).
- [7] *Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 690), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 30. November 2016 (BGBl. I S. 2681) geändert worden ist)*.
- [8] *Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS IOS)*. *Gemeinsames Ministerialblatt* 65-67, 1302-1366 (2013). www.baua.de/tros
- [9] *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths between 180 nm and 400 nm*. *Health Physics* 87(2), 171-186 (2004).
- [10] *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation*. *Health Physics* 105(1), 74-96 (2013).
- [11] H.-P. Berlien, M. Brose, J. Franek, M.-J. Graf, W. Halbritter, W. Janßen, G. Ott, H.-D. Reidenbach, E. Romanus, B. Schmitz, H. Siekmann, L. Udovicic und D. Weiskopf, *Statement on ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent optical radiation*. *baua: Focus* (Mai 2016).
- [12] Ljiljana Udovicic, *Stellungnahmen des AKNIR zu den ICNIRP Grenzwert-Empfehlungen*. *sicher ist sicher* 07-08/2017, S. 327