
Leitfaden für Laserschutzbeauftragte

Claudia Schneeweiss · Jürgen Eichler ·
Martin Brose

Leitfaden für Laserschutzbeauftragte

Ausbildung und Praxis

2. Auflage

 Springer Spektrum

Claudia Schneeweiss
Berliner Hochschule für Technik
Berlin, Deutschland

Jürgen Eichler
Berliner Hochschule für Technik
Berlin, Deutschland

Martin Brose
Fachkompetenzcenter Strahlenschutz, BG
Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse
Köln, Deutschland

ISBN 978-3-662-63197-3 ISBN 978-3-662-63198-0 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63198-0>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2017, 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Margit Maly

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Der Arbeitsschutz in Deutschland zählt zu den Errungenschaften unserer modernen Welt. Damit dies auch so gesehen wird, ist eine enge Kooperation zwischen Vorgesetzten, Beschäftigten und Arbeitssicherheitsexperten wie dem Laserschutzbeauftragten nötig. Die Einbindung der Beschäftigten bereits in den Anschaffungsprozess eines Arbeitsmittels und die frühzeitige Diskussion über Gefährdungen und Schutzmaßnahmen erzeugen in der Regel ein hohes Maß an Einsicht, Akzeptanz und Disziplin in der betrieblichen Umsetzung. Die Funktion der Laserschutzbeauftragten hat einen hohen Stellenwert, da deren verantwortungsvolle Tätigkeit dazu beiträgt, die Beschäftigten in Sachen Laserschutz zu sensibilisieren und dadurch schwere Unfälle, bis hin zur Erblindung, zu verhindern.

Dieses Buch richtet sich an angehende und praktizierende Laserschutzbeauftragte aller Bereiche, in denen der Laser als Arbeitsmittel eingesetzt wird. Es soll zum einen als Grundlage für die Ausbildung dienen und zum anderen ein Nachschlagewerk sein, in dem die wichtigsten Themen des Laserschutzes leicht verständlich vorgestellt werden. Weiterhin soll es die Neugier wecken, sich mit weiterführender Literatur zum Thema Laserschutz zu beschäftigen und das Wissen regelmäßig zu vertiefen, um die Gefährdungen durch Laserstrahlung zu verstehen und die in der Gefährdungsbeurteilung festgelegten Schutzmaßnahmen richtig umsetzen zu können. Das Buch umfasst 10 Kapitel, an deren jeweiligem Ende das Wissen durch Fragen zum Thema überprüft werden kann.

Das Kernstück des Arbeitsschutzes ist die Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung eines Arbeitsplatzes. Diese wird von fachkundigen Personen erarbeitet, welche der Unternehmer selbst oder von ihm beauftragte Personen sein können. In der Gefährdungsbeurteilung werden alle möglichen Gefährdungen aufgelistet und dazu Schutzmaßnahmen entwickelt, welche dann von den Laserschutzbeauftragten in die Praxis umgesetzt werden. Die Laserschutzbeauftragten sind an der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung beteiligt und müssen deshalb mit den Inhalten vertraut sein.

Der Aufbau des Buches ist eng an die *Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV)* angelehnt und entspricht den Ausbildungsinhalten unserer Laserschutzkurse. Das Buch ist daher auch gut geeignet, gesetzlich gefordertes Wissen aufzufrischen und zu ergänzen. Wir haben versucht,

weitestgehend auf komplizierte Darstellungen und Berechnungen zu verzichten, da diese eher in den Aufgabenbereich der sogenannten fachkundigen Personen gehören. Das Material für das Buch stammt aus Büchern und Veröffentlichungen, welche hinter jedem Kapitel in einer Literaturliste angegeben werden.

Als Einstieg in das Thema werden in Kap. 1 die physikalischen Grundlagen der Laserstrahlung erläutert. Dieses Wissen ist notwendig, da die besonderen Eigenschaften der Laserstrahlung wie z. B. die Wellenlänge, die geringe Divergenz, hohe Leistungs- bzw. Energiedichten zum einen die vielfachen Anwendungen des Lasereinsatzes ermöglichen, zum anderen aber auch die Grundlage des Gefährdungspotenzials darstellen. Nach einer kurzen Einführung in die Begrifflichkeit und die Funktion des Lasers werden dessen Eigenschaften erläutert und der Unterschied zwischen kohärenter und inkohärenter Strahlung beschrieben. Danach wird auf den Aufbau und die Funktion eingegangen. Weiterhin werden verschiedene Lasersysteme vorgestellt, es werden die Strahlparameter wie Strahlradius und Strahldivergenz beschrieben und die Strahlführung durch Linsen und Fasern bearbeitet.

Kap. 2 beschäftigt sich mit den biologischen Wirkungen der Laserstrahlung, welche zum Verständnis der Entstehung eines Laserschadens benötigt werden. Zunächst wird auf die optischen Eigenschaften von Gewebe wie Absorption, Streuung und Reflexion von optischer Strahlung eingegangen und im Anschluss daran ein Überblick über die verschiedenen Wechselwirkungen von Laserstrahlung mit Gewebe gegeben. Je nach Bestrahlungsdauer und Leistungs- bzw. Energiedichte kommt es zu unterschiedlichen Gewebsreaktionen wie der thermischen Wirkung, der photochemischen Wirkung und nichtlinearen Effekten, welche bei sehr hohen Intensitäten auftreten können. Da die Art der Wirkung auch von der Eindringtiefe und somit von der Wellenlänge der Strahlung abhängt, wird auch darauf intensiv eingegangen. Weiterhin wird eine Übersicht über den Schadensort (Auge oder Haut) und die jeweilige Wirkung gegeben. Übungen und Lösungen runden das Thema ab.

Die meisten Anforderungen im Arbeitsschutz ergeben sich aus gesetzlichen Bestimmungen. Kap. 3 liefert hierzu wichtige Informationen der rechtlichen Grundlagen des Laserschutzes. Es werden die wesentlichen Merkmale des dualen Arbeitsschutzsystems in Deutschland erklärt, die wichtigsten Gesetze und Verordnungen betrachtet und im Anschluss daran wird auf die im Laserschutz spezifischen Regelungen eingegangen. Von großer Bedeutung ist hierbei die Verordnung zum Schutz der Arbeitnehmer vor künstlicher optischer Strahlung (OStrV) und deren Konkretisierung durch die *Technischen Regeln Laserstrahlung (TROS Laser)*, deren Inhalte beschrieben werden. Die aktuelle OStrV findet man auch im Anhang A. Eine weitere wichtige Rolle im Arbeitsschutz spielt die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), deren Vorschriften, Informationen und Regeln ebenfalls aufgezeigt und besprochen werden. Abgerundet wird das Kapitel mit Informationen zu den im Laserschutz anwendbaren Normen, welche vor allem für die Hersteller von Laseranlagen von Bedeutung sind, aber auch den Laserschutzbeauftragten wichtige Informationen liefern können.

Ein wirkungsvolles Instrument, die Beschäftigten vor Gefährdungen zu schützen, ist die Beachtung von Grenzwerten. In Kap. 4 wird zunächst der Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) eingeführt. Dieser hängt in komplizierter Art und Weise von der Bestrahlungsstärke bzw. der Energiedichte und der Bestrahlungsdauer ab und wird vom Laserhersteller angewandt, um die Laser bzw. Lasersysteme in sogenannte Laserklassen einzuteilen. Für die Anwender sind die Laserklassen ein erster Hinweis auf die Gefährdung, die von dem Lasergerät ausgehen kann. Es wurde ein System von 8 Laserklassen entwickelt, wobei die Gefährdung von unten (Klasse 1) nach oben (Klasse 4) steigt. Für eine bessere Verständlichkeit werden die Voraussetzungen für die Laserklassen beschrieben und beispielhaft Grenzwerte berechnet und aufgezeigt. Die Klassifizierung ist sehr aufwendig und erfordert viel Fachwissen und die nötige Infrastruktur zur Messung der Laserstrahlung. Daher wird diese Aufgabe meist von Experten übernommen. Um einen kleinen Einblick zu bekommen, wird in Anhang A.2 ein einfaches Beispiel einer Klassifizierung beschrieben.

Der für die Laserschutzbeauftragten wichtigere Grenzwert ist der in Kap. 5 beschriebene sogenannte Expositionsgrenzwert (EGW), welcher die Grenzen von Leistungs- bzw. Energiedichte angibt, ab welchen mit einem Augen- bzw. Hautschaden zu rechnen ist. Es werden typische Expositionsdauern aufgezeigt und die sogenannte „scheinbare Quelle“ erklärt, welche die Größe des Netzhautbildes bestimmt und Einfluss auf die Höhe des EGW hat. Im Anschluss daran wird erklärt, wie Expositionsgrenzwerte sowohl anhand einer vereinfachten Tabelle als auch ausführlichen Tabellen aus der *TROS Laserstrahlung* (Teil 2) ermittelt werden können. Dies wird anhand eines Beispiels verdeutlicht. Abschließend werden die Einflüsse der Expositionsdauer und mehrerer Wellenlängen auf den EGW skizziert.

Kap. 6 beschreibt mögliche Gefährdungen durch Laserstrahlung, welche die Grundlage der Gefährdungsbeurteilung eines Laserarbeitsplatzes darstellen. Es wird zwischen direkter und indirekter Gefährdung unterschieden. Die direkte Gefährdung entsteht durch direkte, reflektierte oder gestreute Laserstrahlung. Sie betrifft nur die Augen und die Haut, da die Laserstrahlung relativ schnell vom Gewebe absorbiert wird und nicht zu den Organen vordringen kann. Der Schaden wird durch die Laserstrahlung selbst verursacht und kann je nach Wellenlänge unterschiedliche Bereiche betreffen. Es wird beschrieben, welche Gefährdungen bei der Einwirkung von Laserstrahlung im UV-Bereich, im sichtbaren- und im infraroten Bereich auf Auge und Haut auftreten und welche Wirkung diese haben kann.

Daneben gibt es noch weitere Handlungsfelder durch verschiedene indirekte Gefährdungen, die beim Einsatz von Laseranlagen auftreten können. Da jeder Laser ein elektrisches Gerät ist, muss die elektrische Sicherheit beachtet werden. Dies ist jedoch nicht die Aufgabe der Laserschutzbeauftragten, sondern die von Fachkräften für elektrische Sicherheit. In Expertenkreisen inzwischen unbestritten ist die indirekte Gefährdung durch die Blendung im sichtbaren Wellenlängenbereich. Bereits sehr kleine Laserleistungen können dazu führen, dass Personen

nach einer Bestrahlung der Augen einige Minuten lang nichts sehen. Dies ist in verschiedenen Arbeitssituationen wie z. B. dem Führen eines Fahrzeugs oder dem Arbeiten auf Leitern ein ernst zu nehmendes Problem, da die Sehbehinderung zu einem Unfall führen kann. Eine weitere indirekte Gefährdung kann durch inkohärente optische Strahlung entstehen, wie sie z. B. beim Schweißen von Materialien entsteht. Dort, wo mit extrem kurz gepulster Laserstrahlung gearbeitet wird, ist außerdem mit der Entstehung von Röntgenstrahlung zu rechnen. Kann dies nicht ausgeschlossen werden, so ist ein Strahlenschutzbeauftragter hinzuzuziehen, der die Gefährdung beurteilen und gegebenenfalls Schutzmaßnahmen festlegen muss. Weitere nicht zu unterschätzende Gefährdungen bestehen in der Brand- und Explosionsgefahr von Stoffen und Gemischen, welche durch Laserstrahlung in Brand gesetzt bzw. zur Explosion gebracht werden können, und die Entstehung von toxischen und infektiösen Stoffen bei der Einwirkung von Laserstrahlung.

Wurde im Unternehmen festgestellt, dass vom Laserarbeitsplatz Gefährdungen ausgehen, so müssen dementsprechende Schutzmaßnahmen getroffen werden, welche in Kap. 7 beschrieben sind. Bereits im Arbeitsschutzgesetz ist festgelegt, in welcher Reihenfolge Schutzmaßnahmen zu treffen sind. Es wird das sogenannte TOP-Prinzip gefordert, welches bedeutet, dass zunächst technische und bauliche, dann organisatorische und zuallerletzt persönliche Schutzmaßnahmen getroffen werden sollen. Im Laserschutz wurde dem TOP-Prinzip noch die sogenannte Substitution vorangestellt, was bedeutet, dass der Unternehmer vor dem Kauf bzw. Einsatz eines Arbeitsmittels prüfen soll, ob es ein geeignetes anderes Arbeitsmittel mit geringerer Gefährdung gibt, und dieses dementsprechend einsetzt. Die Struktur dieses Kapitels ist so aufgebaut, dass zunächst die Substitution mit Beispielen erklärt wird und dann verschiedene technische Schutzmaßnahmen beschrieben werden, welche aber nur eine Auswahl darstellen. Danach beschäftigt sich das Kapitel mit den organisatorischen Schutzmaßnahmen wie der Bestellung der Laserschutzbeauftragten, dem wichtigen Thema der Unterweisung der Mitarbeiter, dem Abgrenzen und Kennzeichnen des Laserbereichs sowie dessen Zugangsregelung. Es wird beschrieben, wie eine Betriebsanweisung für die Beschäftigten auszusehen hat, wann die Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge Anwendung findet und wie man sich nach einem Unfall verhalten muss. Der letzte Abschnitt widmet sich dem Thema der persönlichen Schutzmaßnahmen mit dem Schwerpunkt auf Laserschutzbrillen und Laserjustierbrillen. Um die richtigen Brillen anschaffen und beurteilen zu können, ist einiges an Wissen erforderlich. Es wird erklärt, nach welchem Prinzip Schutzbrillen arbeiten und was sich hinter der Kennzeichnung auf dem Gestell oder den Filtern verbirgt. Weiterhin werden beispielhaft mithilfe von Tabellen Schutzstufen von Brillen für den Schutz vor Strahlung aus Dauerstrich- und Impulslasern ermittelt. Zum Schluss werden Hinweise zum Arbeiten mit Schutzbrillen im Laserbereich gegeben und kurz auf Schutzkleidung eingegangen.

Kap. 8 beschäftigt sich mit den Aufgaben und der Verantwortung der Laserschutzbeauftragten. Es wird ein Überblick über die Themen der Bestellung der Laserschutzbeauftragten, deren erforderlichen Kenntnissen, den Aufgaben und

der Verantwortung gegeben. Auf die in vielen Jahren immer wieder auftauchenden Fragen aus der Praxis der Laserschutzbeauftragten wird, zusammen mit den Antworten, am Ende des Kapitels eingegangen.

In Kap. 9 wird das Thema Gefährdungsbeurteilung bearbeitet. Es wird geklärt, was darunter zu verstehen ist, welche Inhalte sie laut OStrV haben muss und wer an der Durchführung beteiligt wird. Die Gefährdungsbeurteilung muss nach § 3 und § 5 der OStrV von sogenannten fachkundigen Personen durchgeführt werden. Es wird beschrieben, wer eine solche Person ist und welche Kenntnisse sie haben muss. Weiterhin wird darauf eingegangen, nach welchen Grundsätzen man zu handeln hat, wie Informationen ermittelt werden und wie die Gefährdungsbeurteilung durchzuführen, zu dokumentieren und zu aktualisieren ist.

Das letzte Kap. 10 befasst sich mit den Bestimmungen für besondere Laseranwendungen. Es wird darauf eingegangen, welche speziellen Schutzmaßnahmen für Showlaser, Vermessungslaser, Laser zu Unterrichtszwecken, medizinische Laser und Laser für Lichtwellenleiterkommunikationssysteme zu treffen sind.

Um den Laserschutzbeauftragten die Arbeit zu erleichtern, wurden einige nützliche Dokumente entworfen und zusammengetragen, welche im Anhang zu finden sind. So findet man dort zum Beispiel den Entwurf einer tabellarischen Gefährdungsbeurteilung. Weiterhin gibt es Beispiele für die Bestellung von Laserschutzbeauftragten, für eine Betriebsanweisung und ein Unterweisungsprotokoll. Neben der OStrV findet man dort auch Tabellen, mit deren Hilfe Expositionsgrenzwerte berechnet werden können, Berechnungsbeispiele und eine Formelsammlung, in der die wichtigsten Berechnungsformeln zum Laserschutz zusammengetragen wurden.

Die Autorin und die Autoren haben sich mit dem Genderaspekt der Sprache befasst und soweit wie möglich genderneutrale Formen benutzt. Wo dies aus Gründen der Lesbarkeit nicht möglich ist, sind bei der Benutzung der männlichen Form immer auch die Frauen mit gemeint.

Berlin und Köln
im Frühling 2021

Claudia Schneeweiss
Jürgen Eichler
Martin Brose

Danksagung

Die Basis dieses Buches wurde durch eine langjährige Tätigkeit im Labor für Laseranwendungen der Beuth Hochschule für Technik Berlin gelegt und durch einen Kooperationsvertrag zwischen der Beuth Hochschule und der Akademie für Lasersicherheit gefördert. An der Entwicklung dieses Buches waren neben den Autoren viele weitere Menschen beteiligt, die durch thematische Diskussionen, Vorarbeiten auf dem Gebiet des Laserschutzes und mit Korrekturen geholfen haben, das Buch zu verwirklichen.

Ganz besonders möchten wir uns bei unseren Ansprechpartnerinnen vom Springer Verlag, Frau Margit Maly und Frau Stella Schmoll bedanken, die uns während des Entstehungsprozesses des Buches begleitet haben und uns immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

Ein großer Dank geht an Herrn Prof. Dr. Tassilo Seidler von der Beuth Hochschule für Technik Berlin, der uns mit Kompetenz und Fachwissen zum Thema biologische Wirkungen beraten hat.

Ein weiterer Dank richtet sich an Prof. Dr. Hans-Dieter Reidenbach von der Fachhochschule Köln, der uns fachkundig unterstützt hat und dessen jahrelange Forschungen auf dem Gebiet des Laserschutzes zum Inhalt dieses Buches beigetragen haben.

Bedanken möchten wir uns auch bei Herrn Christian Schäfer für die technische Unterstützung und bei Herrn Dr. Wolfgang Grothaus für seine stets hilfreiche Kritik und Anregungen.

Wichtige Unterstützung und Informationen haben wir in den vergangenen Jahren von Herrn Carsten Stoldt, Malte Gomolka und Thomas Kerkhoff von der BG ETEM, sowie von Frau Dr. Ljiljana Udovicic und Herrn Günter Ott von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erhalten, wofür wir uns herzlich bedanken.

Einige Bilder wurden uns von Firmen überlassen, die in den jeweiligen Bildlegenden zitiert sind. Auch ihnen gehört unser Dank.

Dieses Buch basiert auf den Kursen der Akademie für Lasersicherheit Berlin Brandenburg

Wir bilden Sie zu Laserschutzbeauftragten und Fachkundigen aus



Die Akademie bietet Ihnen wöchentlich Online und in Präsenz an:

- Allgemeine Laserschutzkurse
- Anwendungsbezogene Laserschutzkurse
- Auffrischkurse
- Fachkurse
- Inhouseschulungen



Informationen und Anmeldung unter
www.laserstrahlenschutz.com

Wir freuen uns auf Sie



Ihr Partner für Lasersicherheit: Von individuellen Schutzprodukten über elektronische Raumabsicherung bis zu

Laserschutzseminaren

Profitieren Sie von unseren
Online- und Präsenz-Veranstaltungen

Laserschutzbeauftragte für techn. Laseranwendungen

Erlangen Sie die erforderlichen Fachkenntnisse gemäß der Arbeitsschutzverordnung OStrV sowie die Sachkunde gemäß der Unfallverhütungsvorschrift DGUV Vorschrift 11.

Fortbildung für Laserschutzbeauftragte

Mindestens alle fünf Jahre sind Laserschutzbeauftragte verpflichtet, ihre Kenntnisse aufzufrischen. Verlassen Sie sich hierbei auf die Expertise unserer Fachleute.

Individuelle Laserschutzschulungen

Jeder Betrieb ist einzigartig, ebenso der Bedarf an Laserschutzschulungen und -unterweisungen. Wir schneiden unser Training speziell auf Sie zu.

Ihr Weg zu Schulungen in unserer Akademie, Laserschutzprodukten und allen Anwendungsprodukten aus der Photonik:

www.laser2000.de

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Eigenschaften von Laserstrahlung	1
1.1	Eigenschaften von optischer Strahlung	2
1.1.1	Wellenoptik	2
1.1.2	Inkohärente Strahlung (normale Lichtquellen)	5
1.1.3	Kohärente Strahlung (Laser)	6
1.1.4	Spontane Emission (normale Lichtquellen)	6
1.1.5	Stimulierte Emission (Laser)	7
1.2	Aufbau und Funktion eines Lasers	8
1.2.1	Lasermedium	8
1.2.2	Resonator	9
1.2.3	Energiezufuhr	10
1.2.4	Beschreibung von Lasertypen	10
1.2.5	Gaslaser	10
1.2.6	Festkörperlaser	13
1.2.7	Faserlaser	15
1.2.8	Scheibenlaser	16
1.2.9	Halbleiter- oder Diodenlaser	16
1.2.10	Flüssigkeits- oder Farbstofflaser	17
1.3	Eigenschaften von Laserstrahlung	18
1.3.1	Allgemeine Eigenschaften	18
1.3.2	Dauerstrichlaser: Leistung und Leistungsdichte	19
1.3.3	Impulslaser: Energie und Energiedichte	20
1.3.4	Parameter bei der Exposition	21
1.4	Strahlparameter und Ausbreitung von Laserstrahlung	22
1.4.1	Strahlradius	22
1.4.2	Strahldivergenz	23
1.4.3	Fokussierung durch eine Linse	24
1.4.4	Austritt aus einer optischen Faser	24
1.4.5	Sicherheitsabstand (NOHD)	24
1.5	Übungen	25
	Literatur	26

2	Biologische Wirkung von Laserstrahlung	27
2.1	Optische Eigenschaften von Gewebe	28
2.1.1	Absorption	30
2.1.2	Streuung	32
2.1.3	Reflexion	33
2.2	Wechselwirkung von Laserstrahlung und Gewebe	33
2.2.1	Thermische Wirkung	34
2.2.2	Fotochemische Wirkung	36
2.2.3	Fotoablation	37
2.2.4	Fotodisruption	38
2.2.5	Selektive Fotothermolyse	39
2.3	Gefährdungen des Auges	39
2.3.1	Eindringtiefen optischer Strahlung ins Auge	40
2.3.2	Bündelung von Laserstrahlung auf der Netzhaut	42
2.3.3	Thermische Schäden an der Netzhaut	44
2.3.4	Thermische Schäden an der Hornhaut	44
2.3.5	Fotochemische Schäden	45
2.4	Gefährdungen der Haut	45
2.4.1	Eindringtiefe optischer Strahlung in die Haut	45
2.4.2	Thermische Schäden der Haut	47
2.4.3	Fotochemische Schäden der Haut	47
2.4.4	Übersicht: Wirkung von Laserstrahlen	48
2.5	Übungen	48
	Literatur	50
3	Rechtliche Grundlagen	51
3.1	Staatliche Regelungen des Laserschutzes	53
3.1.1	EU-Richtlinie 2006/25/EG	53
3.1.2	Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)	55
3.1.3	Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV)	55
3.1.4	Betriebssicherheitsverordnung (BetrSiV)	56
3.1.5	Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	56
3.1.6	Technische Regeln Laserstrahlung (TROS Laser)	56
3.1.7	Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV)	57
3.2	Vorschriften- und Regelwerk der DGUV	60
3.2.1	DGUV-Vorschriften und Regeln	61
3.2.2	Fachausschussinformationen	62
3.3	Normen und Regeln der Technik	62
3.3.1	Normen zum Laserschutz	63
3.4	Übungen	65
	Literatur	66

4	Grenzwerte der zugänglichen Strahlung und Laserklassen	69
4.1	Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS)	70
4.1.1	Grenzwerte und Klassifizierung	70
4.1.2	Zeitbasen	70
4.2	Laserklassen	71
4.2.1	Klasse 1	72
4.2.2	Klasse 1C	74
4.2.3	Klasse 1 M	75
4.2.4	Klasse 2	78
4.2.5	Klasse 2 M	79
4.2.6	Klasse 3A (anzuwenden bis März 1997)	81
4.2.7	Klasse 3R	82
4.2.8	Klasse 3B	84
4.2.9	Klasse 4	85
4.3	Übungen	86
	Literatur	88
5	Expositionsgrenzwert (EGW)	91
5.1	Allgemeines über Expositionsgrenzwerte	92
5.1.1	Definition des Expositionsgrenzwertes	92
5.1.2	Expositionsdauer	93
5.1.3	Scheinbare Quelle, Korrekturfaktor C_E	94
5.2	Ermittlung der Expositionsgrenzwerte (EGW)	95
5.2.1	Vereinfachte Expositionsgrenzwerte	95
5.2.2	Einfluss der Expositionsdauer auf den Expositionsgrenzwert	97
5.2.3	Expositionsgrenzwerte bei mehreren Wellenlängen	98
5.2.4	Umgang mit den Expositionsgrenzwerten	99
5.3	Übungen	99
	Literatur	102
6	Gefährdungen durch Laserstrahlung	103
6.1	Direkte Gefährdung	104
6.1.1	Direkter, reflektierter und gestreuter Laserstrahl	104
6.1.2	Gefährdung von Auge und Haut	106
6.2	Indirekte Gefährdung	109
6.2.1	Elektrische Gefährdung	109
6.2.2	Blendung durch sichtbare Laserstrahlung	110
6.2.3	Inkohärente optische Strahlung	111
6.2.4	Röntgenstrahlung	112
6.2.5	Explosible Atmosphären und brennbare Stoffe	112
6.2.6	Toxische oder infektiöse Stoffe	114
6.2.7	Lärm	117
6.3	Übungen	117
	Literatur	119

7	Auswahl und Durchführung von Schutzmaßnahmen	121
7.1	Substitutionsprüfung	122
7.2	Technische Schutzmaßnahmen	124
7.2.1	Technische Schutzmaßnahmen des Herstellers	124
7.2.2	Technische Schutzmaßnahmen des Anwenders	128
7.3	Organisatorische Schutzmaßnahmen	134
7.3.1	Bestellung von Laserschutzbeauftragten	134
7.3.2	Unterweisung	134
7.3.3	Laserbereich	137
7.3.4	Zugangsregelung zu Laserbereichen	139
7.3.5	Betriebsanweisung	140
7.3.6	Arbeitsmedizinische Vorsorge	140
7.3.7	Verhalten nach einem Unfall	141
7.4	Persönliche Schutzausrüstung (PSA), insbesondere	
	Schutzbrillen	142
7.4.1	Anwendungsbereiche	142
7.4.2	Funktion von Laserschutzbrillen	142
7.4.3	Schutzstufen für Laserschutzbrillen	143
7.4.4	Schutzstufe für Dauerstrichlaser D	146
7.4.5	Schutzstufe für Impulslaser I und R	147
7.4.6	Schutzstufe für Impulslaser M	150
7.4.7	Schutzstufen für Laserjustierbrillen	150
7.4.8	Auswahl von Laserschutzbrillen und -justierbrillen	152
7.4.9	Kennzeichnung von Laserschutzbrillen und Laserjustierbrillen	155
7.5	Schutzkleidung	157
7.5.1	Schutzhandschuhe	159
7.5.2	Laserschutzkleidung	160
7.5.3	Hautschutz gegen UV-Strahlung	162
7.6	Hinweise zum Arbeiten im Laserbereich	162
7.7	Übungen	163
	Literatur	165
8	Aufgaben und Verantwortung der Laserschutzbeauftragten	167
8.1	Bestellung zu Laserschutzbeauftragten	168
8.1.1	Wer kann zum Laserschutzbeauftragten bestellt werden?	168
8.1.2	Kriterien bei der Auswahl der Laserschutzbeauftragten	168
8.1.3	Unterstützung der Laserschutzbeauftragten durch den Arbeitgeber	170
8.2	Kenntnisse der Laserschutzbeauftragten	170
8.3	Aufgaben der Laserschutzbeauftragten	171
8.3.1	Verantwortung der Laserschutzbeauftragten	171
8.4	Anzahl der Laserschutzbeauftragten	172

8.5	Stellung der Laserschutzbeauftragten	173
8.6	Praxis der Laserschutzbeauftragten	173
	Literatur.	182
9	Inhalte und Beispiele der Gefährdungsbeurteilung.	183
9.1	OStrV und Gefährdungsbeurteilung	184
9.1.1	Wichtige Punkte bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung.	185
9.1.2	Aktualisierung der Gefährdungsbeurteilung	185
9.1.3	Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung.	186
9.2	Fachkundige Personen	186
9.2.1	Verantwortung für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung.	186
9.2.2	Fachkundige für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung.	186
9.2.3	Fachkundige für die Durchführung von Messungen und Berechnungen	187
9.3	Grundsätze bei der Beurteilung von Gefährdungen.	187
9.3.1	Erste Schritte	187
9.3.2	Kontinuierlicher Prozess	187
9.3.3	Arbeitsplatz- und personenbezogene Gefährdungs- beurteilung	189
9.3.4	Überprüfung der Gefährdungsbeurteilung.	189
9.3.5	Betriebszustände	190
9.3.6	Worst Case	190
9.3.7	Grenzwertprinzip bei der direkten Gefährdung.	190
9.3.8	Indirekte Gefährdungen	190
9.3.9	Gleichartige Arbeitsplätze	191
9.3.10	Tätigkeitsanalyse	191
9.3.11	Berücksichtigung besonders gefährdeter Personen	191
9.3.12	Arbeitsmedizinische Vorsorge	192
9.3.13	Fremdwartung	192
9.4	Ermittlung der Information	192
9.4.1	Unterlagen zu Lasergeräten	192
9.4.2	Risikobeurteilung durch den Hersteller.	192
9.4.3	Laserklassen.	193
9.4.4	Technische Daten	193
9.4.5	Berechnung der Expositionsgrenzwerte.	193
9.4.6	Messung der Expositionswerte	193
9.4.7	Show- und Projektionslaser	194
9.5	Durchführung der Gefährdungsbeurteilung.	194
9.5.1	Gefährdungen durch Laserstrahlung	194
9.5.2	Das Team bei der Erstellung der Gefährdungs- beurteilung	194
9.5.3	Substitutionsprüfung	194

9.5.4	Prozessschritte	195
9.6	Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung	197
9.7	Übungen	197
	Literatur	199
10	Bestimmungen für besondere Anwendungen	201
10.1	Lasereinrichtungen für Vorführ- und Anzeigzwecke	201
10.1.1	Auszug aus der DGUV 11	201
10.1.2	Auszüge aus der DGUV Information 203-036	202
10.2	Lasereinrichtungen für Leitstrahlverfahren und Vermessungs- arbeiten	203
10.3	Lasereinrichtungen für Unterrichtszwecke	205
10.4	Lasereinrichtungen für medizinische Anwendung	206
10.5	Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken in Fernmeldeanlagen und Informationsverarbeitungsanlagen mit Lasersendern	207
10.5.1	Auszug aus der DGUV 11	207
10.5.2	Wichtiges aus der DGUV Information 203-039	207
	Literatur	209
11	Anhang	211
11.1	A.1 Arbeitshilfe zur Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung nach OStrV	212
11.1.1	Beispielhafte Gefährdungsbeurteilung nach §3 OStrV und TROS Laserstrahlung	212
11.1.2	Tabelle weiterer Schutzmaßnahmen, welche in die Gefährdungsbeurteilung übernommen werden können	220
11.2	Beispiel einer Laserklassifizierung	224
11.2.1	Vorgehensweise	224
11.2.2	Berechnungen	225
11.3	Formular zur Bestellung von Laserschutzbeauftragten	226
11.3.1	Aufgaben (Beispielhaft! Diese müssen betriebsspezifisch angepasst werden)	226
11.3.2	Übertragung von Unternehmerpflichten	226
11.4	Formular für die jährliche Unterweisung	227
11.4.1	Nachweis der jährlichen Unterweisung zum Laser- schutz nach OStrV (§ 8)	227
11.5	Beispiel für eine Betriebsanweisung	228
11.6	Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV vom 18. Oktober 2017	230
11.6.1	Abschn. 1 Anwendungsbereich und Begriffs- bestimmungen	230
11.6.2	Abschn. 2 Ermittlung und Bewertung der Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung; Messungen	232

11.6.3	Abschn. 3 Expositionsgrenzwerte für und Schutzmaßnahmen gegen künstliche optische Strahlung	234
11.6.4	Abschn. 4 Unterweisung der Beschäftigten bei Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung; Beratung durch den Ausschuss für Betriebssicherheit.	236
11.6.5	Abschn. 5 Ausnahmen; Straftaten und Ordnungswidrigkeiten	237
11.7	Formelsammlung und Begriffe	238
11.7.1	Physikalische Begriffe	238
11.7.2	Mathematische Begriffe	239
11.7.3	Strahlparameter	239
11.8	Erweiterte Aufgabensammlung	241
11.8.1	Berechnungen zur Energiedichte (= Bestrahlung) H	241
11.8.2	Berechnungen zur Impulsenergie Q und Impulsspitzenleistung P_p	242
11.8.3	Aufgaben zu Wellenlängen	242
11.8.4	Berechnungen zur Strahldivergenz φ	242
11.8.5	Berechnungen zu Expositionsgrenzwerten	243
11.8.6	Berechnungen zu ausgedehnten Quellen (diffuse Reflexion).	245
11.8.7	Berechnungen zur fotochemischen und thermischen Netzhautschädigung	246
11.8.8	Berechnungen zum Sicherheitsabstand NOHD	246
11.8.9	Berechnungen zur Fokussierung mit einer Linse	247
11.8.10	Berechnungen zu Laserschutzbrillen	248
11.9	Beispielhafte Berechnungen für die Gefährdungsbeurteilung	249
	Stichwortverzeichnis	253