

<b>1</b>	<b>Physikalische Eigenschaften von Laserstrahlung</b>	<b>1</b>
1.1	Eigenschaften von optischer Strahlung	2
1.1.1	Wellenoptik	2
1.1.2	Incohärente 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

---

<b>2</b>	<b>Biologische Wirkung von Laserstrahlung</b>	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
<b>3</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b>	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

---

<b>4 Grenzwerte der zugänglichen Strahlung und Laserklassen . . . . .</b>	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
<b>5 Expositionsgrenzwert (EGW) . . . . .</b>	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
<b>6 Gefährdungen durch Laserstrahlung . . . . .</b>	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

---

<b>7</b>	<b>Auswahl und Durchführung von Schutzmaßnahmen</b>	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
<b>8</b>	<b>Aufgaben und Verantwortung der Laserschutzbeauftragten</b>	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
<b>9</b>	<b>Inhalte und Beispiele der Gefährdungsbeurteilung. . . . .</b>	<b>183</b>
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 Gefährdungsbeurteilung . . . . .	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 Gefährdungsbeurteilung . . . . .	194
9.5.3	Substitutionsprüfung . . . . .	194

---

9.5.4	Prozessschritte . . . . .	195
9.6	Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung. . . . .	197
9.7	Übungen. . . . .	197
	Literatur. . . . .	199
<b>10</b>	<b>Bestimmungen für besondere Anwendungen. . . . .</b>	<b>201</b>
10.1	Lasereinrichtungen für Vorführ- und Anzeigezwecke . . . . .	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 Vermessungsarbeiten. . . . .	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
<b>11</b>	<b>Anhang. . . . .</b>	<b>211</b>
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 Laserschutz 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 Begriffsbestimmungen . . . . .	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 $\varphi$ . . . . .	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
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>253</b>