

203-042

DGUV Information 203-042



Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen, Laser-Justierbrillen und Laser-Schutzabschirmungen

Impressum

Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 288763800
Fax: 030 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Neue Rufnummern ab 1. August 2018:

Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-6132

Sachgebiet Nichtionisierende Strahlung des
Fachbereichs Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (ETEM)
der DGUV

Ausgabe: Mai 2018

DGUV Information 203-042
zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger
oder unter www.dguv.de/publikationen

Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen, Laser-Justierbrillen und Laser-Schutzabschirmungen

Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
Vorwort	5	Anhang 1	
Vorbemerkung	5	Laserspezifische Regelungen	24
1 Anwendungsbereich	6	Anhang 2	
2 Definitionen	7	Checkliste zur Auswahl von Laserschutz- und Laser-Justierbrillen	25
2.1 Laser-Schutzbrillen	7	Anhang 3	
2.2 Laser-Justierbrillen	7	Flussdiagramm zur Berechnung der Schutzstufe von Laser-Schutzbrillen	26
2.3 Hinweis zu Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen	7	Anhang 4	
2.4 Laser-Schutzabschirmungen	7	Flussdiagramm zur Schutzstufenbestimmung für Laser-Justierbrillen	27
2.5 Expositionsgrenzwerte	7	Anhang 5	
3 Vereinfachtes Auswahlverfahren anhand ausgewählter Laseranwendungen	8	Beispiel für die Berechnung von Laser-Schutzbrillen	28
4 Gefährdungsbeurteilung bei der Auswahl von Laser-Schutzbrillen und -Justierbrillen	9	Anhang 6	
4.1 Allgemeines	9	Vereinfachte EGW – gemäß TROS Laserstrahlung (Teil 2, Anlage 4 A 4.2)	30
4.2 Gefährdungsbeurteilung	9	Anhang 7	
5 Bestimmung der notwendigen Schutzstufe für Laser-Schutzbrillen	11	Beispiele von Laser-Schutzbrillen-Modellen	31
5.1 Definition der Schutzstufen	11	Anhang 8	
5.2 Schutzstufenermittlung für Dauerstrichlaser (Kennbuchstabe der Betriebsart: D) und mittlere Leistung gepulster Laser	13	Kennzeichnung	33
5.3 Schutzstufenermittlung für gepulste Laser (Kennbuchstaben der Betriebsarten: I und R), Impulsdauer $\geq 10^{-9}$ s	13	Anhang 9	
5.4 Schutzstufenermittlung für modengekoppelte Laser (Kennbuchstabe der Betriebsart: M) Impulsdauer $< 10^{-9}$ s	14	Kommentar zum Einsatz von Ultrakurzpulslasern mit Pulsängen unter 1 ps	35
6 Bestimmung der notwendigen Schutzstufe für Laser-Justierbrillen	15	Anhang 10	
6.1 Konzept, Definition der Schutzstufen	15	Filter für Mikroskope und Teleskope	36
6.2 Auswahl von Laser-Justierbrillen	16	Anhang 11	
7 Modellauswahl von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen	18	Aspekte für die Auswahl und Anwendung von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen im Freien	39
8 Persönliche Schutzausrüstung (Anwendung und Pflege)	20	Anhang 12	
8.1 Allgemeine Hinweise zum Arbeiten mit Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen	20	Laser-Schutzabschirmungen (temporär) Auswahl von Abschirmungen für Laserarbeitsplätze zum Schutz gegen zufällige Bestrahlung nach DIN EN 12 254	42
8.2 Behandlungs- und Gebrauchshinweise	21	Anhang 13	
8.3 Reinigung und Pflege	21	Information zu experimentell ermittelten Überhöhungs- werten in Abhängigkeit von Wellenlänge und Filtermaterial	44
8.4 Besonderheiten bei Laserschutzprodukten mit Reflexionsschichten	21	Anhang 14	
8.5 Haltbarkeit von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen	22	Glossar	45
9 Laserabschirmung	23	Anhang 15	
		Literatur	50

Vorwort

DGUV Informationen enthalten Hinweise und Empfehlungen, die die praktische Anwendung von Regelungen zu einem bestimmten Sachgebiet oder Sachverhalt erleichtern sollen.

Diese DGUV Information wurde erarbeitet vom Sachgebiet „Nichtionisierende Strahlung“ im Fachbereich „Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (FB ETEM)“ der DGUV in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich „Persönliche Schutzausrüstungen (PSA)“ - Sachgebiet „Augenschutz“ und dem DIN-Arbeitskreis NA 027-01-01-01 AK „Laserschutz“.

Vorbemerkung

Die vorliegende DGUV Information beschreibt Aspekte der Auswahl von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen, welche zum Schutz des menschlichen Auges vor Verletzungen und Beeinträchtigungen durch Laserstrahlung eingesetzt werden. Ferner hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass in den Bereichen, in denen eine Gefährdung vorliegt, die geeignete persönliche Schutzausrüstung getragen wird.

Kann durch einfache Überlegung oder Wissen die richtige Schutzstufe ermittelt werden, oder hat der Hersteller der Laseranlage bereits eine Gefährdungsbeurteilung mit einer Schutzstufenempfehlung durchgeführt, so soll diese verwendet werden.

Die Auswahl von Laser-Schutzbrillen und -Justierbrillen basiert auf den allgemeinen Regeln zum Schutz vor optischer Strahlung am Arbeitsplatz, sowie sie in der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) und in den Technischen Regeln Laserstrahlung (TROS) hierfür festgelegt sind.

Darüber hinaus werden in dieser DGUV Information Hilfestellungen zur Auswahl geeigneter Laserschutzabschirmungen gegeben. Es werden hier insbesondere die Anwendung und Auswahl der Schutzstufe nach DIN EN 12254 erläutert.

Diese DGUV Information beinhaltet schon viele Punkte der neuen PSA-Verordnung (EU) 2016/425. Produkte können noch bis 21.04.2018 nach der „alten“ PSA RL 89/686/EWG zertifiziert werden. Diese Zertifikate gelten dann noch bis zum 21.04.2023. Erst ab 22.04.2018 werden neue Zertifikate zu Laserschutz- und Laser-Justierbrillen nach der neuen PSA-Verordnung erstellt. Zur Benutzung von „alten“ Schutzbrillen werden keine Aussagen von der PSA-Verordnung gemacht. Laser-Schutz- und -Justierbrillen gehören nach der PSA-Verordnung entsprechend der Risiken, vor denen die Nutzer geschützt werden sollen, zur Kategorie II. Damit werden Risiken beschrieben, die weder geringfügig sind noch mit schwerwiegenden Folgen verbunden sein können.

1 Anwendungsbereich

Diese DGUV Information hilft den Laserschutzbeauftragten, den Fachkundigen und den Unternehmern/Arbeitgebern, eine geeignete Laser-Schutzbrille, eine Laser-Justierbrille, eine Kombination oder eine Laser-Schutzabschirmung auszuwählen. Grundlage ist die Gefährdungsbeurteilung gemäß OStrV bzw. TROS Laserstrahlung beim Umgang mit Laserstrahlung.

Grundsätzlich gilt:

Zunächst ist die Umsetzung technischer und organisatorischer Schutzmaßnahmen gefordert, wie sie in der TROS Laserstrahlung genannt sind. Beispiele für technische und organisatorische Schutzmaßnahmen sind die Umhausung einer Lasereinrichtung (Schutzgehäuse), Verriegelung und Sicherung der Zugangsöffnungen (Interlock) und Beschilderung, Kennzeichnung und Unterweisung.

Anmerkung 1:

Maßnahmen zur Verhütung von Gefahren für Leben und Gesundheit bei der Arbeit

Vor dem Einsatz von Augen- und Gesichtsschutz hat der Unternehmer gemäß § 3 OStrV bzw. TROS Laserstrahlung, Teil 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung“ eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Dabei sind die Arbeitsbedingungen und die persönliche Konstitution der Versicherten zu berücksichtigen.

Anmerkung 2:

Diese DGUV Information dient auch der Umsetzung der Anforderungen der DGUV Regel 112-192 und DGUV Regel 112-992 (bisher: BGR 192 und GUV-R 192) „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“.

2 Definitionen

2.1 Laser-Schutzbrillen

Laser-Schutzbrillen dienen dem Schutz der Augen gegen Laserstrahlung für die jeweils betreffende(n) Wellenlänge(n) im ultravioletten, sichtbaren und/oder infraroten Spektralbereich. Für die Vergleichbarkeit der Schutzwirkung unterschiedlicher Laser-Schutzbrillen dienen die sogenannten LB-Schutzstufen [DIN EN 207]. Diese zeigen an, bis zu welcher Bestrahlung oder Bestrahlungsstärke sie für mindestens 5 s und mindestens 50 Impulse in einem genormten Test standgehalten haben.

2.2 Laser-Justierbrillen

Laser-Justierbrillen sind auf den Wellenlängenbereich der sichtbaren Strahlung zwischen 400 nm und 700 nm beschränkt. Sie schwächen die Laserstrahlung auf den Wert der Klasse 2-Laser ab. Für Dauerstrichlaser reduziert sich die Laserstrahlung auf maximal 1 mW (mit $C_6=1$) entsprechend einer Zeitbasis von 0,25 s bzw. 60 % der Klasse 2, d. h. 0,6 mW entsprechend einer Reaktionszeit von 2 s (Zeit zur Abwendung der Gefahr; siehe Empfehlung Tabelle 5 unter 6.1). Für die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Laser-Justierbrillen dienen sogenannte RB-Schutzstufen [DIN EN 208].

Laser-Justierbrillen dienen dazu, diffuse Reflexionen der Laserstrahlung sicher beobachten zu können.

2.3 Hinweis zu Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen

Die Schutzwirkung der Brillen bei einer Laserbelastung unter Normbedingungen, d. h. bei einem Strahldurchmesser d_{63} (siehe Glossar) von 1 mm, bleibt mindestens 5 s bzw. 50 Impulse lang erhalten, sofern die Laser-Schutzbrille oder Laser-Justierbrille die Anforderungen der DIN EN 207 bzw. DIN EN 208 erfüllen. Die in der Realität auftretenden Strahldurchmesser und Strahlprofile, gegen die eine Laser-Schutzbrille beim Unfall schützen muss, lassen keine exakte Aussage über die Standzeit zu. Deshalb gilt:

Die Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen sind nicht für den dauernden Blick in einen Laserstrahl geeignet. Niemals direkt in den Laserstrahl blicken.

2.4 Laser-Schutzabschirmungen

Laser-Schutzabschirmungen sind für temporäre Aufbauten, z. B. bei Wartungsarbeiten, Service oder im Labor gedacht. Sie dienen zum Schutz des Benutzers von Lasereinrichtungen gegen unbeabsichtigte, zeitlich begrenzte Laserbestrahlung im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 1 mm. Es handelt sich dabei um überwachte Abschirmungen („beobachteter Betrieb“) für den Aufbau an Arbeitsplätzen mit Lasereinrichtungen mit einer maximalen mittleren Leistung von 100 W bzw. einer Einzelpulsenergie von maximal 30 J. Für die Vergleichbarkeit der Schutzwirkung an Laser-Schutzabschirmungen dienen sogenannte AB-Schutzstufen [DIN EN 12254]. Diese Schutzstufen zeigen an, dass die Abschirmungen in einem genormten Test einer Laserbelastung von 100 s bzw. 1000 Impulsen standhalten.

Für stationäre Schutzwände oder Einhausungen, auch für Laser höherer Leistung oder Pulsenergie, sind die Auslegungen der DIN EN 60825-4 zu verwenden (siehe TROS Laserstrahlung, Teil 3, Abschnitt 4.4 (Absätze 10 - 12)).

2.5 Expositionsgrenzwerte

Die Expositionsgrenzwerte (EGW) nach § 6 Absatz 2 OStrV sind maximal zulässige Werte bei Exposition der Augen oder der Haut gegenüber Laserstrahlung. Diese sind in Anlage 4 des Teils 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung aufgeführt.

3 Vereinfachtes Auswahlverfahren anhand ausgewählter Laseranwendungen

Zur vereinfachten Ermittlung der geeigneten Schutzstufe von Laser-Schutzbrillen kann die folgende Tabelle 1 angewendet werden. Hierin sind typische Beispiele an Laseranwendungen gelistet mit den jeweils einzuhaltenden Mindestschutzstufen (Ausführliche Rechnung siehe Abschnitt 5).

Anwendung	Laserdaten	Schutzstufe
Laserchirurgie	CO ₂ -Laser, < 20 W CW und gepulst, 10600 nm, Fokussierhandstück f ≤ 50 mm; d ₆₃ ≥ 50 mm	10600 DI LB3
	CO ₂ -Laser, 50 W CW und gepulst, 10600 nm, Kopplung an Operationsmikroskop über Mikromanipulator; d ₆₃ ≥ 26 mm	10600 DI LB4
Laserkoagulation in der Augenheilkunde	Argonlaser, 7 W CW und gepulst, 488/514 nm, Kopplung an Spaltlampe; d ₆₃ ≥ 30 mm	488/514 DI LB5
	Frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser, 3 W CW und gepulst, 532 nm, Endosonde bei Netzhautablösung; d ₆₃ ≥ 62 mm	532 DI LB4
Kapsulotomie in der Augenheilkunde	Nd:YAG-Laser, 40 mJ Q-Switch, Kopplung an Spaltlampe, Pilotlaser 650 nm 5 mW	650 nm D LB2 + 1064 nm R LB6
Laserbeschriftung	Nd:YAG-Laser, 40 W CW, 1064 nm, Objektiv mit f = 163 mm, Schriftauflösung 50 µm; d ₆₃ ≥ 23 mm	1064 D LB7
	Yb-Faserlaser, 500 µJ/10 µs/50 kHz, Objektiv mit f = 240 mm, Schriftauflösung 50 µm	1000 – 1070 D LB5 + I LB6
Laserschneiden	CO ₂ -Laser, 500 W CW und gepulst, Objektiv f = 140 mm, Abstand zum Auge 100 mm; d ₆₃ ≥ 26 mm	10600 DI LB5
	CO ₂ -Laser, 500 W CW und gepulst, Objektiv f = 140 mm, Abstand zum Auge 2 m; d ₆₃ ≥ 80 mm	10600 DI LB4
Laserschweißen	Nd:YAG-Laser, 600 W mittlere Leistung, gepulst 150 J/20 ms/4 Hz, 1064 nm mit Objektiv f = 240 mm; d ₆₃ ≥ 40 mm	1064 D LB7 + I LB8
	Nd:YAG-Laser, 600 W mittlere Leistung, gepulst 60 mJ/100 µs/1 kHz, 1064 nm mit Objektiv f = 240 mm; d ₆₃ ≥ 4 mm	1064 D LB7

Tabelle 1: Typische Laser-Anwendungen und zugehörige Schutzstufen der Laser-Schutzbrillen

Anmerkung:

In diesem Abschnitt sind leistungsstarke Anwendungen nicht berücksichtigt, da hierbei die Verwendung einer Laser-Schutzbrille in der Regel keinen ausreichenden Schutz bietet. Eine spezielle Gefährdungsbeurteilung unter Berücksichtigung der entsprechenden Abschnitte und Anhänge dieser DGUV Information ist dann notwendig.

4 Gefährdungsbeurteilung bei der Auswahl von Laser-Schutzbrillen und -Justierbrillen

4.1 Allgemeines

Jeder Betreiber einer Laser-Einrichtung hat vor der ersten Inbetriebnahme eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Neben technischen und organisatorischen Maßnahmen sind, falls erforderlich, geeignete Laser-Schutzbrillen und -Justierbrillen auszuwählen. Zu beachten ist in jedem Fall, dass eine Laser-Schutzbrille nur ein Restrisiko abdecken soll. Zuerst sind daher immer alle anderen Schutzmaßnahmen anzuwenden.

4.2 Gefährdungsbeurteilung

Nach OStrV und TROS Laserstrahlung muss eine Gefährdungsbeurteilung für den Betrieb der Lasereinrichtung vorliegen. Es wird davon ausgegangen, dass die Gefährdungsbeurteilung ergeben hat, dass das Tragen einer Laser-Schutzbrille oder -Justierbrille notwendig ist. Im folgenden Abschnitt wird sich auf die Gefahrenquellen beschränkt, welche als mögliche Maßnahme das Tragen einer Laser-Schutzbrille nach sich ziehen.

4.2.1 Gefahrenquellen

Die Gefährdung durch eine Laser-Einrichtung hängt von der Strahlungsquelle, dem Strahlführungssystem und den Gegebenheiten am Wirkungsort der Laserstrahlung ab.

Zuerst muss die Frage geklärt werden, von welchen Stellen der Laser-Einrichtung eine Gefährdung der Augen oder anderer Körperteile ausgehen kann und in welcher Form.

Bei der Gefährdungsanalyse sind unter anderem folgenden Punkte zu beachten:

- Strahlungsquelle:
 - Die Laserstrahlungsquelle ist meist eine gekapselte Einheit mit der Strahlaustrittsöffnung als erste Stelle, an der die Strahlung zugänglich sein kann.
 - Bei einigen Lasern wird Laserstrahlung mit mehreren Wellenlängen abgestrahlt.
 - Bei frequenzvervielfachten oder bei diodengepumpten Laserstrahlungsquellen muss zusätzlich überprüft werden, ob auch weitere Wellenlängen zugänglich sind.
 - In seltenen Fällen kann auch Strahlung in der Umgebung des Laserresonators zugänglich sein (z. B. inkohärente Strahlung, Pumpstrahlung).
- Strahlführungssystem:
 - Das Strahlführungssystem besteht meist aus optischen Bauelementen, zwischen denen der Laserstrahl frei geführt wird, oder aus einer optischen Faser, in die der Laserstrahl eingekoppelt wird. Es muss überprüft werden, ob entlang dieses Weges eine Freisetzung von Strahlung möglich ist.

- Bei fasergeführten Systemen muss unter Umständen mit einem Faserbruch gerechnet werden. Dann tritt die Strahlung etwa mit der gleichen Charakteristik aus, mit der sie aus dem intakten Faserende austritt. Die Strahldivergenz wird dabei von der numerischen Apertur der Faser bestimmt.
- Am Ende des Strahlführungssystems befindet sich meist eine Optik, durch die der Laserstrahl auf den Wirkungsort gerichtet wird. In diesem Bereich ist eine unkontrollierte Freisetzung von Strahlung möglich.
- Wirkungsort:
 - Die Strahlung kann fokussiert oder kollimiert auf den Wirkungsort treffen. Viele Werkstoffe reflektieren stark. Hierdurch kann der Gefahrenbereich (Expositionsbereich) erheblich größer sein.
 - In der ersten Anlaufphase typischer Materialbearbeitung kann die Strahlung nahezu vollständig reflektiert werden.
 - Bei der Wechselwirkung von Laserstrahlung mit dem Werkstück kommt es häufig zu inkohärenter Sekundärstrahlung (z. B. Plasmaemission). Diese wird im Allgemeinen nicht von der Laser-Schutzbrille abgeschirmt.

Anmerkungen:

Im Service und bei der Wartung treten in der Regel höhere Gefährdungen auf.

Im Servicefall und Normalbetrieb einschließlich Wartung muss meist mit unterschiedlichen Gefährdungen gerechnet werden. Im Servicefall ist häufig eine Verringerung der Gefahr möglich, indem die Laseranlage nicht mit voller Leistung betrieben wird.

4.2.2 Kenngrößen zur Ermittlung der Gefährdung durch Laserstrahlung

Zur Ermittlung der Gefährdung sind folgende Parameter am Ort der Exposition zu erfassen. Die jeweiligen Größen finden sich auch auf dem Typenschild oder in der Betriebsanleitung der Laser-Einrichtung:

- Laserwellenlängen:
 - Die Laserstrahlung von konventionellen Lasern zeichnet sich durch sehr enge Wellenlängenbereiche aus.
 - Einige Lasertypen können mit unterschiedlichen Wellenlängen und Wellenlängenbereichen betrieben werden. Bei Ultrakurzpulslasern siehe auch Anhang 9.

- Zeitverhalten der Laseremission:
 - **D Dauerstrichbetrieb:** Um einen Dauerstrichbetrieb handelt es sich, wenn Laserstrahlung über mehr als 0,25 s dauerhaft emittiert wird.
Anmerkung:
Es muss beachtet werden, dass die von vielen Herstellern angegebene mittlere Leistung darauf hindeutet, dass es sich nicht um einen Dauerstrichbetrieb handelt, sondern um einen Impulsbetrieb.
Für die quantitative Ermittlung der Gefährdung muss die höchste Leistung verwendet werden, die am Ort der Exposition vorliegen kann.
 - **I, R, M (Impuls-, Riesenimpuls-, Modengekoppelter Betrieb):** Diese Betriebsarten sind für gepulst arbeitende Laser anzuwenden, wobei sich die Bezeichnung an der Impulsdauer orientiert (siehe auch Tabelle 2).
- Mittlere Leistung, Impulsenergie und Impulsfrequenz bei Impulsbetrieb:
 - Gepulste Strahlung ist Strahlung, die in Form eines Einzelimpulses oder einer Impulsfolge vorliegt. Hierbei ist die Zeitdauer des einzelnen Impulses kleiner als 0,25 s.
 - Lasersysteme, die gepulst betrieben werden können, sind häufig hinsichtlich der Einstellung der Energie eines Einzelimpulses, der Impulsdauer und der Impulswiederholrate einstellbar. Diese Parameter hängen voneinander ab.
 - Für die Gefährdungsermittlung müssen daher verschiedene Betriebszustände, mindestens aber die Zustände bei größter Impulsenergie und höchster Impulswiederholrate betrachtet werden.
Anmerkung:
Die mittlere Leistung eines ImpulsLasers lässt sich aus dem Produkt aus Impulsenergie und Impulswiederholrate bestimmen. Ein Mischbetrieb (CW und abwechselnd Impulsbetrieb) ist in Sonderfällen auch möglich.
Eine mögliche Überhöhung der Strahlungsleistung beim Einschalten der Laserstrahlung (spiking) sollte bei der Risikoermittlung beachtet werden (siehe Herstellerinformation).
- Bestrahlung und Bestrahlungsstärke:
 - Entscheidend für die Dimensionierung von Laserschutzprodukten ist je nach Betriebsart (D, I, R, M) die Leistung pro Fläche (Bestrahlungsstärke, Leistungsdichte) oder die Energie pro Fläche (Bestrahlung, Energiedichte), der die zu schützende Person ausgesetzt sein kann.
 - Um die Fläche zu ermitteln, benötigt man auch Kenntnis der Strahlabmessungen (im Falle eines kreisrunden Strahlquerschnittes den Strahldurchmesser) und im Falle eines fokussierten Strahles den Fokusbereich und den Divergenzwinkel (siehe Anhang 14 Glossar).

5 Bestimmung der notwendigen Schutzstufe für Laser-Schutzbrillen

5.1 Definition der Schutzstufen

Die Schutzwirkung einer Laser-Schutzbrille, welche die Anforderungen nach DIN EN 207 erfüllt, wird mit Wellenlänge, Betriebsart und LB-Schutzstufe gekennzeichnet. Der Wert der LB-Schutzstufe vereint die Mindestfilterwirkung und die Beständigkeit bezüglich einer direkten Laserbestrahlung. Diese Größen fließen ein in die Tabelle zur Ermittlung der benötigten LB-Schutzstufe (Tabelle 3).

5.1.1 Wellenlängenbereich

Der Wellenlängenbereich, für den die Laser-Schutzbrille ausgelegt ist, wird in nm angegeben. Die in der Auswahltable (Tabelle 3) eingetragenen Wellenlängenbereiche sind aus Vereinfachungsgründen entsprechend der unterschiedlichen biologischen Wirkmechanismen der Laserstrahlung festgelegt worden.

5.1.2 Betriebsart

Die zeitlichen Abgrenzungen der Betriebsarten für Laser-Schutzfilter sind in Tabelle 2 angegeben.

Betriebsart	Typische Laserart	Einwirkungs- dauer bzw. Impulsdauer
D	Dauerstrichlaser	> 0,25 s
I	Impulslaser	> 1 μs – 0,25 s
R	Güteschalteter Impulslaser / Riesenimpulslaser	1 ns – 1 μs
M	Modengekoppelter Impulslaser	< 1 ns

Tabelle 2: Zeitliche Abgrenzung der Betriebsarten für die Auswahl der Laser-Schutzfilter nach DIN EN 207.

5.1.3 LB-Schutzstufen

Gemäß DIN EN 207 leitet sich die Schutzstufe aus dem spektralen Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ über den dekadischen Logarithmus als Schutzstufennummer N gemäß

$$N = \text{int}[-\log(\tau(\lambda))]$$

ab, d. h. die auf ganze Zahlen abgerundete optische Dichte $OD(\lambda) = -\log(\tau(\lambda))$ der entsprechenden Laserwellenlänge entspricht mindestens der Schutzstufennummer N eines Laser-Schutzfilters. Die Schutzstufen nach DIN EN 207 sind über die Schutzstufennummer und die Angabe einer Leistungs- oder Energiedichte definiert, gegen die der Laser-Schutzfilter für die erwähnte Zeit von 5 s standhalten muss. Das Funktionsprinzip eines Laser-Schutzfilters ist in Abb. 1 dargestellt.

Tabelle 3 gibt die Schutzstufen LB1 bis LB10 wieder. Dabei wird der Wellenlängenbereich von 180 nm bis 1 mm in drei Gruppen eingeteilt. Jede der drei Gruppen besteht aus drei Spalten, die für unterschiedliche Laserarten die Angaben der Leistungs- bzw. Energiedichte enthalten. Es werden die Laserarten Dauerstrichlaser (Abkürzung D), Impuls- (I) und Riesenimpulslaser (R) sowie modengekoppelte Impulslaser (M) unterschieden. Die Abgrenzung bezüglich der Einwirkungs- oder Impulsdauer der Laserstrahlung zeigt Tabelle 2. Die obigen Abkürzungen für die Laserarten treten auch in der Kennzeichnung von Laser-Schutzbrillen (Anhang 8) auf. Sie sind der dritte Bestandteil der Angabe.

Die Produktnorm DIN EN 207 fordert, dass die spezifizizierte Filterwirkung der Laser-Schutzbrille auch bei Belastung durch den Laserstrahl erhalten bleibt. Diese Beständigkeit gegen Laserstrahlung unter Normbedingungen, die sowohl für die Filter als auch für die Tragkörper gewährleistet sein muss und auf eine

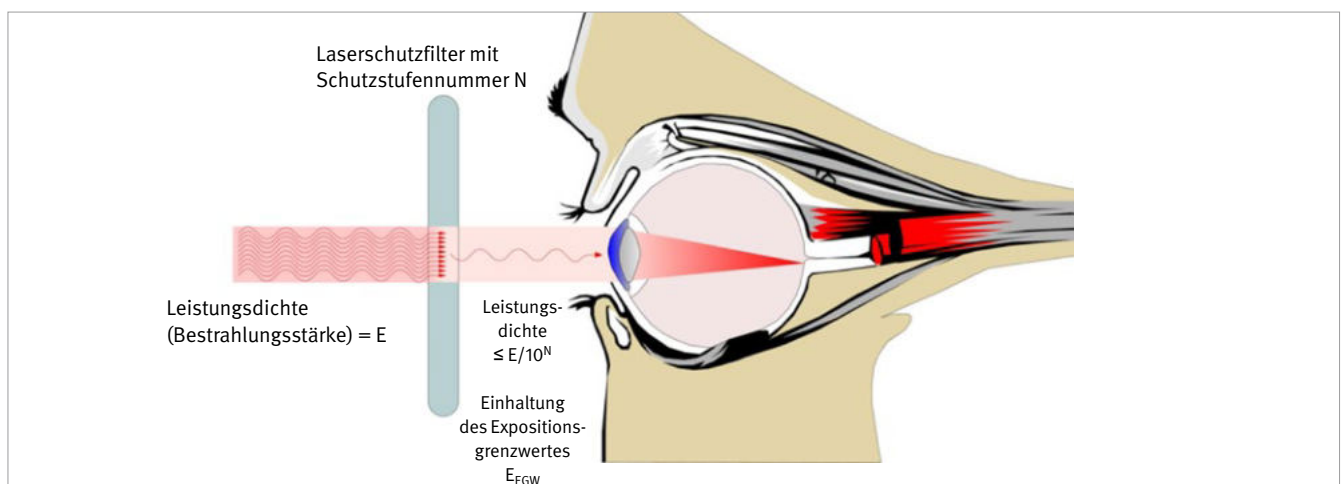


Abb. 1 Funktionsprinzip eines Laser-Schutzfilters

Prüfdauer von mindestens 5 s ausgelegt ist, soll dem Benutzer des Augenschutzes ermöglichen, eine Unfallsituation zu erkennen und den Gefahrenbereich (Expositionsbereich) rechtzeitig zu verlassen. Als Unfallsituation wird das Auftreffen des Laserstrahls auf dem Augenschutz („Augenschutzgerät“) betrachtet. Laser-Schutzbrillen nach DIN EN 207 schützen daher nur vor der nicht beabsichtigten Einwirkung von Laserstrahlung und sind nicht für einen länger andauernden Blick in den direkten Laserstrahl geeignet.

Zur Bestimmung der erforderlichen Schutzstufe muss die Wellenlänge des Lasers, die Laserbetriebsart nach Tabelle 2 und die entsprechende Leistungs- bzw. Energiedichte der Laserstrahlung bekannt sein. Bei gepulsten Lasern muss neben der speziellen Schutzstufe für den Impulsbetrieb (Laserbetriebsart I, R oder M) immer auch gemäß der mittleren Leistung des Lasers eine Schutzstufe bezüglich der Laserbetriebsart D bestimmt werden. Dabei soll zur Berechnung der in Abschnitt 4 zu ermittelnden Kenngrößen Bestrahlung und Bestrahlungsstärke der in Anhang 14.29 definierte Strahldurchmesser d_{63} verwendet werden. Ist bei rotationssymmetrischen Strahlquerschnitten der Strahldurchmesser kleiner als 1 mm, z. B. weil aus der Gefährdungsbeurteilung hervorgeht, dass der Fokus oder Strahldurchmesser kleiner als 1 mm zugänglich ist, so ist bei den Betriebsarten D und I mit einem fiktiven Strahldurchmesser von 1 mm zu

rechnen. Für die Betriebsarten R und M liegen diesbezüglich zur Zeit keine Kenntnisse vor. Hier ist sicherheitshalber der tatsächliche Strahldurchmesser d_{63} für die Berechnung heranzuziehen. Im Fall nicht rotationssymmetrischer Strahlquerschnitte ist der Durchmesser eines Kreises mit der gleichen Fläche zu nehmen.

Laser-Schutzbrillen müssen die Laserstrahlung auf ein „unschädliches Maß“ (Einhaltung der EGW – siehe Glossar) herabsetzen. Dies wird durch Absorption und/oder Reflexion der Laserstrahlung erreicht (siehe Abb. 1).

Dabei muss der spektrale Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ des Filters die Bedingung

$$\tau(\lambda) \leq E_{EGW}/E \text{ bzw. } \tau(\lambda) \leq H_{EGW}/H$$

erfüllen, je nachdem ob die Grenzwerte und die Laserstrahlung durch Leistungsdichten (E_{EGW} , E) oder Energiedichten (H_{EGW} , H) beschrieben werden. Im Wellenlängenbereich über 315 nm finden dabei die Grenzwerte für eine Einwirkungsdauer von 5 s, unterhalb 315 nm die Grenzwerte für 30.000 s Anwendung.

Eine vereinfachte Tabelle zur Ermittlung der EGW findet sich im Anhang 6. Die vollständige Tabelle der EGW ist in der TROS Laserstrahlung, Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“, zu finden.

Schutzstufe	Maximaler spektraler Transmissionsgrad bei der Laserwellenlänge $\tau(\lambda)$	Maximale Leistungs- (E) und/oder Energiedichte (H) im Wellenlängenbereich								
		180 nm bis 315 nm			> 315 nm bis 1 400 nm			> 1 400 nm bis 1 000 μm		
		Für die Laserbetriebsart								
		D	I, R	M	D	I, R	M	D	I, R	M
	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	H_M J/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	
LB 1	10 ⁻¹	0,01	3 x 10 ²	3 x 10 ¹¹	10 ²	0,05	1,5 · 10 ⁻³	10 ⁴	10 ³	10 ¹²
LB 2	10 ⁻²	0,1	3 x 10 ³	3 x 10 ¹²	10 ³	0,5	1,5 · 10 ⁻²	10 ⁵	10 ⁴	10 ¹³
LB 3	10 ⁻³	1	3 x 10 ⁴	3 x 10 ¹³	10 ⁴	5	0,15	10 ⁶	10 ⁵	10 ¹⁴
LB 4	10 ⁻⁴	10	3 x 10 ⁵	3 x 10 ¹⁴	10 ⁵	50	1,5	10 ⁷	10 ⁶	10 ¹⁵
LB 5	10 ⁻⁵	10 ²	3 x 10 ⁶	3 x 10 ¹⁵	10 ⁶	5 x 10 ²	15	10 ⁸	10 ⁷	10 ¹⁶
LB 6	10 ⁻⁶	10 ³	3 x 10 ⁷	3 x 10 ¹⁶	10 ⁷	5 x 10 ³	1,5 x 10 ²	10 ⁹	10 ⁸	10 ¹⁷
LB 7	10 ⁻⁷	10 ⁴	3 x 10 ⁸	3 x 10 ¹⁷	10 ⁸	5 x 10 ⁴	1,5 x 10 ³	10 ¹⁰	10 ⁹	10 ¹⁸
LB 8	10 ⁻⁸	10 ⁵	3 x 10 ⁹	3 x 10 ¹⁸	10 ⁹	5 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁴	10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ¹⁹
LB 9	10 ⁻⁹	10 ⁶	3 x 10 ¹⁰	3 x 10 ¹⁹	10 ¹⁰	5 x 10 ⁶	1,5 x 10 ⁵	10 ¹²	10 ¹¹	10 ²⁰
LB 10	10 ⁻¹⁰	10 ⁷	3 x 10 ¹¹	3 x 10 ²⁰	10 ¹¹	5 x 10 ⁷	1,5 x 10 ⁶	10 ¹³	10 ¹²	10 ²¹

Tabelle 3: Empfohlene Schutzstufen für die Verwendung von Laser-Schutzfiltern und Laser-Schutzbrillen auf Basis der DIN EN 207

5.2 Schutzstufenermittlung für Dauerstrichlaser (Kennbuchstabe der Betriebsart: D) und mittlere Leistung gepulster Laser

Eine D-Schutzstufe ist für alle Dauerstrichlaser, sowie für alle wiederholt gepulste Laser zu ermitteln. Für gepulste Laser ist zusätzlich zu den Anforderungen im gepulsten Betrieb die im Mittel abgegebene Leistung (P_m) zur Berechnung anzuwenden.

Die Leistungsdichte E bzw. E_m des Laserstrahls errechnet sich aus der Laserleistung P bzw. (P_m) und dem Strahlquerschnitt (bzw. der Strahlquerschnittsfläche) A wie folgt:

$$E = \frac{P}{A} ; E_m = \frac{P_m}{A}$$

Liegt der zu erwartende Strahldurchmesser d_{63} an der Laser-Schutzbrille im Wertebereich von 1 mm bis 15 mm (oder im Fall nicht rotationssymmetrischer Strahlquerschnitte der Durchmesser eines Kreises mit der gleichen Fläche) und ist die Leistung P des Lasers größer als 10 W oder der Wert der Bestrahlungsstärke E größer 10^5 W/m^2 , dann ist im Wellenlängenbereich von 315 nm bis 1 mm ein zusätzlicher Korrekturfaktor $F(d_{63})$ anzuwenden. Dieser Korrekturfaktor wird durch eine Überhöhungsfunktion ermittelt, welche mit dem tatsächlichen Strahldurchmesser berechnet wird.

Der Korrekturfaktor ist stark von den eingesetzten Materialien, dem Aufbau sowie der Dicke des Schutzproduktes abhängig. Ist die tatsächlich vorliegende Überhöhungsfunktion nicht bekannt, dann ist im Strahldurchmesserbereich d_{63} größer als 1 mm mit dem Korrekturfaktor $F(d_{63})$ für

$E > 10^5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ (oder) $P > 10 \text{ W}$ zu rechnen:

$$F(d_{63}) = (d_{63}/\text{mm})^{1,7} \text{ für } 1 \text{ mm} \leq d_{63} \leq 15 \text{ mm}$$

$$F(d_{63}) = 100 \text{ für } d_{63} > 15 \text{ mm} .$$

Die korrigierte Bestrahlungsstärke erhält man durch:

$$E' = E \cdot F(d_{63})$$

Die erforderliche Schutzstufe wird entsprechend der Wellenlänge des Lasers aus der Tabelle 3 entnommen.

Anmerkung:

Die Überhöhungsfunktion wurde im Fachkreis auf Basis der Forschungsergebnisse des BAuA Forschungsprojektes F2335 „Strahldurchmesser“ als „worst case“ gewählt. Für Wellenlängen unter 315 nm liegen derzeit noch keine Ergebnisse vor. Durch die Definition der Grenze der Bestrahlungsstärke bei 10^5 W/m^2 kann es im Einzelfall an der Grenze zu großen Unterschieden (bis zu drei Schutzstufen) bei der Ermittlung der Schutzstufe kommen. Hier muss dann ggf. für den Einzelfall das Risiko bewertet werden. Die in dieser Informationsschrift definierte Überhöhungsfunktion entspricht nicht der DIN EN 207:2017 und ist restriktiver.

5.3 Schutzstufenermittlung für gepulste Laser (Kennbuchstaben der Betriebsarten: I und R), Impulsdauer $\geq 10^{-9} \text{ s}$

Zur Bestimmung der Schutzstufe sind grundsätzlich 2 Kriterien – Impulsbetrachtung und Betrachtung der mittleren Leistung –, wie nachfolgend gezeigt, anzuwenden.

5.3.1 Impulsbetrachtung

Die Energiedichte H des Laserstrahls errechnet sich aus der Impulsenergie Q des Einzelimpulses und dem Strahlquerschnitt d_{63} bzw. der Strahlquerschnittsfläche A_{63} wie folgt:

$$H = \frac{Q}{A_{63}}$$

Bei wiederholt gepulsten Lasern im Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 10^6 nm , Impulsdauern $< 0,25 \text{ s}$ und Impulswiederholungsfrequenzen $\nu > 1 \text{ Hz}$ müssen die Energiedichtewerte korrigiert werden. Der Grund ist der kumulative Effekt, wenn mehrere Laserimpulse auf die gleiche Stelle treffen. Dabei gibt es eine wellenlängenabhängige Grenzzeit T_i bzw. Impulswiederholungsfrequenz $\nu_i / [\text{Hz}]$, (siehe Tabelle 4), unterhalb derer dieser Effekt sich nicht mehr weiter auswirkt. Es sind folgende Fälle zu unterscheiden:

a) Die Impulsperiode ist größer als T_i (bzw. $\nu < \nu_i$)

$$H' = H \cdot N^{1/4}$$

N ist die Impulszahl während der Dauer von 5 s.

Bei gleichmäßigen Impulsfolgen gilt:

$$N = \nu \cdot 5 \text{ s}$$

b) Die Impulsperiode ist gleich oder kleiner als die Zeit T_i (bzw. $\nu \geq \nu_i$).

$$H' = H \cdot N^{1/4}$$

Hierbei ist H die summierte Energiedichte der Einzelimpulse während der Dauer T_i . N' ist die fiktive Impulszahl während der Dauer von 5 s bei der fiktiven Impulsfrequenz ν_i .

Bei gleichmäßigen Impulsfolgen gilt:

$$N' = \nu_i \cdot 5 \text{ s}$$

c) unregelmäßige Impulsfolgen

Hier ist analog zu a) und b) die Zahl der Impulse in der Betrachtungszeit 5 s auf Basis des energiereichsten Impulses sowie des Impulses mit der maximalen Impulsspitzenleistung und maximaler Impulswiederholfrequenz zu bestimmen. Ist ein Laser unregelmäßig gepulst (besitzt er keine konstante Impulswiederholfrequenz ν), dann ist bei der Impulsbestimmung der energiereichste Impuls und der Impuls mit der maximalen Spitzenleistung (bei M-Schutzstufen) zusätzlich zu bewerten.

Für H bzw. H' kann die erforderliche Schutzstufe für die Wellenlänge und die Laserbetriebsart aus der entsprechenden Spalte „I, R“ (siehe Tabelle 3) entnommen werden. Der Kennbuchstabe für die Laserbetriebsart ist „R“ bei Impulsdauern kleiner als 10^{-6} s, sonst ist der Kennbuchstabe „I“. Ist die Impulsdauer des Lasers größer als die im Tabellenkopf der Tabelle 2 angegebene Einwirkungsdauer, dann entfällt die Schutzstufe für „I“ und die Anforderung an die Schutzbrillen enthält nur eine Anforderung zur Schutzstufe nach „D“ entsprechend Punkt 5. 2.

Wellenlänge	T_i / [s]	ν_i / [Hz]	Maximaler Korrekturfaktor $N'(5 \text{ s})^{0,25}$
$400 \leq \lambda/\text{nm} < 1050$	$18 \cdot 10^{-6}$	$55,56 \cdot 10^3$	23
$1050 \leq \lambda/\text{nm} < 1400$	$50 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^3$	17,7
$1400 \leq \lambda/\text{nm} < 2600$	10^{-3}	10^3	8,4
$2600 \leq \lambda/\text{nm} < 10^6$	10^{-7}	10^7	84,09

Tabelle 4: Zeiten T_i , unterhalb derer Impulsgruppen wie ein Impuls betrachtet werden müssen und maximal anzuwendende Frequenz $\nu_i = 1/T_i$ (nach DIN EN 207:2017)

5.4 Schutzstufenermittlung für modengekoppelte Laser (Kennbuchstabe der Betriebsart: M) Impulsdauer $< 10^{-9}$ s

Zur Bestimmung der Schutzstufe sind grundsätzlich 2 Kriterien – Impulsbetrachtung und Dauerstrichbetrachtung –, wie nachfolgend gezeigt, anzuwenden. Dabei führt das erste Kriterium zu einer Schutzstufe bezüglich der Laserbetriebsart M und das zweite zu einer Schutzstufe bezüglich der Laserbetriebsart D, obwohl es sich um die Betrachtung eines gepulsten Lasers handelt.

Anmerkung:

Bei Unterscheidung nach der Laserbetriebsart darf jede der ermittelten Schutzstufen in Verbindung mit der Laserbetriebsart angegeben werden.

5.4.1 Impulsbetrachtung

5.4.1.1 Wellenlängenbereich 315 nm bis 1400 nm

Die Vorgehensweise entspricht derjenigen aus Abschnitt 5.3.1.

Für H bzw. für H' kann die erforderliche Schutzstufe über die Spalte „M“ für diesen Wellenlängenbereich aus Tabelle 3 entnommen werden. Der Kennbuchstabe für die Laserbetriebsart ist „M“.

5.4.1.2 Wellenlängenbereiche $< 315 \text{ nm}$ und $> 1400 \text{ nm}$

Die Spitzenleistungsdichte ist unter Verwendung der Spitzenleistung P_p der Einzelimpulse zu berechnen:

$$E_p = \frac{P_p}{A_{63}}$$

Die erforderliche Schutzstufe kann aus der Spalte „M“ aus Tabelle 3, entsprechend der Wellenlänge des Lasers, entnommen werden. Der Kennbuchstabe für die Laserbetriebsart ist „M“.

Anmerkung zu 5.4.1: In der Norm DIN EN 207 wird der Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm betrachtet.

6 Bestimmung der notwendigen Schutzstufe für Laser-Justierbrillen

6.1 Konzept, Definition der Schutzstufen

Laser-Justierbrillen nach DIN EN 208 dienen zur Justierung mit sichtbaren Lasern (Wellenlängenbereich 400 nm bis 700 nm). Insbesondere sollen diffuse Reflexionen der Laserstrahlung beobachtet werden können.

Laser-Justierbrillen sind so ausgelegt, dass sie im Falle von Dauerstrichlasern die Strahlungsleistung auf Werte unter 1 mW reduzieren (Grenzwert der Laser-Klasse 2). Gleichzeitig soll die Strahlung nur so stark abgeschwächt werden, dass sie noch sichtbar bleibt. Die Schutzwirkung bei einem direkten Treffer auf das Auge ist demnach analog zur Laser-Klasse 2 auf eine maximale Bestrahlungszeit von 0,25 s ausgelegt. Es müssen demnach unbedingt aktive Schutz-, d. h. bewusste Abwendungsreaktionen, hinzutreten, die dann ausgeführt werden müssen, wenn insbesondere eine Blendung durch die Laserstrahlung wahrgenommen wird.

Aktive, d. h. bewusste Schutzreaktionen bedeuten, dass eine von einem Laserstrahl getroffene Person sofort die Augen schließt und den Kopf abwendet. Dies ist besonders deshalb erforderlich, da der Lidschlussreflex nur ein seltenes Ereignis ist und somit keine verlässliche physiologische Reaktion darstellt.

Durch Wahl eines erhöhten Schutzes kann auch z. B. eine Auslegung auf eine Zeitdauer (Reaktionszeit) von 2 s (siehe Tabelle 5) erfolgen. Diese im Vergleich zur Zeitbasis von 0,25 s für Laser der Klasse 2 größere Zeitdauer ermöglicht die Ausführung aktiver Schutzreaktionen, d. h. bewusster Abwendungsreaktionen.

Der maximal zulässige spektrale Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ beträgt demnach bei vorgegebener Laserleistung P in mW

$$\tau(\lambda) \leq \frac{1 \text{ mW}}{P} \quad \text{bei 0,25 s Reaktionszeit bzw. Zeitbasis}$$

bzw.

$$\tau(\lambda) \leq \frac{0,6 \text{ mW}}{P} \quad \text{bei 2 s Reaktionszeit}$$

Bei gepulsten Lasern ergibt sich der maximale spektrale Transmissionsgrad an der Laserwellenlänge aus der Impulsenergie Q in J des Lasers zu

$$\tau(\lambda) \leq \frac{2 \cdot 10^{-7} \text{ J}}{Q} \quad \text{bei 0,25 s Reaktionszeit bzw. Zeitbasis}$$

bzw.

$$\tau(\lambda) \leq \frac{1,2 \cdot 10^{-7} \text{ J}}{Q} \quad \text{bei 2 s Reaktionszeit}$$

DIN EN 208 definiert die Schutzstufen RB 1 bis RB 5 (Tabelle 5) für Laser-Justierbrillen.

Die obere Grenze des spektralen Transmissionsgrades in Tabelle 5 ergibt sich aus der Sicherheitsanforderung gemäß der Gleichungen unter 6.2 b), die untere Grenze aus der Forderung, dass diffus reflektierte Strahlung noch durch die Justierbrille sichtbar sein soll.

Die Auswahl des Augenschutzes richtet sich dabei im Wesentlichen nach der vom Laser abgegebenen Leistung bzw. Energie.

Die Anwendung der Reaktionszeit von 2 s (Spalte 3 und 5) sollte immer dann angewendet werden, wenn davon ausgegangen werden kann, dass zufällig oder unbewusst länger als 0,25 s in den Strahl oder in den reflektierten Strahl geblickt werden kann (siehe auch Abschnitt 4.1, TROS Laserstrahlung Teil 2).

Schutzstufe	Maximale Laserleistung für Dauerstrichlaser Zeitbasis 0,25 s	Maximale Laserleistung für Dauerstrichlaser Reaktionszeit bis 2 s	Maximale Energie für Impulslaser- Zeitbasis 0,25 s	Maximale Energie für Impulslaser Reaktionszeit bis 2 s	Bereich des spektralen Transmissionsgrades
RB 1	10 mW	6 mW	$2 \cdot 10^{-6} \text{ J}$	$1,2 \cdot 10^{-6} \text{ J}$	10^{-1} bis 10^{-2}
RB 2	100 mW	60 mW	$2 \cdot 10^{-5} \text{ J}$	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ J}$	10^{-2} bis 10^{-3}
RB 3	1W	600 mW	$2 \cdot 10^{-4} \text{ J}$	$1,2 \cdot 10^{-4} \text{ J}$	10^{-3} bis 10^{-4}
RB 4	10 W	6 W	$2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$1,2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	10^{-4} bis 10^{-5}
RB 5	100 W	60 W	$2 \cdot 10^{-2} \text{ J}$	$1,2 \cdot 10^{-2} \text{ J}$	10^{-5} bis 10^{-6}

Tabelle 5: Anwendungsbereich und spektraler Transmissionsgrad der Laser-Justierbrillen (nach DIN EN 208)

Diffuse Reflexionen:

Wie in Abb. 2 angedeutet, soll bei der Verwendung von Laser-Justierbrillen die durch eine diffus reflektierende Oberfläche gestreute Laserstrahlung durch den Justierfilter betrachtet werden. Insbesondere bei höheren Schutzstufen muss der diffuse Reflektor für die Leistungsdichte bzw. Energiedichte ausgelegt sein. Bei Bestrahlung durch den Laser sollte die Oberfläche weder zerstört noch modifiziert werden. Oberflächen mit merklichem Glanzanteil sollten keine Verwendung finden.

Da aber reale Diffusoren dennoch oft eine Überhöhung der Reflexionscharakteristik in Richtung des Spiegelwinkels aufweisen, sollte vermieden werden, in dieser Richtung auf die Oberfläche zu blicken.

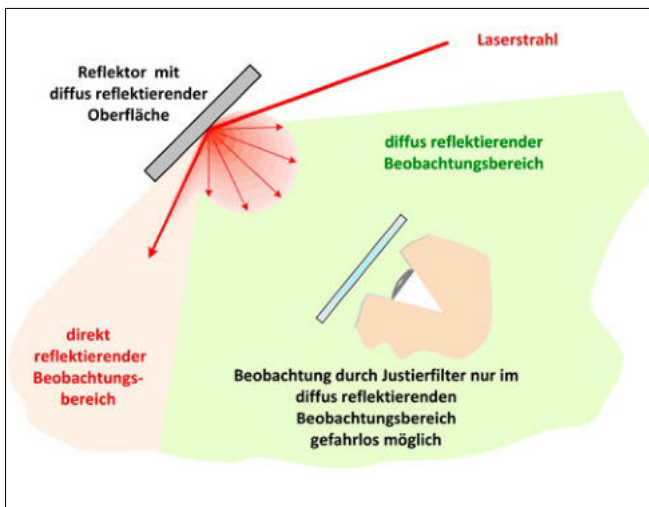


Abb. 2 Prinzipielle Verwendungsweisen von Laser-Justierbrillen

Anmerkung 1:

Es gibt oftmals Laser die auch im Wellenlängenbereich von 700 nm bis 780 nm justiert werden sollen. Hierbei muss im Gegensatz zum Konzept der 0,25 s die Zeitbasis von 5 s (Betrachtungszeit) angewendet werden.

Anmerkung 2:

Die Verwendung einer Laser-Justierbrille mit einer höheren Schutzstufe als derartig nach Tabelle 5 bestimmt, würde die Helligkeit der diffusen Streubilder insbesondere im blauen oder roten Wellenlängenbereich, wie sie bei Justierarbeiten verwendet werden sollen, verringern. Deshalb sollten die Laser-Justierbrillen sorgfältig nach dieser Tabelle ausgewählt werden.

6.2 Auswahl von Laser-Justierbrillen

a) Dauerstrichlaser

Die bestimmungsgemäße Verwendung der Laser-Justierbrillen bei Dauerstrichlasern fasst die 2. Spalte (Zeitbasis 0,25 s) und 3. Spalte (Reaktionszeit 2 s) von Tabelle 5 zusammen. Die angegebene Leistung bezieht sich dabei auf Laserstrahldurchmesser von maximal 7 mm. Ist der Querschnitt des Laserstrahls wesentlich größer, so kann bei der Auswahl der Bruchteil der Leistung zugrunde gelegt werden, der durch eine 7mm-Blende fallen würde.

Die Angabe der maximalen Laserleistung für Dauerstrichlaser für eine Reaktionszeit von 2 s berücksichtigt das häufige Ausbleiben des Lidschlussreflexes.

Es ist diejenige Schutzstufe auszuwählen, deren zugeordnete Leistung die Leistung des jeweiligen Lasers abdeckt.

b) Gepulste Laser

Die bestimmungsgemäße Verwendung der Laser-Justierbrillen für gepulste und „quasikontinuierliche“ Laser fasst die 4. Spalte (Zeitbasis 0,25 s) und 5. Spalte (Reaktionszeit 2 s) von Tabelle 5 zusammen. Die angegebene Energie bezieht sich dabei auf Laserstrahldurchmesser von maximal 7 mm. Ist der Querschnitt des Laserstrahls wesentlich größer, so kann bei der Auswahl der Bruchteil der Energie zugrunde gelegt werden, der durch eine 7mm-Blende fallen würde.

Die Angabe der maximalen Laserenergie für Impulslaser für eine Reaktionszeit von 2 s berücksichtigt das häufige Ausbleiben des Lidschlussreflexes.

b1) Langsame Impulsfolgen (Frequenz $\leq 0,1 \text{ s}^{-1}$)

Für langsame Impulsfolgen und Impulsängen zwischen 10^{-9} s und $2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$ können die Laser-Justierfilter nach Spalte 4 von Tabelle 5 ausgewählt werden.

Es ist diejenige Schutzstufe auszuwählen, deren zugeordnete Energie die Energie des jeweiligen Lasers abdeckt.

b2) Schnelle Impulsfolgen (Frequenz $> 0,1 \text{ s}^{-1}$)

Bei wiederholt gepulsten Lasern mit einer Impulswiederholfrequenz über 0,1 Hz muss zur ermittelten Impulsenergie ein Korrekturfaktor angewendet werden. Der Grund ist der kumulative Effekt, wenn mehrere Laserimpulse auf die gleiche Stelle treffen. Dabei gibt es eine wellenlängenabhängige Grenzzeit T_i (siehe Tabelle 6), unterhalb derer dieser Effekt sich nicht mehr weiter auswirkt. Es sind folgende Fälle zu unterscheiden:

1. Die Impulsperiode ist größer als T_i (bzw. $\nu < \nu_i$)

$$Q' = Q \cdot N^{1/4}$$

N ist die Impulszahl während der Dauer von 5 s.

Bei gleichmäßigen Impulsfolgen gilt:

$$N = \nu \cdot 5 \text{ s}$$

2. Die Impulsperiode ist gleich oder kleiner als die Zeit T_i (bzw. $\nu \geq \nu_i$)

$$Q' = Q \cdot N^{1/4}$$

Hierbei ist Q die Energie des einzelnen Pulses bzw. bei größeren Strahldurchmessern die Einzelimpulsenergie, die durch eine 7mm-Blende fällt.

N' ist die fiktive Impulszahl während der Dauer von 5 s bei der fiktiven Impulsfrequenz ν_i

Bei gleichmäßigen Impulsfolgen gilt:

$$N'^{1/4} = (\nu_i \cdot 5 \text{ s})^{1/4} = 23$$

c) unregelmäßige Impulsfolgen

Hier ist analog zu a) und b) die Zahl der Impulse in der Betrachtungszeit 5 s auf Basis des energiereichsten Impulses sowie des Impulses mit der maximalen Impulsspitzenleistung und maximaler Impulswiederholfrequenz zu bestimmen.

Ist ein Laser unregelmäßig gepulst (besitzt er keine konstante Impulswiederholfrequenz ν), dann ist bei der Impulsbestimmung der energiereichste Impuls und der Impuls mit der maximalen Spitzenleistung zusätzlich zu bewerten.

Beispiel (regelmäßige Impulsfolge):

Ein Laser, Wellenlänge 670 nm, ist mit einer Impulswiederholfrequenz von 100 kHz gepulst, die Impulsdauer beträgt $5 \mu\text{s}$ ($= 5 \cdot 10^{-6} \text{ s}$); $Q_{\text{EI}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ J}$. Die Fläche A_{63} beträgt $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.

Da die Impulsdauer kleiner ist als die Dauer von T_i wird zur weiteren Berechnung die Grenzfrequenz 55560 Hz angesetzt.

Für 5 s ergibt sich $N'(5 \text{ s}) = 277800$.

$$N'^{0,25} \approx 23$$

$$Q' = 5 \cdot 10^{-6} \text{ J} \cdot 23 = 0,000115 \text{ J} = 115 \mu\text{J}.$$

Dies ergibt eine Schutzstufe RB 3.

Für Q bzw. Q' kann die erforderliche Schutzstufe aus den entsprechenden Spalten für Impuslaser der Tabelle 5 entnommen werden.

Wellenlänge in nm	T_i / [s]	ν_i / [Hz]	$N'^{0,25}$
$400 \leq \lambda < 700$	$18 \cdot 10^{-6}$	$55,56 \cdot 10^3$	23

Tabelle 6: Zeit T_i , unterhalb derer Impulsgruppen aufsummiert werden müssen und maximal anzuwendende Frequenz $\nu_{\text{max}} = \nu_i = 1 / T_i$

7 Modellauswahl von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen

Laser werden heute in vielen Bereichen der Messtechnik, Industrie und Medizin eingesetzt.

In vielen Fällen sind die potenziell gefährlichen Laserquellen der Klassen 3R, 3B oder 4 gekapselt, so dass im Normalbetrieb nur Laser-Einrichtungen der Klasse 1 vorliegen (ausführliche Beschreibung siehe TROS Laserstrahlung Teil 1 und 3). Hierbei braucht dann keine Laser-Schutzbrille getragen zu werden. Achtung: Dies gilt nicht uneingeschränkt für alle Klassifizierungen gemäß DIN EN 60825-1:2015. Bei z. B. Service-, Wartungs- oder Laborarbeiten muss aber in aller Regel die persönliche Laser-Schutzbrille oder Laser-Justierbrille zum Einsatz kommen.

Hinweis:

Die DIN EN 60825-1:2015 (VDE 0837-1:2015) sieht neue MZB-Werte für die Klassifizierung sowie eine neue Laserklasse 1C vor. Bei der so neu definierten Laserklasse 1C können insbesondere bei gepulster Laserstrahlung die Expositionsgrenzwerte der OStrV deutlich überschritten werden. Bei der Verwendung von Lasern, die so klassifiziert wurden, müssen geeignete Schutzmaßnahmen wie bei den Laserklassen 3R und 3B oder der Laserklasse 4 getroffen werden.

Unter bestimmten Betriebsbedingungen können bei der Laserklasse 1 gemäß DIN EN 60825-1:2015 die Expositionsgrenzwerte für gepulste Laserstrahlung oder für Laserstrahlung im Bereich zwischen $1200 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1400 \text{ nm}$ um Größenordnungen überschritten werden.

Wurde die notwendige Schutzstufe bestimmt, muss als nächstes je nach Einsatz ein entsprechendes Gestell ausgewählt werden. Da für die Berechnung der Schutzstufen meist komplexe Berechnungen notwendig sind, existieren deshalb am Markt Berechnungsprogramme.

Je nach Einsatzzeit und Anforderung an die Sehaufgabe sollen unterschiedliche Gestellformen ausgewählt werden. Muss zum Beispiel die Laser-Schutzbrille im Laufe des Jahres nur kurz (weniger als 50 Stunden im Jahr) getragen werden und müssen keine Arbeiten mit hohen Sehanforderungen durchgeführt werden, so kann in der Regel ein Korbgestell gewählt werden.

Müssen häufiger Arbeiten mit der Brille durchgeführt werden, so erhöht sich bei schweren, hermetisch abgeschlossenen Fassungen die Gefahr, dass die Brillen beschlagen und die Möglichkeit von Sekundärunfällen erhöht wird. Deshalb sollten dann, sofern möglich, leichte Bügelgestelle gewählt werden.

Wird jedoch an Hochleistungslasern von mehreren kW gearbeitet, so müssen in der Regel hermetisch abgeschlossene und daher oft schwere Fassungen verwendet werden, da andere Fassungsformen dieser Laserstrahlung nicht standhalten können.

Wenn verschiedene Laser-Schutzbrillen oder -Justierbrillen mit ausreichender Schutzwirkung zur Verfügung stehen (vorheriger Vergleich der angegebenen Wellenlängen sowie angegebenen Schutzstufen notwendig), sollten folgende Punkte (siehe auch DGUV Regel 112-192 und DGUV Regel 112-992) berücksichtigt werden:

- maximale Tageslichttransmission (unterhalb einer Tageslichttransmission von 20 % muss für eine zusätzliche Beleuchtung gesorgt werden),
- Prüfung, ob Filter Farbverfälschung hervorrufen. D. h. müssen bestimmte Farben erkannt werden, dann sollten, wenn technisch machbar, Filter ausgesucht werden, die eine geringe Farbverfälschung hervorrufen (z. B. wichtig bei der Erkennung von Warnsignalen),
- Antifog/Antibeslag, insbes. in Kombination mit Atemschutz,
- Frage klären, ob die Schutzbrille über eine Korrektionsbrille (Sehhilfe) passen muss,
- Wenn die Schutzbrille nicht mit einer Korrektionsbrille kombiniert werden muss, ist eine Bügelbrille wegen besserer Hinterlüftung vorzuziehen.

Eine weitere Alternative sind Bügelbrillen mit Korrektioneinsatz.

Wird die Brille von wechselnden Personen, z. B. von Besuchern, getragen, ist eine möglichst universelle Passform anzustreben.

Hinweis: Dann sind die Brillen vor jedem Gebrauch mit einem neutralen, handelsüblichen Reinigungsmittel zu reinigen. Es werden die Stellen feucht abgewischt, die mit Haut in Kontakt kommen. Des Weiteren besteht auch teilweise die Möglichkeit, bei einigen am Markt befindlichen Laser-Schutzbrillen die Pads auszutauschen.

- Um den Tragekomfort zu erhöhen, sollte unter Beachtung der notwendigen Schutzstufen für die jeweilige Laserbetriebsart und Wellenlänge Schutzausrüstung von möglichst geringem Gewicht ausgesucht werden.
- Auf den sicheren Sitz der Brille muss geachtet werden, da die jeweiligen Träger unterschiedliche Kopfformen haben. Hier müssen bei der Beschaffung der Persönlichen Schutzausrüstung (PSA) unbedingt die persönlichen Belange des Trägers mit berücksichtigt werden, um die Trageakzeptanz von Laserschutzprodukten zu erhöhen.
- Bei medizinischen Anwendungen sind ggf. besondere Augenschutzprodukte für Patienten anzuraten, vor allem für Behandlungen im Gesichtsbereich.
- Die Arbeitsumgebung soll in Betracht gezogen werden, in der die Brille eingesetzt werden soll. Absorptionsbrillen sind gegenüber Brillen mit dielektrischen Schichten vorzuziehen, wenn die Umgebungsbedingungen rau sind und die Sichtgläser leicht zerkratzt werden können.

Anmerkung:

siehe auch Anhang 7, Beispiele für Laser-Schutzbrillen

8 Persönliche Schutzausrüstung (Anwendung und Pflege)

8.1 Allgemeine Hinweise zum Arbeiten mit Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen

Alle Personen, die sich in Gefahrenbereichen (Laserbereichen, d. h. Bereichen innerhalb derer die EGW überschritten werden können) aufhalten, müssen Laser-Schutzbrillen tragen.

Durch zufällige Reflexion von Laserstrahlung, z. B. durch Reflexe an spiegelnden Teilen (auch an Brillen), durch Kippen oder Dejustieren optischer Bauteile, kann eine Gefährdung entstehen.

Anmerkung 1:

Die Unterweisung der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen muss vor Aufnahme der Tätigkeit erfolgen. Allgemein ist eine Unterweisung regelmäßig und mindestens jährlich durchzuführen. Sie ist zu dokumentieren.

Anmerkung 2:

Dort, wo das Personal Strahlungswerten ausgesetzt sein kann, die die EGW für die Haut überschreiten, sollte geeignete Schutzkleidung zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere sind Laser der Klasse 4 und ggf. auch Laser der Klasse 3B potenziell brandgefährlich. Deshalb sollte die Schutzkleidung aus geeignetem flammen- und hitzebeständigem Material bestehen.

Besondere Aufmerksamkeit ist der Widerstandsfähigkeit und Beständigkeit gegen Laserstrahlung zu widmen, wenn Kleidung zum Schutz gegen Laser der Klasse 4 und ggf. 3B ausgewählt wird.

Wichtige Punkte sind z. B.:

- Man beachte, dass die Verwendung für andere Anwendungsbereiche (andere Wellenlänge oder andere Leistung) als ursprünglich berechnet, zu einem bleibenden Augenschaden führen kann.
- Der Anwender oder die Anwenderin sollte daher vor jeder Benutzung die Übereinstimmung von Betriebsart, Wellenlänge und Schutzstufe mit den Sicherheitsvorschriften für den Arbeitsplatz überprüfen.
- Die Kennzeichnung auf der Brille gibt den nach der jeweiligen DIN EN (in der Regel 207 oder 208) geprüften Wellenlängenbereich, die Betriebsart und die Schutzstufe an (siehe auch Anhang 8). Im Zweifelsfall sollte sich der Anwender oder die Anwenderin an den Laserschutzbeauftragten wenden.
- Laser-Schutzbrillen dienen als Schutz der Augen vor einem zufälligen direkten Auftreffen des Laserstrahls. Sie sind nicht für den dauernden Blick in den direkten oder spiegelnd reflektierten Laserstrahl geeignet.

- Beim Tragen von farbigen Filtern aus Glas oder Kunststoff kann es zur Verfälschung des Farbsehens kommen. Bei Laser-Schutzbrillen mit niedriger Tageslichttransmission, d.h. Lichttransmissionsgrade kleiner als 20 %, sollte auf helle Räume, gute Ausleuchtung und ggf. zusätzliche Beleuchtung geachtet werden.
- Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen unterliegen den Europäischen Richtlinien zur Persönlichen Schutzausrüstung (PSA-Richtlinie 89/686/EWG und ab 21.04.2018 PSA-Verordnung 2016/425 (EU)). Sie sind nicht für den Straßenverkehr zugelassen.
- Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen müssen gemäß der PSA-Richtlinie 89/686/EWG und ab 21.04.2018 „PSA“ Verordnung 2016/425 (EU) mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet sein. Damit (und mit der Konformitätserklärung) drückt der Hersteller bzw. der Inverkehrbringer aus, dass er die gesetzlichen Vorgaben erfüllt hat; Brillen, Filter und Tragkörper wurden von einer EU-Benannten Stelle geprüft und zertifiziert. Brillen, bei denen diese Kennzeichnung fehlt, dürfen nicht eingesetzt werden.

Anmerkung:

Jede vom Benutzer vorgenommene Veränderung an einer Brille oder einem Filter, die nicht in der Benutzerinformation vorgesehen ist, kann dazu führen, dass der Benutzer zum Hersteller dieser geänderten Schutzbrille wird. Er ist dann verantwortlich, die Anforderungen des Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) zu erfüllen. So kann z. B. Lackieren der Brille die vom Hersteller angegebene Schutzstufe verringern.

8.2 Behandlungs- und Gebrauchshinweise

Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen sind hochwertige optische Produkte. Sie bedürfen der Pflege und Reinigung. Deshalb ist es unbedingt notwendig, folgende Hinweise zu beachten, damit die Laser-Schutzbrillen und die Laser-Justierbrillen den erforderlichen Schutz leisten.

Die Schutzbrillen sollen

- nach dem Gebrauch, zum Schutz, in dem zugehörigen Behälter verstaut werden, um sie so kurz wie möglich dem Tageslicht oder UV-Lampen-Strahlung auszusetzen;
- vor mechanischer Beanspruchung geschützt werden, Kratzer sind zu vermeiden;
- vor Substanzen wie z. B. Säuren, Laugen, Lösungsmitteln oder giftigen bzw. reaktiven Gasen und Dämpfen geschützt werden;
- nicht mit dem Filter nach unten abgelegt werden;
- nicht auf Heizungskörpern oder sich erwärmenden Geräten gelagert werden;
- trocken und im stabilen Behälter aufbewahrt werden.

Außerdem ist

- bei hoher Luftfeuchtigkeit auf gute Belüftung zu achten; am besten hohe Luftfeuchtigkeit vermeiden;
- der Laserschutz vor der Anwendung auf mechanische Beschädigungen oder Farbveränderungen zu überprüfen. Sollten Mängel festgestellt werden, ist die Brille ggf. durch den Hersteller zu überprüfen oder zu ersetzen;
- beim Tragen der Brillen auf den richtigen Sitz der Schutzbrille zu achten (z. B. muss das Kopfband fest sitzen);
- die Kennzeichnung auf der Brille zu prüfen;
- vor jeder Anwendung zu prüfen, ob auch die richtige Schutzbrille für den Arbeitsplatz verwendet wird (Unterweisung; bzw. ggf. besondere Kennzeichnung).

8.3 Reinigung und Pflege

In der Regel dürfen die Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen nur mit klarem Wasser und neutralem Reinigungsmittel (z. B. einem milden, haushaltsüblichen Glasreiniger) gesäubert und mit weichem Tuch sanft abgetrocknet werden.

Folgende Punkte sollten beachtet werden:

- Filter nicht trocken reinigen (Trockenschleifeffekt);
- nicht in Wasser legen;
- nicht mit Chemikalien oder scharfen Flüssigkeiten reinigen;
- nicht in Sterilisations- oder Desinfektionslösung legen, die nicht vom Hersteller vorgesehen ist;
- nicht im Ultraschallbad reinigen.

Instandsetzungen dürfen in der Regel nur vom Hersteller durchgeführt werden.

8.4 Besonderheiten bei Laserschutzprodukten mit Reflexionsschichten

Bei diesen Produkten besteht der Schutz größtenteils aus einer zwar sehr harten mechanisch stabilen aber auch sehr dünnen Schicht. Diese Schicht darf nicht beschädigt werden, da sonst die Brille ihre Schutzwirkung verliert. Selbst kleinste Kratzer können den Schutz beeinträchtigen.

Auch hier gilt: Brillen, die einen sichtbaren Fehler zeigen, sind vom LSB bzw. Hersteller zu kontrollieren.

Hohe Biege- und Torsionsspannung (z. B. beim Reinigen) sind grundsätzlich zu vermeiden.

8.5 Haltbarkeit von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen

Die Haltbarkeit kann nicht ohne weiteres angegeben werden, da die Haltbarkeit maßgeblich durch die Einsatzbedingungen / Umwelteinflüsse / Handhabung / Pflege etc. mit beeinflusst wird. Deshalb ist es unbedingt notwendig, sich vorher genauestens vom Hersteller beraten zu lassen, welche Laser-Schutzbrille für welche Einsatzbedingungen am besten geeignet ist.

Weiterhin wird empfohlen, Laser-Schutzbrillen in regelmäßigem Turnus vom Hersteller überprüfen zu lassen. Auch Brillen, die selten verwendet wurden, können nach 10 bis 15 Jahren ihren Schutz verlieren. Brillen mit einem beschädigten oder verkratzten Filter oder Farbveränderungen dürfen nicht mehr ohne Überprüfung verwendet werden. Bei Fassungen mit Innenkaschierung kann durch die Beschädigung dieser Kaschierung der Schutz beeinträchtigt sein.

Wenn keine Herstellerinformationen über die Haltbarkeit des Schutzproduktes vorliegen, dann soll das Produkt spätestens nach 10 Jahren in der Regel durch den Hersteller überprüft werden.

Falls Beschädigungen an der Schutzbrille auftreten oder Unsicherheit bezüglich der Schutzfunktion besteht, sollte der Hersteller befragt werden und ggf. die Schutzbrille überprüft werden. Die Überprüfung sollte folgende Kriterien beinhalten:

- Überprüfung von Schutzbrillen und Filtern auf Lasersicherheit;
- spektrale Vermessung (Filter und Schutzbrillen, soweit technisch machbar);
- Reparaturen wenn machbar und notwendig.

9 Laserabschirmung

Eine Schutzabschirmung ist eine Vorrichtung, die eine Gefährdung von Beschäftigten durch Laserstrahlung verhindern soll. Schutzabschirmungen haben in der Regel nur eine begrenzte Standzeit.

Abschirmungen, die zur temporären Abgrenzung von Laserbereichen dienen, z. B. bei der Instandhaltung von Laser-Einrichtungen oder bei der medizinischen Anwendung, sind geeignet, wenn sie der DIN EN 12254 entsprechen. Abschirmungen mit geringeren Beständigkeitsanforderungen als in der genannten Norm sind im Einzelfall zulässig, wenn sichergestellt wird, dass die Laser-Einrichtung rechtzeitig vor dem Versagen der Abschirmung abgeschaltet werden kann (siehe auch Anhang 12: Auswahl von Abschirmungen für Laserarbeitsplätze zum Schutz gegen zufällige Bestrahlung nach DIN EN 12 254).

Hinweis:

Die DIN EN 12254 gilt nicht für „Laserumschließungen“ und Lasergehäuse, die Teil der Laser-Einrichtung sind oder zum Anbau an ein Lasersystem geliefert werden, um eine Laser-Einrichtung (nach DIN EN 60825-1) zu bilden. Für diese Einhausungen (Umschließungen) gilt die DIN EN 60825-4.

Anhang 1

Laserspezifische Regelungen

Laserspezifische Regelungen sind unter anderem in den folgenden Normen, DGVU Regeln, DGVU Informationen und Merkblättern enthalten:

1	ProdSG	Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz - ProdSG)
2	PSA-Benutzerverordnung (PSA-BV)	Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzerverordnung - PSA-BV)
3	ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
4	BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
5	DGVU Regel 112-192, DGVU Regel 112-992	Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz
7	DGVU Information 203-036	Laser-Einrichtungen für Show- und Projektionszwecke
8	DIN EN 207:2017	Persönlicher Augenschutz - Filter und Augenschutzgeräte gegen Laserstrahlung (Laser-Schutzbrillen)
9	DIN EN 208:2010-04	Persönlicher Augenschutz – Augenschutzgeräte für Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justierbrillen)
10	DIN EN 12254:2012-04	Abschirmungen an Laserarbeitsplätzen; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
11	DIN 56912:1999-04	Showlaser und Showlaseranlagen – Sicherheitsanforderungen und Prüfung
12 a	DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1):2008-05	Sicherheit von Lasereinrichtungen-Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen
12 b	DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1):2015-07	Sicherheit von Lasereinrichtungen-Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen <i>Achtung: Beim Einsatz von Lasern, die nach dieser Norm klassifiziert werden, können auch bei Lasern der Klassen 1, 1M und 2M die EGW nach TROS Laserstrahlung überschritten werden!</i>
13	DIN EN 60825-2 (VDE 0837-2):2011-06	Sicherheit von Lasereinrichtungen-Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen
14	DIN EN 60825-4 (VDE 0837-4):2011-12	Sicherheit von Lasereinrichtungen-Teil 4: Laserschutzwände
15	DIN EN ISO 11553-1:2009-03	Sicherheit von Maschinen - Laserbearbeitungsmaschinen - Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen
16	DIN EN ISO 11553-2:2009-03	Sicherheit von Maschinen - Laserbearbeitungsmaschinen - Teil 2: Sicherheitsanforderungen an handgeführte Laserbearbeitungsgeräte
17	DIN EN ISO 13694:2016-08	Optik und Photonik - Laser und Laseranlagen - Prüfverfahren für die Leistungs-(Energie-)dichteverteilung von Laserstrahlen
18	DIN EN ISO 11146-1:2005-04	Laser und Laseranlagen - Prüfverfahren für Laserstrahlmessungen, Divergenzwinkel und Beugungsmaßzahlen - Teil 1: Stigmatische und einfach astigmatische Strahlen
19	DIN EN ISO 11146-2:2005-05	Laser und Laseranlagen - Prüfverfahren für Laserstrahlmessungen, Divergenzwinkel und Beugungsmaßzahlen - Teil 2: Allgemein astigmatische Strahlen
20	Technische Regeln TROS Laserstrahlung	Teil Allgemeines Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung Teil 3: Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung
21	OStRV (GV 18/BG ETEM)	Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStRV)

Anhang 2

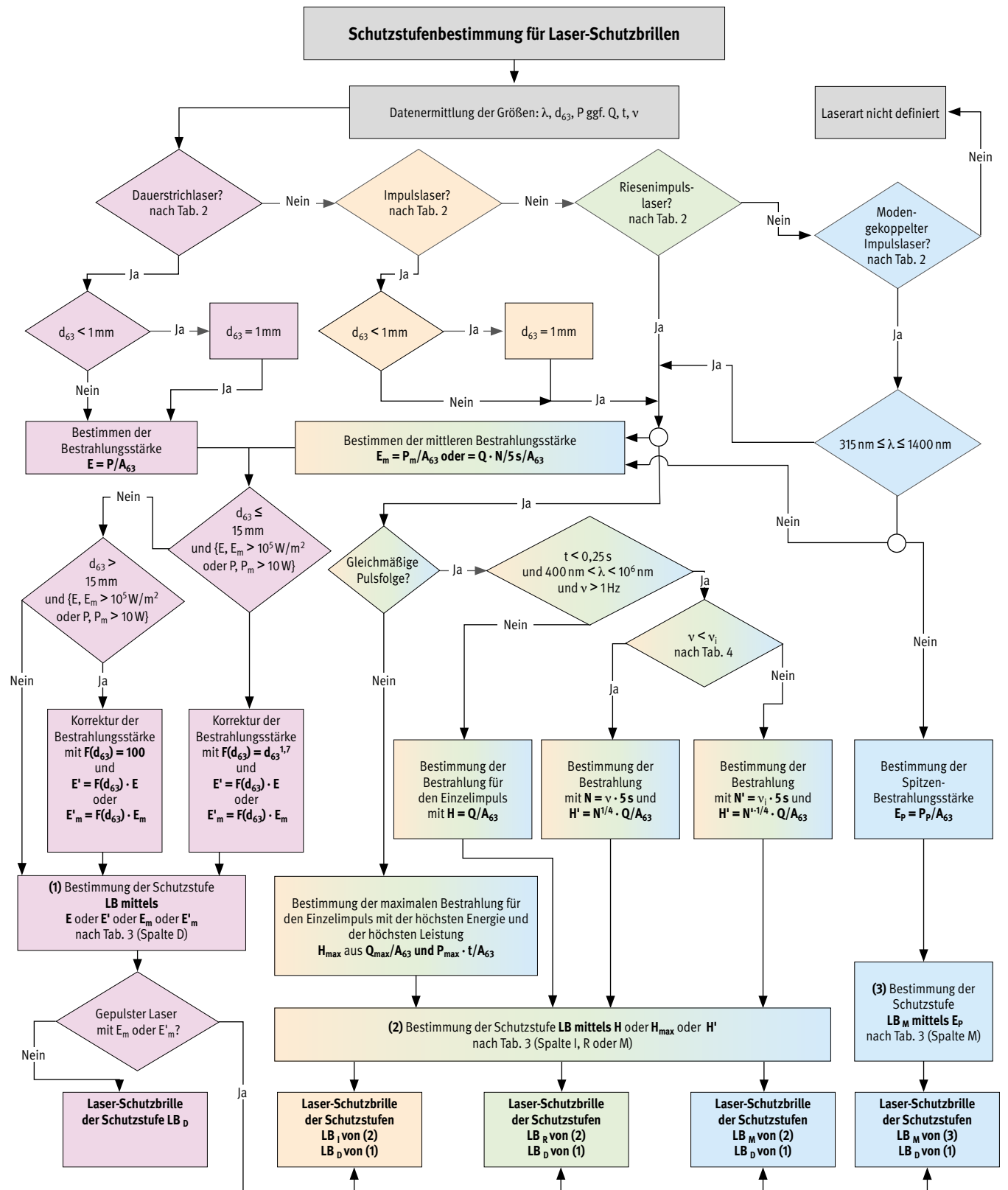
Checkliste zur Auswahl von Laserschutz- und Laser-Justierbrillen

Bei der Auswahl und der Benutzung von Laserschutz- und Laser-Justierbrillen sind folgende Punkte bzw. Fragen mit ja zu beantworten:

	Checkliste	
1	Ist oder kann der Laser sicher (auch für die Wartung) gekapselt werden (ohne Einsatz von Laser-Schutzbrillen)?	<input type="checkbox"/>
2	Werden die Laserschutzbeauftragten (für die Klassen 3R, 3B und 4 notwendig) einbezogen?	<input type="checkbox"/>
3	Wurde geprüft, welche Tätigkeit an dem Laser ausgeführt werden soll? a) Normalbetrieb b) Justierung c) Wartung d) Service e) Offener dauernder Betrieb (z. B. Entwicklungslabor)	<input type="checkbox"/>
4	Wurde die notwendige Schutzstufe der Laser-Schutzbrille oder Laser-Justierbrille (bei sichtbaren Lasern im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm, sofern diffuse Strahlung beobachtet werden soll) bestimmt?	<input type="checkbox"/>
5	Wurden betroffene Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen bei der Auswahl der geeigneten persönlichen Laser-Schutzbrillen oder Laser-Justierbrillen beteiligt?	<input type="checkbox"/>
6	Ist eine Unterweisung der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen erfolgt und dokumentiert?	<input type="checkbox"/>
7	Wurde eine eventuell vorhandene Fehlsichtigkeit (Korrektionsschutzbrille) bei der Auswahl berücksichtigt?	<input type="checkbox"/>
8	Bei der Beschaffung der Schutzbrille muss diese mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet sein. Die Nummer der notifizierten Stelle (siehe PSA-Benutzerverordnung) muss in der Benutzerinformation angegeben werden.	<input type="checkbox"/>
9	Sind die Arbeitsplätze, an denen die Laser-Schutzbrille und Laser-Justierbrille getragen werden muss, mit dem Gebotszeichen M 01 „Augenschutz benutzen“ ASR 1.3 gekennzeichnet?	<input type="checkbox"/>
10	Wurde bei der Anwendung von Excimer-Lasern zusätzlich geprüft, ob ein Gesichtsschutzschirm gegen die UV-Streustrahlung getragen werden muss?	<input type="checkbox"/>
11	Wurden bei der Beschaffung der Laser-Schutzbrillen oder Laser-Justierbrillen weitere Aspekte wie Design und Tragekomfort berücksichtigt? Hierdurch kann eine hohe Trageakzeptanz erreicht werden! Beispiel: Beschlagen der Brille bei Benutzung im Freien	<input type="checkbox"/>
12	Bei Hochleistungslasern: Die maximale optische Belastung der Brille beim Hersteller für große Strahldurchmesser erfragen und beachten	<input type="checkbox"/>

Anhang 3

Flussdiagramm zur Berechnung der Schutzstufe von Laser-Schutzbrillen



Legende

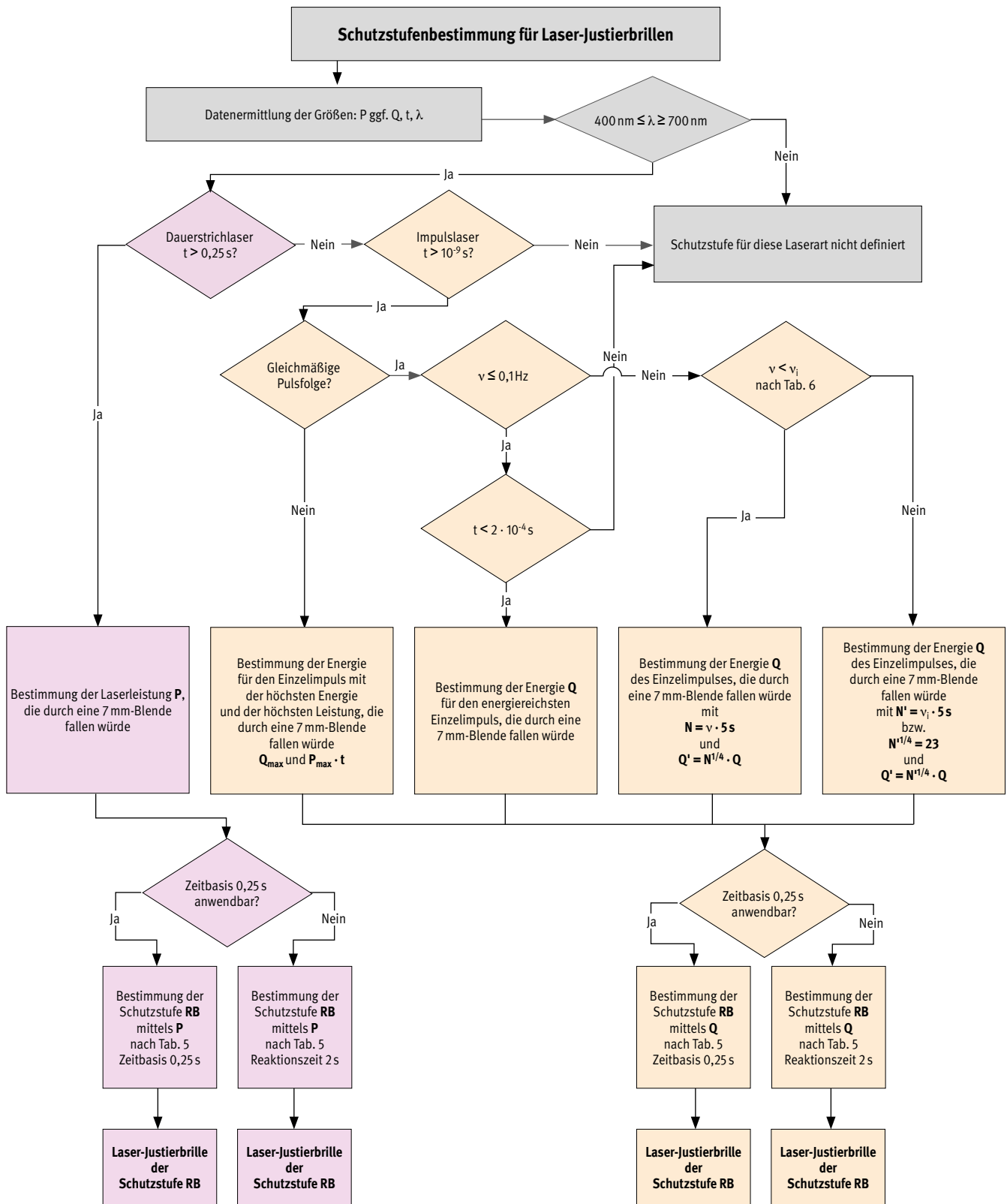
A_{63} Strahlquerschnittfläche [m²]
 d_{63} Strahldurchmesser [mm]
 λ Wellenlänge [nm]
 t Impulsdauer [s]

P Leistung [W]
 E Bestrahlungsstärke [W/m²]
 Q Einzel-Impulsenergie [J]
 H Impulsbestrahlung [J/m²]
 N Anzahl der Impulse innerhalb von 5 s
 v Impuls wiederholfrequenz [Hz]

LB Schutzstufe der Laser-Schutzbrille
 LB_I Schutzstufe für Impuls laser (Tab. 3, Spalte I, R)
 LB_R Schutzstufe für Riesenimpuls laser (Tab. 3, Spalte I, R)
 LB_M Schutzstufe für Modengekoppelte Impuls laser (Tab. 3, Spalte M)
 LB_D Schutzstufe für Dauerstrich laser (Tab. 3, Spalte D)
 v_i gemäß Tab. 4 anzuwendende Impuls wiederholfrequenz [Hz]

Anhang 4

Flussdiagramm zur Schutzstufenbestimmung für Laser-Justierbrillen



Legende

λ Wellenlänge [nm]

RB Schutzstufe der Laser-Justierbrille

P Leistung [W]

Q Impulsenergie [J]

t Impulsdauer [s]

ν Impulsfrequenz [Hz]

ν_i gemäß Tab. 6 anzuwendende Impulsfrequenz [Hz]
von $55,56 \cdot 10^3$ Hz

N Anzahl der Impulse innerhalb von 5 s

Anhang 5

Beispiel für die Berechnung von Laser-Schutzbrillen

Für einen Laser mit einer Wellenlänge von 940 nm wird eine Laser-Schutzbrille benötigt. Der Laser wird mit Einzelimpulsen der Dauer von 10 μ s und einer Impulswiederholfrequenz von 25 kHz gepulst. Die Einzelimpulsenergie beträgt 4 mJ. Der Laserhersteller gibt einen Durchmesser direkt am Strahlaustritt von $d_{63} = 20$ mm und einen Divergenzwinkel φ von 220 mrad an.

Anmerkung:

Der Divergenzwinkel φ entspricht dem Öffnungswinkel Θ in Anhang 12 Strahldurchmesser

Gegebene Größen:

$$\lambda = 940 \text{ nm}$$

$$d_{63} = 20 \text{ mm} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varphi = 220 \text{ mrad} = 0,22 \text{ rad}$$

$$t = 10 \mu\text{s} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$\nu = 25 \text{ kHz} = 25 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

$$Q = 4 \text{ mJ} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Für die Bestimmung des Strahldurchmessers kann folgende Formel herangezogen werden:

$$d_{63-10} = \tan(\varphi/2) \cdot 2 \cdot r + d_{63-0} = \tan(0,22\text{rad}/2) \cdot 2 \cdot 0,1\text{m} + 0,02 \text{ m} = 0,042 \text{ m}$$

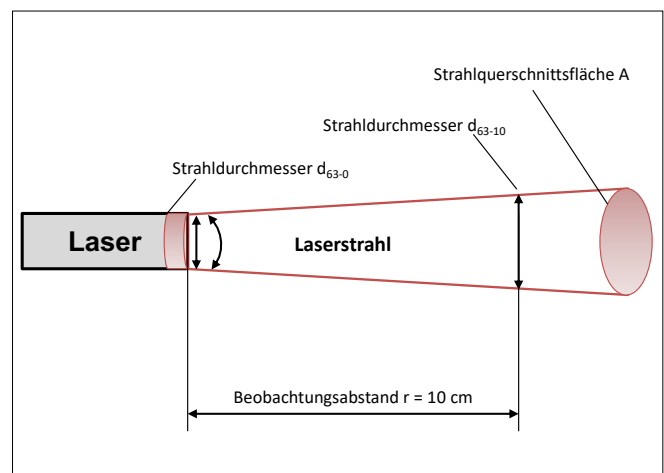


Abb. A5.1 Übersicht Strahlausbreitung

A5.1 Bestimmung der Laserbetriebsart nach Tabelle 2

Gemäß der Impulsdauer t von $10 \cdot 10^{-6}$ s und der Wellenlänge $\lambda = 940$ nm wird ein Impulslaser (I) als Laserbetriebsart bestimmt.

Gemäß Tabelle 4 beträgt $\nu_i = 55,56$ kHz für $\lambda = 940$ nm.

Da $\nu = 25$ kHz $<$ $\nu_i = 55,56$ kHz wird nachfolgend mit der Impulswiederholfrequenz von $\nu = 25$ kHz weitergerechnet.

A5.2 Bestimmung der Energiedichte des Einzelimpulses

A5.2.1 Bestimmung des Korrekturfaktors $N^{1/4}$

$$N^{1/4} = (25 \cdot 10^3 \cdot 5)^{1/4} = 18,8$$

A5.2.2 Bestimmung des Strahldurchmessers in einem Abstand von 10 cm (üblicher Beobachtungsabstand vom Auge zum Beobachtungsobjekt):

$$r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

A5.2.3 Bestimmung der Energiedichte des Einzelimpulses

Die Strahlquerschnittsfläche entspricht einer Kreisfläche. Somit kann die Energiedichte des Einzelimpulses mittels der Formel für Kreisflächen bestimmt werden:

$$A_{63} = (d_{63-10}/2)^2 \cdot \pi = (0,042/2)^2 \cdot \pi = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Somit ergibt sich für die Energiedichte des Einzelimpulses:

$$H = Q/A_{63} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ J} / 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 2,87 \text{ J/m}^2$$

A5.2.4 Bestimmung der korrigierten Energiedichte des Einzelimpulses

Die korrigierte Energiedichte des Einzelimpulses ergibt sich aus:

$$H' = H \cdot N^{1/4} = 2,87 \text{ J/m}^2 \cdot 18,8 = 53,95 \text{ J/m}^2$$

A5.3 Bestimmung der Schutzstufe für den Impulsbetrieb

Gemäß der Tabelle 3 sowie der Wellenlänge $\lambda = 940 \text{ nm}$, der Betriebsart I und der korrigierten Energiedichte des Einzelimpulses $H' = 53,95 \text{ J/m}^2$ ergibt sich die Schutzstufe:

I: LB 5

A5.4 Bestimmung der Leistungsdichte für den Dauerstrichbetrieb

Die mittlere Leistung P errechnet sich aus:

$$P = Q \cdot \nu = 4 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot 25 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{s} \cdot 25 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1} = 100 \text{ W}$$

Somit ergibt sich für die Leistungsdichte:

$$E = P/A = 100 \text{ W} / 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 71,94 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$$

Da die mittlere Leistung $P > 10 \text{ W}$ ist muss der Korrekturfaktor $F(d_{63}) = 100$ für $d_{63} > 15 \text{ mm}$ berücksichtigt werden.

Die korrigierte Bestrahlungsstärke erhält man durch:

$$E' = E \cdot F(d_{63}) = E \cdot 100 = 71,94 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot 100 = 71,94 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$$

A5.5 Bestimmung der Schutzstufe für den Dauerstrichbetrieb (D)

Gemäß der Tabelle 3 sowie bei der Wellenlänge $\lambda = 940 \text{ nm}$, der Betriebsart D und der Leistungsdichte $E = 7,19 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$ ergibt sich die Schutzstufe:

D: LB 6

Ergebnis:

Die Laser-Schutzbrille muss für die Wellenlänge $\lambda = 940 \text{ nm}$ die Schutzstufen I: LB 5 und D: LB 6 aufweisen.

Beispiel (regelmäßige Impulsfolge, Impulsperiode ist kleiner als die Zeit T_i gemäß Tabelle 4):

Ein Laser, Wellenlänge 1064 nm , sendet mit einer Frequenz von $\nu = 40 \text{ kHz}$ Impulse von $5 \mu\text{s}$ Dauer aus.

Gemäß Tabelle 4 beträgt $\nu_i = 20 \text{ kHz}$ für $\lambda = 1064 \text{ nm}$. Da $\nu = 40 \text{ kHz} > \nu_i = 20 \text{ kHz}$ wird nachfolgend mit der Impuls wiederholfrequenz von $\nu_i = 20 \text{ kHz}$ weitergerechnet.

Die daraus ermittelte Impulszahl N' für 5 s beträgt:

$$N'(5 \text{ s}) = 5 \text{ s} \cdot \nu_i = 5 \text{ s} \cdot 20 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1} = 100000$$

$$\text{Faktor } N'^{1/4} = (100000)^{1/4} = 17,78$$

Anhang 6

Vereinfachte EGW – gemäß TROS Laserstrahlung (Teil 2, Anlage 4 A 4.2)

Um die Laser-Schutz- und Laser-Justierbrillen berechnen zu können, muss überprüft werden, ob der EGW eingehalten wird.

Die folgende Tabelle A6.1 ermöglicht eine schnellere Überprüfung zur sicheren Seite.

Wellenlängenbereich	Bestrahlungsstärke E in W/m ²				Bestrahlung H in J/m ²			
	D		M		M		I, R	
nm	Expositions-dauer s	W/m ²	Expositions-dauer s	W/m ²	Expositions-dauer s	J/m ²	Expositions-dauer s	J/m ²
$180 \leq \lambda < 315$	bis 30 000	0,001	$< 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{10}$	–	–	$> 10^{-9}$ bis $3 \cdot 10^4$	30
$315 \leq \lambda < 1400$	$> 5 \cdot 10^{-4}$ bis < 10	10	–	–	$< 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$> 10^{-9}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$	0,005
$1400 \leq \lambda \leq 10^6$	$> 0,1$ bis 10	1000	$< 10^{-9}$	10^{11}	–	–	$> 10^{-9}$ bis 0,1	100

Tabelle A6.1: Vereinfachte Expositionsgrenzwerte (EGW) auf der Hornhaut des Auges

Achtung: Der vereinfachte Expositionsgrenzwert im UV-A-Bereich 315 nm bis < 400 nm gilt hier nur bis 1000 s. Da die Strahlung nicht sichtbar ist, muss in der Gefährdungsbeurteilung geprüft werden, ob man als maximale Expositionsdauer 1000 s wählen kann. Für Expositionsdauern größer als 1000 s muss die Berechnung nach Abschnitt 5 durchgeführt werden.

Die Tabelle A6.1 gibt die vereinfachten EGW an, deren Überschreitung Schutzmaßnahmen erforderlich machen. (Die Tabelle gibt vereinfachte Grenzwerte zur sicheren Seite hin an.) Bei einem gepulsten Laser entspricht die Expositionsdauer der Impulsdauer. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei wiederholt gepulsten Laserstrahlquellen noch Korrekturfaktoren heranzuziehen sind (siehe 5.2).

Anhang 7

Beispiele von Laser-Schutzbrillen-Modellen



Abb. 1 Beispiel 1 – Laser-Schutzbrille



Abb. 2 Beispiel 2 – Laser-Schutzbrille mit hohen Schutzstufen und umschlossenem Gestell



Abb. 3 Beispiel 3 – Laser-Schutzbrille – leichtes Modell



Abb. 4 Beispiel 4 – Laser-Schutzbrille – leichtes Modell



Abb. 5 Beispiel 5 – Laser-Schutzbrille - Korbgestell



Abb. 6 Beispiel 6 – Laser-Schutzbrille



Abb. 7 Schutzstufenkennzeichnung nach EN 207 bei der Laser-Schutzbrille von Beispiel 6



Abb. 8 Beispiel 8 – Laser-Schutzbrille für mittlere Schutzstufen

Anhang 8

Kennzeichnung

A8.1 Allgemeines

Laserschutzfilter zum Einbau in Anlagen werden (obwohl es sich streng nach der PSA-Richtlinie nicht um eine persönliche Schutzausrüstung handelt) wie Laserschutzfilter gekennzeichnet. Laserabschirmungen werden jedoch nach der DIN EN 12254 geprüft; dort beträgt die Standzeit gegen Laserstrahlung 100 s, im Gegensatz zu 5 s, wie in der DIN EN 207 gefordert.

Die gesetzlichen Vorschriften fordern als Minimum bei der Einführung eines Laserschutz-Produktes eine einmalige Baumusterprüfung zur Erlangung des CE-Kennzeichens.

A8.2 Kennzeichnung von Laser-Schutzbrillen

Abb. A8.1 zeigt ein Beispiel für die Kennzeichnung von Laser-Schutzbrillen gemäß DIN EN 207. Laser-Schutzfilter zum Einbau in Anlagen werden ebenso gekennzeichnet.

Bilden Sichtscheibe/Laserschutzfilter und Tragkörper eine untrennbare Einheit, so kann die Kennzeichnung der Laser-Schutzbrille auf den Sichtscheiben oder dem Tragkörper angebracht sein. Die Kennzeichnung muss permanent und lesbar sein. Die Kennzeichnung darf die Sicht nicht beeinträchtigen.

Die Kennzeichnung kann sehr ausgedehnt werden, wenn ein Filter oder ein Tragkörper gegen mehrere Wellenlängen schützt. In diesen Fällen kann die Kennzeichnung wie im folgenden Beispiel zusammengefasst werden:

610 - 640 D LB4 + IR LB5

900 - 1070 D LB7 + IR LB8 + M LB8Y

9000 - 11000 D LB3 + IR LB4

X S CE

Dabei haben die Symbole die gleiche Bedeutung wie im vorhergehenden Beispiel.

Anmerkung zu Kennzeichnung mit Y:

Siehe DIN EN 207: wenn das Augenschutzgerät nicht mit niedrigen Wiederholfrequenzen (≤ 25 HZ) geprüft wurde, muss die Schutzstufe um den Buchstaben Y erweitert werden .

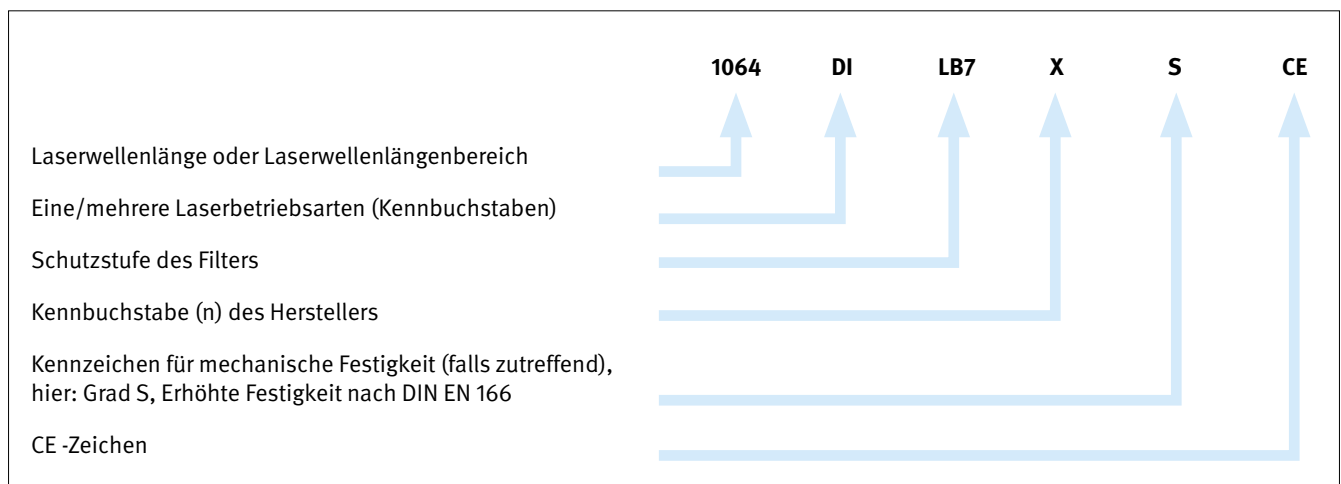


Abb. A8.1 Beispiel für die Kennzeichnung von Laser-Schutzbrillen

A8.3 Kennzeichnung von Laser-Justierbrillen

Abb. A8.2 zeigt ein Beispiel für die Kennzeichnung von Laser-Justierbrillen nach DIN EN 208. Erfüllt der Augenschutz eine erhöhte Anforderung bezüglich mechanischer Festigkeit, so kann dies ebenfalls gekennzeichnet werden.

Bilden Sichtscheibe/Laserschutzfilter und Tragkörper/Rahmen eine untrennbare Einheit, so kann die Kennzeichnung der Laser-Justierbrille auf den Sichtscheiben oder dem Tragkörper angebracht sein.

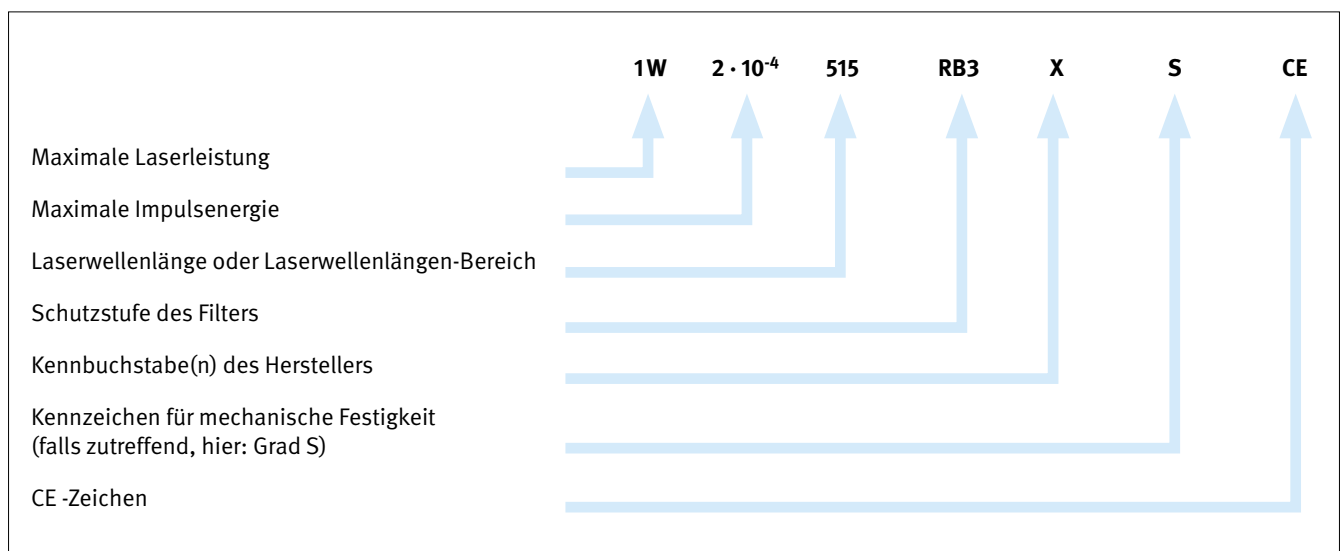


Abb. A8.2 Beispiel für die Kennzeichnung einer Laser-Justierbrille

Anhang 9

Kommentar zum Einsatz von Ultrakurzpulslasern mit Pulslängen unter 1 ps

Ein modengekoppelter Laser (Betriebsart M) kann seine Energie auch zeitlich stark konzentriert in Form von extrem kurzen Impulsen, sozusagen scheinbar, abgeben. So lassen sich die heutzutage kürzesten künstlich erzeugten Lichtblitze herstellen. Solche Blitze dauern oft nur wenige Femtosekunden (1 Femtosekunde = $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$). In einer Femtosekunde legt das Licht im Vakuum eine Strecke von 0,3 Mikrometern zurück. Den Lichtimpuls kann man sich daher als eine fliegende Scheibe mit einem Durchmesser von einigen Millimetern bis Zentimetern und einer Dicke von wenigen Mikrometern vorstellen. Diese Eigenschaft des Lasers kommt vor allem in zeitaufgelösten Untersuchungen zur Anwendung, in denen, ähnlich wie bei einem Stroboskop, Momentaufnahmen atomarer Vorgänge gemacht werden können. Die erzielbare zeitliche Auflösung hängt dabei von der Dauer des Lichtimpulses ab. Laserimpulse sind nicht nur ultrakurz, sondern zeichnen sich auch durch eine hohe Impulsspitzenleistung aus. Das ist eine Folge ihrer kurzen Dauer, da die Energie in einem sehr kurzen Zeitintervall abgestrahlt wird.

So lässt sich in einem optischen Labor auf einer Fläche von wenigen Quadratmetern ein Laser aufbauen, der in der Lage ist, Impulse mit einer Impulsspitzenleistung von bis zu 1000 Terawatt zu liefern ($1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ Watt}$). Um eine Vorstellung der Größe dieser Leistung zu vermitteln, sei erwähnt, dass die elektrische Leistung, die weltweit im elektrischen Netz erzeugt werden kann, ungefähr 1 TW beträgt – hier allerdings als Dauerleistung. Abb. A9.1 zeigt einen abgeschirmten Teil eines Femtosekunden-Lasers.



Abb. A9.1
Abgeschirmter Teil eines Ultrakurzpulslasers

Bei der Wechselwirkung solch intensiver Laserimpulse mit Materie wird diese sofort zerstört. Dabei ist nicht immer die Intensität (Leistung pro Fläche) entscheidend. Die erzielbaren Intensitäten

sind dabei so hoch, dass Elektronen durch das Laserfeld von ihren Atomrümpfen getrennt werden und ein Plasma entstehen kann. Bei der Wahl eines geeigneten Lasers lassen sich Plasmen herstellen, die den Bedingungen für eine Kernfusion genügen.

Femtosekundenlaser unterscheiden sich noch in ihren Spektren grundlegend von den meisten anderen Lasern. Aufgrund der Konzentration der Energie im Zeitbereich ergibt sich nach der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation eine spektrale Linienverbreiterung. So können Spektren von Femtosekundenlaser bei einer Mittenwellenlänge von 800 nm eine Breite von einigen 100 nm haben, wie schematisch in Abb. A9.2 und A9.3 dargestellt.

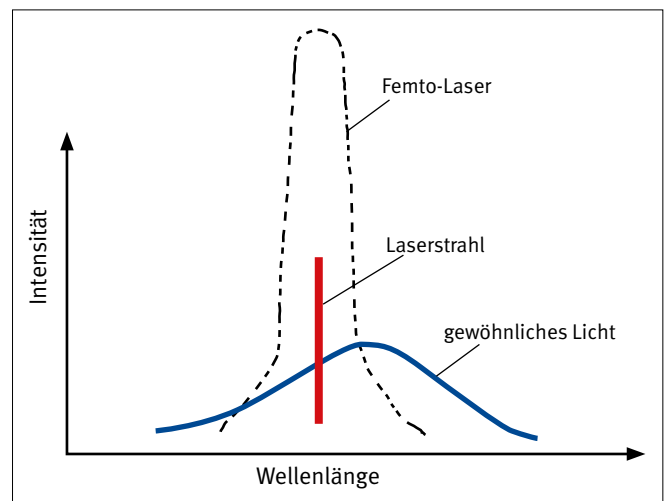


Abb. A9.2 Bandbreite von Laserstrahlung und Femtosekunden-Lasern im Vergleich

Bandbreite ultrakurzer Impulse		
Impuls Bandbreitenprodukt $\Delta t \Delta \nu > = \text{konst}$		
$\Delta \nu$..Halbwertsbreite des Spektrums	konst ..pulsformabhängig ~ 1	
z. B.: Gauss-Puls konst = 0,4		
$\Delta \nu = 0,4/\Delta t$ bzw. $\Delta \lambda = \lambda^2 0,4 \cdot (\Delta t \cdot c)$		
Ti:Saphir $\lambda \sim 800 \text{ nm}$	Telekom $\lambda \sim 1500 \text{ nm}$	2ω Ti:Sa $\lambda \sim 400 \text{ nm}$
1 ps $\sim 1 \text{ nm}$	1 ps $\sim 4 \text{ nm}$	1 ps $\sim 0,2 \text{ nm}$
100 fs $\sim 10 \text{ nm}$	100 fs $\sim 40 \text{ nm}$	100 fs $\sim 2 \text{ nm}$
10 fs $\sim 100 \text{ nm}$	10 fs $\sim 400 \text{ nm}$	10 fs $\sim 20 \text{ nm}$

Abb. A9.3 Bandbreite ultrakurzer Impulse

Anhang 10

Filter für Mikroskope und Teleskope

A10.1 Auswahl von Laser-Schutzfiltern für Mikroskope (optisch vergrößernde Geräte)

Zur Kontrolle der Qualität und Sauberkeit von Faserenden sowie der Ferrule bei Glasfasersteckverbindern kommen Betrachtungsmikroskope sowie Augenlupen zum Einsatz. Diese optischen Instrumente sind entsprechend der geltenden Normen in den Laserschutz einzubeziehen.

Die im Rahmen der optischen Übertragungssysteme zur Kontrolle der Steckerendflächen eingesetzten handelsüblichen Betrachtungsmikroskope realisieren Vergrößerungen von 200 X bis 400 X, um die Güte der Steckerendfläche beurteilen zu können. Augenlupen gibt es mit Vergrößerungen von 8 X, 10 X, 12 X und 14 X.

Diese oben genannten Instrumente werden in der Regel vom Hersteller ohne Laserschutzkomponenten (z. B. Filter) geliefert, da der Laserschutz entsprechend der am Einsatzort befindlichen Laserquelle bezogen auf die höchste vorkommende Exposition genau angepasst werden muss. Augenlupen plus Laserschutzfilter können nur in Kombination mit einer Laser-Schutzbrille eingesetzt werden.

Beim Betrachten der Endflächen von Glasfasersteckern mit dem Mikroskop ist besondere Vorsicht geboten. Vor der Betrachtung von Steckerendflächen mit dem Mikroskop muss durch Messung mit dem optischen Leistungspegelmessgerät festgestellt werden, dass keine Laserstrahlung in der Faser vorhanden ist. Außerdem ist sicherzustellen, dass während der Betrachtung der Steckerendfläche mit dem Mikroskop kein Laser eingeschaltet werden kann.

A10.2 Auswahl von Laserschutz für Teleskope

Teleskope zur Justierung von Richtfunkantennenanlagen sind durch den Einsatz von so genannten „Freospace“ Lasern in den Laserschutz einzubeziehen. Dies gilt ebenso für Ferngläser für bestimmte Einsätze bei Verwendung von Lasern. Ferngläser und Teleskope können bei einem Blick in den Laserstrahl durch die sammelnde Wirkung die Gefährdung erhöhen. Es gibt folgende Schutzmöglichkeiten:

A10.2.1 Tragen einer Laser-Schutzbrille

In Gefahrenbereichen von Lasern der Klasse 1M können Laser-Schutzbrillen verwendet werden. Beträgt z. B. die Vergrößerung des optischen Gerätes nicht mehr als 10-fach, genügt die Schutzstufe LB2.

Bei Lasern höherer Klassen muss die Schutzstufe der Laser-Schutzbrille gegenüber normaler Verwendung um einen, den Vergrößerungsfaktor des optischen Gerätes berücksichtigenden Betrag erhöht werden. Zum Beispiel bei einem Vergrößerungsfaktor von 10 muss die Anforderung an die Schutzstufe von LB2 auf LB4 erhöht werden.

Hinweis:

Bei Laser-Schutzbrillen mit außen liegenden Reflexionsschichten sollte diese Methode wegen der Beanspruchung und nicht auszuschließenden Beschädigung der Filterschicht nicht angewandt werden.

A10.2.2 Verwendung eines Fernrohres oder Fernglases mit eingebautem Laser-Schutzfilter

In Gefahrenbereichen von Lasern der Klasse 1M können Ferngläser mit eingebautem Laser-Schutzfilter benutzt werden. Es ist auf die Herstellerangabe zu achten, von welcher Art der Schutzfilter ist, welche Schutzstufe der eingebaute Filter besitzt und an welcher Stelle der Filter verbaut ist bzw. welcher minimale Strahldurchmesser an der Stelle des Filters zu erwarten ist.

- A. Filter im Bereich des Objektivs (Eintrittspupille = EP), wo der Strahldurchmesser noch nicht verkleinert ist:
Sie können ausgeführt sein als Reflexionsschicht z. B. auf der Objektivlinse und sind zu bevorzugen.
Es ist die Schutzstufe, unter Berücksichtigung der Vergrößerung des optischen Gerätes zu verwenden. Bis zu 10-facher Vergrößerung ist bei Filtern im Objektivbereich die Schutzstufe LB2 geeignet.
- B. Filter, als Reflexionsschicht z. B. im Okularbereich (Austrittspupille = AP):
Es ist, wegen der mit zunehmendem Einfallswinkel nachlassenden Schutzwirkung, Vorsicht geboten. In diesem Fall eignen sich besser absorbierende Filter.
- C. Filter, die im Strahlengang zwischen Objektivlinse und Okular eingebaut sind:
Der Hersteller oder Inverkehrbringer von eingebauten Laser-Schutzfiltern hat zu beachten, an welcher Stelle im Strahlengang sie eingebaut wurden. An Stellen im Strahlverlauf im optischen Gerät mit kleinem Strahldurchmesser kann die Energie-/Leistungsdichte wesentlich höher sein, als z. B. nach Austritt aus dem Okular. Der Beständigkeit des Filters gegen die einwirkende Laserstrahlung kommt in diesem Fall besondere Bedeutung zu. Es sind daher vom Hersteller die erforderlichen Informationen anzufordern.

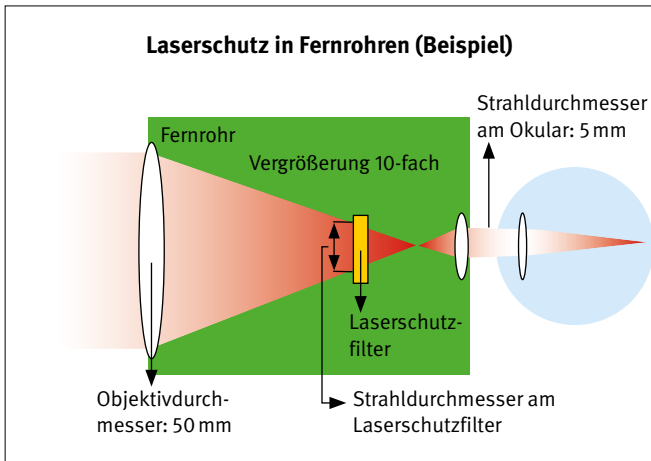


Abb. A10.1 Laserschutz im Strahlengang zwischen Objektivlinse und Okular

Beispiel (Fall C):

Ein Dauerstrich-Laser mit der Wellenlänge 900 nm hat an der Stelle, an der ein Fernglas 10 x 50 zur Beobachtung verwendet wird, einen Strahldurchmesser > 50 mm und eine Leistungsdichte E_0 von maximal 25 W/m^2 . Die maximal zulässige Bestrahlungsstärke beträgt ebenfalls 25 W/m^2 . Der Laser-Schutzfilter ist so im Strahlengang des Fernglases eingebaut, dass der Strahl mit einem Durchmesser d_F von 3 mm auf das Filter auftrifft.

Die Leistungsdichte E_F am Filter erhöht sich mit dem Verhältnis der Strahleintrittsfläche (ins Fernglas) A_E zur bestrahlten Filterfläche A_F , also

$$E_F = \frac{A_E}{A_F} \cdot E_0 = \frac{\frac{\pi}{4} d_E^2}{\frac{\pi}{4} d_F^2} \cdot E_0 = \frac{d_E^2}{d_F^2} \cdot E_0 = \frac{50^2}{3^2} \cdot 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 6940 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Anhand dieses Wertes lässt sich aus Tabelle 3 für Dauerstrichlaser der angegebenen Wellenlänge die Schutzstufe LB3 entnehmen. Zusätzlich ist noch der Korrekturfaktor $F(d_{63})$ zu berücksichtigen (siehe Kap. 5.2).

Die Mindestanforderungen an die spektrale Transmission $\tau(\lambda)$, bedingt durch die Vergrößerung des Fernglases, errechnen sich aus dem Verhältnis des Quadrates des wirksamen Strahldurchmessers nach Austritt aus dem optischen Gerät zum Quadrat des Objektivdurchmessers d_E . Der wirksame Strahldurchmesser ist der größere der beiden Werte aus relevantem Messblenden-durchmesser d_M (in diesem Fall 7 mm) und dem am Okular austretenden Durchmesser des Strahles d_A , der sich aus dem Quotienten Objektivdurchmesser d_E zur Vergrößerung V errechnet

d_{eff} ist größter Wert aus d_M und

$$d_A = \frac{d_E}{V} = \frac{50 \text{ mm}}{10} = 5 \text{ mm} \text{ und ergibt } 7 \text{ mm}$$

$$\tau(\lambda) = \left(\frac{d_{\text{eff}}}{d_e} \right)^2 = \frac{7^2}{50^2} = 0,02$$

Die aus der Leistungsdichte des Laserstrahls nach Tabelle 3 bestimmte Schutzstufe B3 erfüllt auch die hinsichtlich der Mindestanforderung an die spektrale Transmission gestellten Anforderungen.

Sollte ein Filter mit der Schutzstufe LB3 im sichtbaren Bereich zu einer zu starken Einschränkung (Helligkeit und Farbsehen) führen, so ist auch ein Filter mit der Schutzstufe LB2, resultierend aus der Mindestanforderung an die spektrale Transmission, möglich, wenn nachgewiesen wird, dass bei einer Laser-Belastungsprüfung mit der Leistungsdichte E_F die spektrale Transmission 0,01 nicht überschritten wird.

Hinweis: Herstellerangaben über die Schutzwirkung von Laser-Schutzfiltern in optischen Beobachtungsgeräten beziehen sich teilweise nur auf die Schutzwirkung der Filterscheibe. Diese Angabe darf nicht verwechselt werden mit der Schutzstufe einer Laser-Schutzbrille, weil die verstärkende Wirkung des optischen Gerätes dabei nicht berücksichtigt ist.

A10.2.3 Verwendung aufsteckbarer Laser-Schutzfilter

Für auf das Okular aufsteckbare Filter gelten dieselben Betrachtungen wie für eingebaute Laser-Schutzfilter. Beispielsweise ist die Schutzstufe LB2 in Gefahrenbereichen von Lasern der Klasse 1M entsprechend dem Durchmesser des austretenden Strahles bis zu 10-facher Vergrößerung geeignet.



Abb. A10.2a Lupenbrille - Stirnlupe mit Vorschraubfilter

10.3 Einsatz von Binokularlupe bei Laseranwendungen

Bei der Beobachtung kleiner Bearbeitungsfelder ist oft eine vergrößerte Darstellung wünschenswert. Aus Sicht des Laserschutzes ist dies jedoch nicht unkritisch: Lupen erhöhen die Leistungs-/Energiedichte des Laserstrahls und sind daher bei der Auswahl des geeigneten Laseraugenschutzes unbedingt mit zu berücksichtigen.

Die Verwendung von Lupenbrillen, die zusätzlich mit Laserschutzfiltern ausgestattet sind, um so die Laserstrahlung abzublocken, bevor sie überhaupt in die Lupenoptik einfallen und somit zum Auge hin gebündelt werden kann, sollte deshalb überprüft werden.



Abb. A10.2b Binokular-Lupe HR 2.5 x /420 inklusive Laserschutzfilter

Anhang 11

Aspekte für die Auswahl und Anwendung von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen im Freien

A11.1 Erläuterungen zum Temperaturverhalten von Filtern

Laserfilter sollen gezielt bestimmte Wellenlängen oder Wellenlängenbereiche sperren. Speziell bei Filtern für Laser im sichtbaren Spektralbereich ist es wünschenswert, nicht zu große Bereiche neben der eigentlichen Laserwellenlänge abzuschwächen, damit die Sichtbarkeit der Umgebung für den Benutzer nicht durch einen zu kleinen Lichttransmissionsgrad des Filters beeinträchtigt wird. In spektralen Charakteristiken von Laserfiltern treten auch deshalb häufig Absorptionsbereiche auf, die durch abfallende oder ansteigende Flanken oder im Fall von Absorptionsbanden oder Bandpassfilter durch beide Kantenformen gekennzeichnet sind, wie z. B. in Abbildung A 11.1 für ein Rubin-Laserfilter dargestellt.

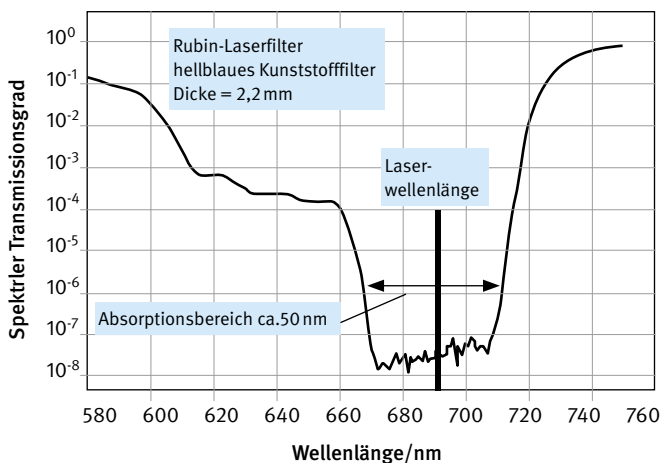


Abb. A11.1 Spektrale Charakteristik eines Rubin-Laserfilters, bestimmt für eine Filtertemperatur von 23 °C

Da die Lage derartiger spektraler Kanten für absorbierende aber auch für verspiegelte Laserfilter temperaturabhängig sein kann, ist nicht ausgeschlossen, dass sich die spektrale Charakteristik unter Temperatureinfluss relativ zur Laseremission verschiebt. Bei ungünstigen Verhältnissen könnten sich dann höhere spektrale Transmissionsgrade an der Laserwellenlänge ergeben, als für Raumtemperatur festgestellt. Dieser Effekt kann um so eher auftreten, je schmaler die Absorptionsbande ist und widerspricht damit dem oben dargestellten Wunsch nach möglichst selektiver Absorption.

Die Kantenwellenlänge $\lambda_c(\tau)$ ist üblicherweise als die Wellenlänge definiert, bei der der spektrale Transmissionsgrad auf den halben Wert abgesunken ist, den der Filter im Durchlassbereich maximal erreichen kann. Die Stärke der temperaturabhängigen Verschiebung dieser Kantenwellenlänge wird durch den materialabhängigen Temperaturkoeffizienten

$$\alpha = \frac{\Delta \lambda_c}{\Delta T}$$

in Einheiten von nm/K beschrieben, wobei $\Delta \lambda_c$ die Wellenlängenverschiebung der Kante zur Temperaturdifferenz ΔT ist. Der Temperaturkoeffizient α ist für Temperaturen, für die Augenschutz üblicherweise eingesetzt wird, als konstant anzusehen (lineares Filterverhalten).

Ein positiver Temperaturkoeffizient α bedeutet eine Verschiebung der Kante zu langen Wellenlängen bei Temperaturerhöhung. Bei einem negativen Temperaturkoeffizienten werden Absorptionskanten bei Temperaturerhöhung zu kürzeren Wellenlängen verschoben. Besitzt die ansteigende Kante einen positiven und die abfallende einen negativen Temperaturkoeffizienten, so vergrößert sich der Sperrbereich des Filters mit wachsender Filtertemperatur.

Wird Augenschutz im Freien eingesetzt, so ist auch mit niedrigeren Temperaturen zu rechnen. Diese könnten sich eher nachteilig auswirken als höhere Filtertemperaturen. Zu beachten ist allerdings, dass nicht direkt die Außentemperatur maßgeblich ist, sondern die Temperatur des Filters, die sich durch das Zusammenspiel zwischen Umgebungs- und Körperwärme einstellt. Dieses ist z. B. noch beeinflusst durch Effekte wie die Kühlung durch Luftströmungen, durch Parameter wie die Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe oder durch die Konstruktion des Augenschutzes selbst. Eine Messung der wirklichen Filtertemperatur ist i. a. nicht einfach auszuführen.

Die Norm für Laser-Schutzfilter DIN EN 207 enthält selbst keine direkte Anforderung an die für Prüfungen zu verwendende Temperatur, so dass man unterstellen kann, dass insbesondere die spektralen Eigenschaften nur für den Temperaturbereich $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ sichergestellt sind. Nur bei der Prüfung der mechanischen Festigkeit nach DIN EN 166, der auch Laser-Schutzbrillen unterliegen, sind Temperaturen von -5°C und $+55^\circ\text{C}$ vorgesehen.

Andere Normen, die speziell tiefe Temperaturen fordern, sind z. B. DIN EN 174, Skibrillen für alpinen Skilauf, mit einer Konditionierung der Proben bei -10°C für eine Stunde und Messung der mechanischen Festigkeit innerhalb von 30 s bei Raumtemperatur und DIN EN 13178, Augenschutzgeräte für Benutzer von Motorschlitten, mit einer einstündigen Konditionierung bei -40°C . Die letztere Norm stellt ein Extrem dar, allerdings werden auch hier die spektralen Eigenschaften nur bei Raumtemperatur überprüft.

Will man Laser-Schutzfilter bei extremen Temperaturbedingungen einsetzen, so kann man unter Zuhilfenahme der spektralen Charakteristik versuchen, mögliche Effekte abzuschätzen.

In Abbildung A11.2 werden beispielhaft die Auswirkungen des Temperatureffekts dargestellt. Das Diagramm zeigt die Wellenlängenverschiebung für den Bereich 25 °C bis 80 °C. Anhand der gemessenen Daten konnte der Verlauf der Absorptionskante bei -5 °C berechnet werden.

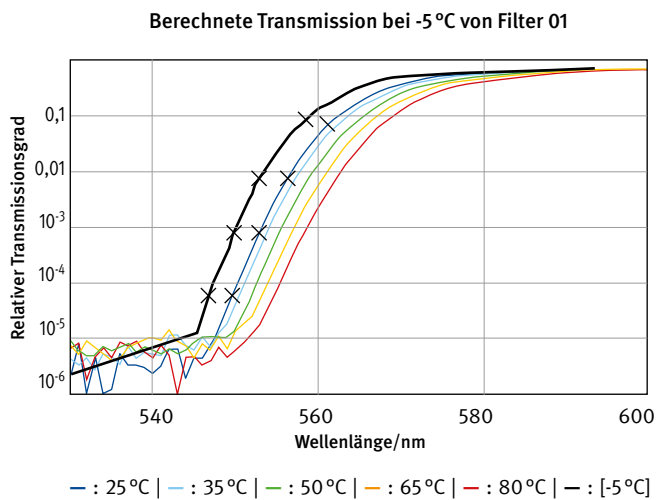


Abb. A11.2 Relative Transmission in Abhängigkeit von der Temperatur und Wellenlänge (Beispiel für die temperaturbedingte Verschiebung der Absorptionskante. Die Kante für -5 °C wurde anhand der gemessenen Daten berechnet.)

Die obigen Ausführungen betreffen zunächst den linearen spektralen Transmissionsgrad von Laser-Schutzfiltern. Bei einer geringen Anzahl von Laserfiltern für Impulslaser der Betriebsart R, die von dem so genannten Effekt der induzierten Transmission (auch Durchschalten genannt) betroffen sind, wurde ebenfalls eine Temperaturabhängigkeit der nun nichtlinearen Transmission beobachtet. Auch dieser Effekt kann zu einer Reduzierung der Schutzfunktion führen, wenn das Laserfilter bei tieferen Temperaturen benutzt wird. Derartige Filter sind nur für kleinere Schutzstufen geeignet, die sich durch Anwendung bestimmter Bewertungskriterien ermitteln lassen. Aber selbst diese Vorgehensweise kann je nach den vorherrschenden Umgebungsbedingungen ein Risiko nicht völlig ausschließen.

Deshalb sollten Laser-Schutzfilter, die im Freien bei extremen Temperaturen eingesetzt werden, eine hinreichend breite Absorption um die Laserwellenlänge besitzen. Speziell bei Schutzfiltern gegen die Laserbetriebsart R und M ist der Einsatz von solchen Filtern ratsam, die keine induzierte Transmission aufweisen.

Oft können jedoch Benutzer aufgrund fehlender Information nicht selbst abschätzen, ob ein bestimmtes Laser-Schutzfilter

für den Einsatz bei extremen Temperaturen tauglich ist. Deshalb ist es anzuraten, in derartigen Fällen eine entsprechende Abschätzung bei dem Hersteller des Augenschutzgerätes einzuholen. Ebenfalls ist zu beachten, dass bei Arbeiten im Freien in der Regel eine erhöhte mechanische Beanspruchung der Laser-Schutzbrillen existiert. Auch sollten Angaben zur Beständigkeit gegen UV-Strahlung erfragt werden.

A11. 2. Reflexion an spiegelnden Flächen

Sind spiegelnde Oberflächen im für die Laserstrahlung zugänglichen Bereich vorhanden, so kann sich hierdurch der Laserbereich deutlich vergrößern. Dabei ist zu bedenken, dass die Reflexionseigenschaften der Oberflächen von der Wellenlänge der Laserstrahlung abhängen. Besondere Vorsicht gilt beim Einsatz von dielektrisch beschichteten Spiegelflächen, weil hier über Interferenzschichten nahezu 100 % der einfallenden Laserstrahlung reflektiert wird. Neben speziellen reflektierenden Laseroptiken können solche Schichten auch bei Laser-Schutzbrillen vorkommen. Ist der Filter der Laser-Schutzbrille plan, dann ist der Lasergefahrenbereich kugelförmig um den Laser-Schutzfilter erweitert.

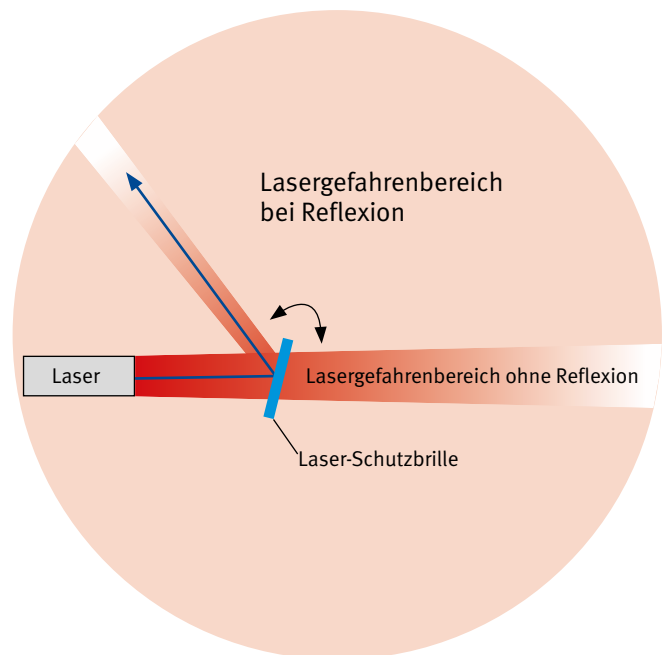


Abb. A11.3 Laserbereich (im Bild Lasergefahrenbereich genannt) bei Vorhandensein von spiegelnden Reflexionen

Die Laserstrahlen können, je nach Lage der reflektierenden Fläche zum Zeitpunkt des Auftreffens, in unterschiedliche Richtungen abgelenkt werden.

Der Abstand von der reflektierenden Stelle, z. B. der Laser-Schutzbrille, bis zum Unterschreiten der EGW hängt unter anderem ab von:

- der Form der Filterscheibe (plan oder sphärisch gekrümmt) oder sonstigen reflektierenden Flächen:
 - plane Flächen reflektieren die einfallende Laserstrahlung in die Ablenkungsrichtung weiter, so dass der Sicherheitsabstand (NOHD) bei einem 100 % reflektierten Strahl gegenüber dem nicht reflektierten Strahl unverändert bleibt.
 - konvexe Oberflächen führen mit kleiner werdendem Krümmungsradius zu einer erheblichen Abnahme des nach der spiegelnden Fläche verbleibenden Sicherheitsabstands (NOHD). Solche Filter- und Tragekörperformen sollten daher bevorzugt werden.
 - konkave Oberflächen - sie kommen bei Laser-Schutzfiltern praktisch nicht vor- bzw. bergen ein Risiko, indem die Laserstrahlen zunächst fokussieren und erst in einigem Abstand divergieren und sich dann wie bei konvexen Oberflächen verhalten.
- der Art des Filters (Schicht- oder Absorptionsfilter):
 - Schichtfilter reflektieren die einfallenden Laserstrahlen, gegen die sie Schutz bieten, bei kleineren Einfallswinkeln zu nahezu 100 %.
 - Absorptionsfilter reflektieren bei kleineren Einfallswinkeln nur einen kleinen Teil der Laserstrahlen, während mit zunehmendem Einfallswinkel der Strahlungsanteil in Abhängigkeit der Polarisationssebene und des Brechungsindex zu 100 % anwächst.
- dem Einfallswinkel bezogen auf die Senkrechte zur Ebene der Filterscheibe oder spiegelnd reflektierender Fläche des Tragekörpers.
Da sich Winkelbereiche aufgrund von Bewegungen des Trägers der Laser-Schutzbrille in der Praxis nicht eingrenzen lassen, ist generell von Einfallswinkeln zwischen 0° und 90° auszugehen.
- der Möglichkeit, dass Personen mit Ferngläsern in den direkten bzw. spiegelnd reflektierten Strahl blicken können.

Kann nicht ausgeschlossen werden, dass Personen mit Ferngläsern oder Fernrohren, auch aus größeren Entfernungen in den Strahl blicken können, so vergrößern sich die Gefahrenbereiche durch Reflexion an der Laser-Schutzbrille erheblich und zwar bei üblichen Ferngläsern um bis zum Faktor 7 (Vergrößerungsfaktor 7) bei Lasern im Sichtbaren und nahen Infrarot (bis 1400 nm). Ist anzunehmen, dass Teleskope mit mehr als 50 mm Objektivdurchmesser zur Anwendung kommen, so sind diese zusätzlich zu berücksichtigen.

Anhang 12

Laser-Schutzabschirmungen (temporär) Auswahl von Abschirmungen für Laserarbeitsplätze zum Schutz gegen zufällige Bestrahlung nach DIN EN 12 254

A12.1 Allgemeines

Vor der Auswahl einer geeigneten Abschirmung muss eine Gefährdungsbeurteilung nach TROS Laserstrahlung durchgeführt worden sein, in der die mögliche Bestrahlung, Leistungsdichte der Laserstrahlung bestimmt wurde, die auf die Laser-Schutzabschirmung treffen kann.

Die folgenden Empfehlungen für die Verwendung von Abschirmungen für Laserarbeitsplätze setzen regelmäßige Beobachtungen der Abschirmungen voraus, deren zeitlicher Abstand sich aus der Gefährdungsbeurteilung ergibt.

Die Auswahl der Abschirmungen ist in Tabelle A12.1 angegeben, die Bedeutung der Symbole D, I, R und M zeigt Tabelle A12.2.

Ist der zu erwartende Strahldurchmesser d_{63} an der Laserschutzabschirmung 1 mm und größer und ist die Leistung P des Lasers größer als 10 W oder der Wert der Bestrahlungsstärke E größer 10^5 W/m^2 , dann ist im Wellenlängenbereich von 315 nm bis 1 mm ein zusätzlicher Korrekturfaktor $F(d_{63})$ anzuwenden. Dieser Korrekturfaktor wird durch eine Überhöhungsfunktion ermittelt, welche mit dem tatsächlichen Strahldurchmesser berechnet wird.

Der Korrekturfaktor ist stark von den eingesetzten Materialien, dem Aufbau sowie der Dicke des Schutzproduktes abhängig. Ist die tatsächlich vorliegende Überhöhungsfunktion nicht bekannt, dann wird empfohlen im Strahldurchmesserbereich d_{63} ab 1 mm mit dem Korrekturfaktor $F(d_{63})$ für $E > 10^5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ (oder) $P > 10\text{W}$ zu rechnen:

$$F(d_{63}) = (d_{63}/\text{mm})^{1,7} \text{ für } 1\text{ mm} \leq d_{63} \leq 15\text{ mm}$$

$$F(d_{63}) = 100 \text{ für } d_{63} > 15\text{ mm.}$$

Die korrigierte Bestrahlungsstärke erhält man durch:

$$E' = E \cdot F(d_{63})$$

Die erforderliche Schutzstufe wird aus der Tabelle A12.1, die der Wellenlänge des Lasers entspricht, entnommen.

Schutzstufe	Maximaler spektraler Transmissionsgrad bei der Laserwellenlänge $\tau(\lambda)$	Verwendung bis zu einer maximalen mittleren Leistungs- und Energiedichte im Wellenlängenbereich									
		180 nm bis 315 nm			> 315 nm bis 1050 nm	1050 nm bis 1400 nm	> 315 nm bis 1400 nm	> 1400 nm bis 10^6 nm			
		Für die Laserbetriebsart/Betriebsdauer in Sekunden (s)									
		D > 0,25	I, R > 10^{-9} bis 0,25	M $\leq 10^{-9}$	D > 5×10^{-3}	D > 2×10^{-3}	I, R 10^{-9} bis 0,01	M $\leq 10^{-9}$	D > 0,1	I, R 10^{-9} bis 0,1	M $\leq 10^{-9}$
E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	H J/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²		
AB 1	10^{-1}	0,01	3×10^2	3×10^{11}	10	$2,5 \times 10^2$	0,05	0,0015	10^4	10^3	10^{12}
AB 2	10^{-2}	0,1	3×10^3	3×10^{12}	10^2	$2,5 \times 10^3$	0,5	0,015	10^5	10^4	10^{13}
AB 3	10^{-3}	1	3×10^4	3×10^{13}	10^3	$2,5 \times 10^4$	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
AB 4	10^{-4}	10	3×10^5	3×10^{14}	10^4	$2,5 \times 10^5$	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
AB 5	10^{-5}	10^2	3×10^6	3×10^{15}	10^5	$2,5 \times 10^6$	5×10^2	15	10^8	10^7	10^{16}
AB 6	10^{-6}	10^3	3×10^7	3×10^{16}	10^6	$2,5 \times 10^7$	5×10^3	$1,5 \times 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
AB 7	10^{-7}	10^4	3×10^8	3×10^{17}	10^7	$2,5 \times 10^8$	5×10^4	$1,5 \times 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
AB 8	10^{-8}	10^5	3×10^9	3×10^{18}	10^8	$2,5 \times 10^9$	5×10^5	$1,5 \times 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
AB 9	10^{-9}	10^6	3×10^{10}	3×10^{19}	10^9	$2,5 \times 10^{10}$	5×10^6	$1,5 \times 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
AB 10	10^{-10}	10^7	3×10^{11}	3×10^{20}	10^{10}	$2,5 \times 10^{11}$	5×10^7	$1,5 \times 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

Tabelle A12.1: Schutzstufen für Laserabschirmungen

Anmerkung 1:

Die Überhöhungsfunktion wurde im Fachkreis auf Basis der Forschungsergebnisse des BAuA Forschungsprojektes F2335 „Strahldurchmesser“ als „worst case“ gewählt. Für Wellenlängen unter 315 nm liegen derzeit noch keine Ergebnisse vor. Durch die Definition der Grenze der Bestrahlungsstärke bei 10^5 W/m^2 kann es im Einzelfall an der Grenze zu großen Unterschieden (bis zu drei Schutzstufen) bei der Ermittlung der Schutzstufe kommen. Hier muss ggf. für den Einzelfall das Risiko bewertet werden. – Schutzabschirmungen mit Standzeiten von 100 s wurden im Forschungsbericht nicht thematisiert.

Anmerkung 2:

Die in dieser Informationsschrift definierte Überhöhungsfunktion entspricht nicht der DIN EN 12254:2012 und ist bis 15 mm restriktiver.

A12.2 Gepulste Laser

Für gepulste Laser mit Wellenlängen größer oder gleich 400 nm sollte die Gesamtzahl N der Impulse für 100 s bestimmt werden.

Danach ist die für den Einzelimpuls errechnete Energiedichte H des einzelnen Impulses mit $N^{1/4}$ zu multiplizieren ($H' = H \cdot N^{1/4}$). Mit dem so berechneten Wert H' kann die erforderliche Schutzstufe aus Tabelle A12.1 entnommen werden.

Für gepulste Laser mit Wellenlängen kleiner als 400 nm sollte die Energiedichte des Einzelimpulses für die Auswahl der Abschirmung verwendet werden.

Ferner sollte für alle Impulsfolgen die mittlere Leistung berechnet und mit den Werten der zutreffenden Spalte von Tabelle A12.1, die mit D gekennzeichnet ist, verglichen werden. Ergibt sich dabei eine höhere Schutzstufe, so muss diese verwendet werden.

Symbol	Laserbezeichnung	Typische Impulsdauer in s
D	Dauerstrichlaser (CW)	> 0,25
I	Impulslaser	10^{-6} bis 0,25
R	Riesenimpulslaser	10^{-9} bis 10^{-6}
M	Modengekoppelter Impulslaser	$< 10^{-9}$

Tabelle A12.2: Erläuterung der Symbole D, I, R, M

Anhang 13

Information zu experimentell ermittelten Überhöhungswerten in Abhängigkeit von Wellenlänge und Filtermaterial

In Abb. A13.1 sind die Überhöhungsfunktionen bzw. -werte für Standzeitversuche mit dem Nd:YAG-Laser (cw- und gepulster Betrieb) und mit dem CO₂-Laser für PMMA-Filter (Polymethylmethacrylat) vergleichend dargestellt. Die Darstellung belegt, dass die Wellenlänge und die Laserbetriebsart signifikanten Einfluss auf die Überhöhungswerte $F(d_{63})$ haben.

Die unterschiedlichen Kurvenverläufe im Diagramm sind vor allem ein Resultat der unterschiedlichen Laserstrahl-Material-Wechselwirkung. Während es beim Nd:YAG-Laser durch eine Volumenabsorption der Strahlung vor allem zu einer Zerstörung des Absorbers im Filter kommt, wodurch dieser für die Laserstrahlung quasi transparent wird (Verringerung der optischen Dichte), bohrt sich der CO₂-Laserstrahl aufgrund der Oberflächenabsorption der Strahlung im PMMA-Grundmaterial durch Materialverdampfung durch den Filter. Anders als beim Nd:YAG-Laser spielt dabei die Betriebsart des CO₂-Lasers (cw- bzw. gepulst) offenbar keine signifikante Rolle, da 10 kHz Pulsfrequenz einem Quasi-Dauerstrich-Betrieb des Lasers gleichkommt. Die Standzeitversuche mit gepulster Nd:YAG-Laserstrahlung führen zu Überhöhungswerten, die zwischen den Überhöhungswertkurven der cw-Nd:YAG-Laserversuche und den

Kurven der CO₂-Laserversuche liegen. Der Grund hierfür ist in einer kombinierten Materialschädigung aus Zerstörung des Absorbers und Verdampfung aufgrund der hohen Pulsspitzenleistungen zu suchen. Im Vergleich zu den an PMMA-Filtern mit dem cw-Nd:YAG-Laser erzielten Überhöhungswerten ($F > 40$), zeigen alle anderen Versuchsreihen (gepulster Laserbetrieb, Wellenlängen 532 nm und 10600 nm, CA-Filtermaterial (Celluloseacetat)) deutlich niedrigere Überhöhungswerte. Eine Erklärung für die großen Überhöhungswerte bei PMMA und cw-Nd:YAG-Laserbestrahlung liefert der bestrahlungsstärkeabhängige Streukoeffizienten-Ansatz in einer physikalischen COMSOL Multiphysics®-Simulation (siehe BAuA Bericht F2335). Im Rahmen der untersuchten Wellenlängen, Laserbetriebsarten und Filtermaterialien stellt somit der Beschuss von PMMA-Filtern mit dem cw-Nd:YAG-Laser bei 1064 nm das gefundene Worst-Case-Szenario dar und findet sich entsprechend in der Empfehlung für eine Handlungsanleitung für Benutzer von Laser-Schutzbrillen wieder. Weitere Informationen zu dem Thema Laserstrahldurchmesserabhängigkeiten von Standzeiten bei Laserschutzfiltern sind im BAuA Bericht F2335 zu finden.

Vergleich der Überhöhungswerte für PMMA 1064 nm @ cw+gepulst vs. 10600 nm @ gepulst

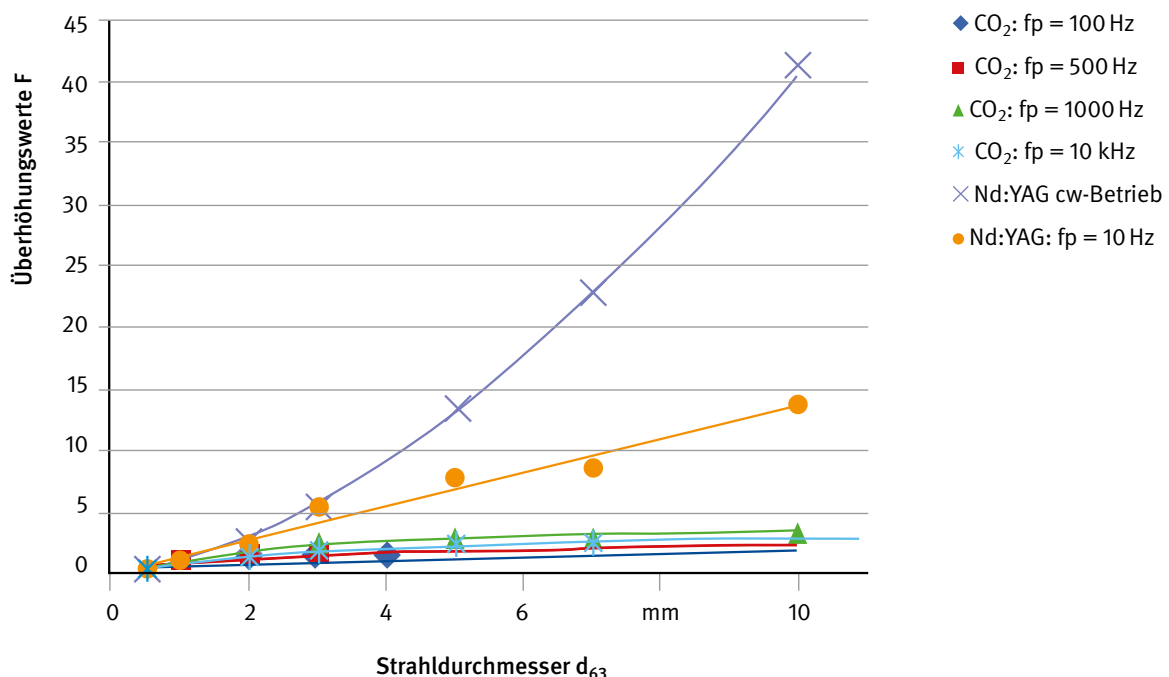


Abb. A13.1 Überhöhungsfunktionen für PMMA-Filter im Vergleich aus dem BAuA Bericht F2335

Anhang 14

Glossar

Die folgenden Begriffe erweitern die Begriffsbestimmungen. Sie sind inhaltlich unter anderem der TROS Laserstrahlung und der DIN EN 60825-1:2015-07 entnommen worden.

A14.1 Bereitstellung

Nach § 29 und 30 der DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“ muss der Unternehmer den Versicherten Augen- und Gesichtsschutz zur Verfügung stellen, wenn die Gefährdungen nicht anders verhindert beziehungsweise ausreichend gemindert werden können (siehe auch § 2 Bereitstellung und Benutzung, PSA-Benutzerverordnung - PSA-BV).

A14.2 Bestrahlungsstärke; Leistungsdichte

Quotient aus Strahlungsleistung dP , die auf ein Flächenelement dA einfällt.

$$\text{Symbol: } E = \frac{dP}{dA}$$

SI-Einheit: Watt je Quadratmeter, $W \cdot m^{-2}$

A14.3 Brechzahldifferenz (relative Brechzahldifferenz) eines Lichtwellenleiters

Verhältnis der Brechzahl im Kern zur Brechzahl im Mantel in einem Lichtwellenleiter.

$$\text{Brechzahldifferenz } \Delta n: \quad \Delta n = \frac{n_K - n_M}{n_K} \approx \frac{n_K^2 - n_M^2}{2 \cdot n_K}$$

A14.4 Dauerstrich-Laser (kontinuierlich strahlender Laser)

Die Ausgangsstrahlung eines Lasers, der fortlaufend, d. h. nicht gepulst, betrieben wird. In dieser DGUV Information wird ein Laser, der über einen längeren Zeitraum als 0,25 s andauernd strahlt, als Dauerstrich-Laser betrachtet.

A14.5 Diffuse Reflexion

Veränderung der räumlichen Verteilung eines Strahlenbündels nach der Streuung durch eine Oberfläche oder eine Substanz in viele Richtungen. Ein vollkommen diffus streuendes Material zerstört jede Korrelation zwischen den Richtungen der einfallenden und der reflektierten Strahlung.

Anmerkung:

In der Regel tritt diffus und gerichtet reflektierte Strahlung nur zusammen auf.

A14.6 Direkter Blick in den Strahl

Alle Sehbedingungen, bei denen das Auge einem direkten oder einem spiegelnd reflektierten Laserstrahl ausgesetzt ist, im Gegensatz zur Betrachtung von z. B. diffusen Reflexionen.

A14.7 Einwirkungsdauer, Expositionsdauer

Die Zeitdauer eines Impulses, einer Impulsfolge oder einer Daueremission von Laserstrahlung, welche auf den menschlichen Körper einwirkt.

A14.8 Emissionsdauer

Die zeitliche Dauer eines Impulses, einer Impulsfolge (Puls) oder des Dauerbetriebes, in welcher der Zugang zu Laserstrahlung möglich ist, wenn die Laser-Einrichtung betrieben, gewartet oder in Stand gesetzt wird.

Für eine Impulsfolge ist dies die Dauer zwischen dem ersten halben Spitzenwert des führenden Impulses und dem letzten halben Spitzenwert des abschließenden Impulses.

A14.9 Energiedichte; Bestrahlung

An einem Punkt der Oberfläche der Quotient aus der Strahlungsenergie dQ , die auf ein Oberflächenelement trifft, das diesen Punkt enthält und der Fläche dA dieses Elementes.

$$\text{Symbol: } H; \quad H = \frac{dQ}{dA} = \int E \, dt$$

SI-Einheit: Joule je Quadratmeter, $J \cdot m^{-2}$

A14.10 Expositionsgrenzwert – EGW

Die Expositionsgrenzwerte nach § 6 Absatz 2 OStrV sind maximal zulässige Werte bei Exposition der Augen oder der Haut gegenüber Laserstrahlung. Diese sind in Anlage 4 Abschnitt A4.1 des Teils 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung aufgeführt.

Der EGW entspricht den MZB – Werten (Maximal zulässige Bestrahlung) aus DGUV Vorschrift 11 und 12.

Hinweis 1:

Der EGW ist das maximale Ausmaß der Laserstrahlung, dem das Auge oder die Haut ausgesetzt werden darf, ohne dass damit akute Gesundheitsschädigungen gemäß Tabelle A3.1 der Anlage 3 der TROS Laserstrahlung verbunden sind. Zum Schutz vor langfristigen Schädigungen durch die kanzerogene (krebsverursachende) Wirkung von UV-Strahlung ist das Minimierungsgebot nach § 7 OStrV besonders zu beachten.

Hinweis 2:

In anderen Schriften wird der Begriff „Maximal zulässige Bestrahlung (MZB)“ für den EGW verwendet. Die Werte können sich unterscheiden.

Hinweis 3:

Auch bei täglichen Expositionsdauern von über 30 000 s (8 h 20 min) gilt der jeweilige Expositionsgrenzwert von 30 000 s (siehe Teil 2, Anlage 4 Abschnitt A4.1, Tabellen A4.4 und A4.5, TROS Laserstrahlung).

A14.11 Gebündelter Strahl

Ein „paralleles“ Strahlenbündel mit sehr geringer Winkeldivergenz oder –konvergenz.

A14.12 Impulsdauer

Zeitintervall zwischen den Halbwerten der Spitzenleistung in der ansteigenden und abfallenden Flanke eines Impulses.

A14.13 Impulslaser bzw. gepulster Laser

Laser, der seine Energie in Form eines Einzelimpulses oder einer Impulsfolge (Puls) abgibt. Dabei ist die Zeitdauer eines Impulses kleiner als 0,25 s.

A14.14 Korbbrillen

Sind Schutzbrillen, bei denen der Tragkörper korbartig ausgebildet ist und aus weichem, elastischem Material besteht, so dass der Brillenkorb den Augenraum umschließt und sich am Gesicht anschmiegt.

A14.15 Korrektions-Schutzbrillen

Sind Schutzbrillen - in der Regel Gestellbrillen - die mit Sicherheitsscheiben mit optisch korrigierender Wirkung ausgestattet sind.

Handelsübliche Korrektionsbrillen haben keine Schutzwirkung gegen Laserstrahlung. Deshalb muss der Unternehmer auch fehlsichtigen Versicherten geeigneten Augenschutz zur Verfügung stellen.

Für kurzfristige Arbeiten über wenige Minuten können z. B. Korb-, Überbrillen oder Visiere getragen werden.

Kombinationen mit Korb- oder Überbrillen neigen allerdings zum Beschlagen, können dadurch zu zusätzlichen Gefährdungen führen und werden deshalb erfahrungsgemäß oft abgelehnt. Außerdem verursachen derartige Kombinationen oft Doppelbilder oder Spiegelungen.

Daher wird der Einsatz von Korrektionschutzbrillen empfohlen, da sie Schutzfunktion und korrigierende Wirkung vereinen.

A14.16 Maximale Ausgangsstrahlung

Die maximale Strahlungsleistung bzw. die maximale Strahlungsenergie pro Impuls der gesamten zugänglichen Strahlung, die eine Laser-Einrichtung in irgendeine Richtung bei Nutzung aller apparativen Möglichkeiten zu einer beliebigen Zeit nach der Herstellung abgeben kann.

A14.17 Messblende

Die kreisförmige Fläche, über die Bestrahlungsstärke und Bestrahlung gemittelt werden müssen.

A14.18 Modenkopplung

Mechanismus oder eine Erscheinung innerhalb eines Laserresonators, welcher zur Erzeugung eines Zuges sehr kurzer Impulse führt. Diese Erscheinung kann absichtlich herbeigeführt werden oder auch spontan als „selbstständige Modenkopplung“ vorkommen. Die dabei auftretenden Spitzenleistungen können beträchtlich höher sein als die mittlere Leistung.

A14.19 NOHD

Nominal Ocular Hazard Distance (Augensicherheitsabstand nach TROS Laserstrahlung, auch als Laser-Sicherheitsabstand bezeichnet)

Def. aus der TROS Laser: Unter dem Augensicherheitsabstand versteht man die Entfernung, bei der die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung gleich dem entsprechenden Expositionsgrenzwert der Hornhaut des Auges ist. Schließt man beim Augensicherheitsabstand auch die Möglichkeit der Betrachtung mit optischen Hilfsmitteln ein, so wird vom erweiterten Augensicherheitsabstand (ENOHD) gesprochen.

Zur Angabe des Abstandes gehört immer auch die Expositionsdauerangabe, die bei der Ermittlung angesetzt wurde.

A14.20 Numerische Apertur N_A

Die Numerische Apertur ist definiert als Sinus der halben Strahldivergenz Θ_0 des Ausgangsstrahls, gemessen bei den Punkten mit 5 % der Spitzenbestrahlungsstärke.

$$N_A = n_0 \cdot \sin \frac{\Theta_0}{2}$$

(wenn Luft als Umgebungsmedium, dann $n_0 = 1$)

Mit dem Brechungsgesetz an der Stirnfläche und dem Grenzwinkel der Totalreflexion in der Faser ergibt sich ein maximaler Einstrahlwinkel $\frac{\Theta_0}{2}$, bei dem die Lichtstrahlen im Kern geführt werden können. Dieser Winkel wird auch als Akzeptanzwinkel $\Theta_A = \frac{\Theta_0}{2}$ bezeichnet.

Die numerische Apertur N_A ergibt sich aus folgenden Gesetzmäßigkeiten:

Grenzwinkel der Totalreflexion im Lichtwellenleiter ϑ_G :

$$\sin \vartheta_G = \frac{n_M}{n_K}$$

Brechungsgesetz an der Faserendfläche:

$$n_0 \cdot \sin \Theta_A = n_K \cdot \sin \vartheta'_G = n_K \cdot \sin (90^\circ - \vartheta_G)$$

$$n_0 \cdot \sin \Theta_A = n_K \cdot \cos \vartheta_G$$

Für $\cos \vartheta_G = \sqrt{1 - \sin^2 \vartheta_G}$ folgt $\frac{\sqrt{n_K^2 - n_M^2}}{2 \cdot n_K}$

Damit erhält man für die Numerische Apertur:

$$N_A = n_0 \cdot \sin \Theta_A = \sqrt{n_K^2 - n_M^2}$$

und für den Akzeptanzwinkel: $\Theta_A = \arcsin \frac{\sqrt{n_K^2 - n_M^2}}{n_0}$ mit

- n_K = Brechzahl optischer Kern
- n_M = Brechzahl optischer Mantel
- n_0 = Brechzahl außerhalb der Faser (üblicherweise Luft mit $n_0=1$)

Unter dem Sinus des Akzeptanzwinkels Θ_A versteht man die numerische Apertur N_A . Je größer dieser Wert ist, desto mehr Leistung kann in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt werden.

Typische Werte der Numerischen Apertur sind 0,1 bis 0,3.

Akzeptanzwinkel Θ_A

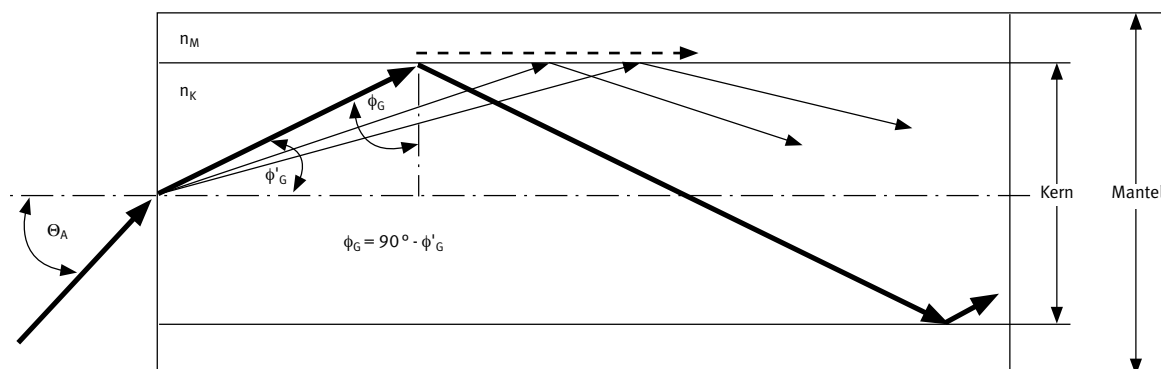


Abb. A14.1 Akzeptanzwinkel Θ_A

A14.21 Optische Dichte

Eigenschaft eines optischen Mediums. Logarithmus zur Basis 10 (Briggscher Logarithmus) des reziproken Wertes des Transmissionsgrades τ .

Symbol: OD; $OD = -\log_{10} \tau$

A14.22 Reflexionsgrad

Verhältnis der reflektierten Strahlungsleistung zur einfallenden Strahlungsleistung unter gegebenen Bedingungen.

Symbol: ρ
SI-Einheit: 1

A14.23 Richtungsveränderliche Laserstrahlung (scanning)

Laserstrahlung, die bezüglich eines festen Bezugssystems eine mit der Zeit variierende Richtung, einen zeitlich veränderlichen Ursprungsort oder zeitlich veränderliche Ausbreitungsparameter hat.

A14.24 Sichtbare Laserstrahlung (Laser-Licht)

Jede optische Strahlung, die unmittelbar eine direkte Lichtempfindung im Auge hervorrufen kann.

Anmerkung:
In dieser DGUV Information bedeutet dies die elektromagnetische Strahlung, deren Komponenten im Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 700 nm liegen.

A14.25 Spiegelnde Reflexion

Reflexion an einer Fläche, bei der die Korrelation zwischen den einfallenden und reflektierten Strahlenbündeln aufrechterhalten wird, wie bei der Reflexion an einem Spiegel.

A14.26 Strahl

Laserstrahlung, die durch Richtung, Strahldivergenz, Strahldurchmesser oder Ablenkeigenschaften charakterisiert werden kann. Gestreute Strahlung von einer nicht spiegelnden Reflexion wird nicht als Strahl angesehen.

A14.27 Strahlaufweiter

Eine Kombination optischer Elemente, die den Durchmesser eines Laserstrahlenbündels vergrößert.

A14.28 Strahldivergenz

Die Strahldivergenz ist der ebene Winkel im Fernfeld, der durch den Kegel des Strahldurchmessers festgelegt ist. Wenn die Strahldurchmesser an zwei im Abstand r voneinander liegenden Punkten d_{63} und d'_{63} betragen, ist die Divergenz:

$$\varphi = 2 \cdot \arctan \frac{d_{63} - d'_{63}}{2 \cdot r}$$

SI-Einheit: rad

A14.29 Strahldurchmesser (Strahlbreite)

Der Strahldurchmesser d_u an einem Punkt im Raum ist der Durchmesser des kleinsten Kreises, der u % der gesamten Strahlungsleistung (oder Energie) umfasst. In dieser DGUV Information wird d_{63} benutzt.

Anmerkung:
Für ein Gaußsches Strahlbündel entspricht d_{63} den Punkten, an denen die Bestrahlungsstärke auf $1/e$ des Maximalwertes in der Strahlmitte (optische Achse) fällt.

Berechnungen für größere Strahldurchmesser als 1 mm:
Für Strahldurchmesser größer 15 mm sollte der Korrekturfaktor für 15 mm eingesetzt werden. (Die Energie- bzw. Leistungsdichte wird dann allerdings mit den vorhandenen größeren Strahldurchmesser > 15 mm berechnet).

Eine ausführliche Beschreibung ist unter Anhang 13 zu finden.

In wenigen Fällen kann es bei Hochleistungslasern vorkommen, dass der berechnete Strahldurchmesser d_{63} nicht die Gefährdung ausreichend widerspiegelt. Z. B. wenn ein großer Anteil der Leistung z. B. 30 % in einem ersten Peak (z. B. $d = 0,5$ mm) liegt und der Rest der 63 % Leistung sich auf einen viel größeren Strahldurchmesser bezieht (z. B. $d = 4$ mm). Dann muss auch der erste Peak mit dem entsprechenden Strahldurchmesser zusätzlich betrachtet werden.

A14.30 Strahlungsenergie

Zeitintegral der Strahlungsleistung über eine bestimmte Zeitdauer Δt .

Symbol: Q ; $Q = \int_{\Delta t} P dt$

SI-Einheit: Joule (J)

A14.35 Wellenlänge

Abstand zwischen auf einander folgenden Punkten gleicher Phase einer periodischen Welle, gemessen in Richtung der Wellenausbreitung

Einheit: m bzw. nm $\hat{=} 10^{-9}$ m

A14.31 Strahlungsleistung

In Form von Strahlung ausgesandte, durchgelassene oder empfangene Leistung.

Symbol: $P = \frac{dQ}{dt}$

SI-Einheit: Watt (W)

A14.32 Traghilfen

Sind Teile des Tragkörpers, die zum Befestigen am Ohr des Trägers oder z. B. am Schutzhelm dienen.

Dies sind z. B. Ohrbügel, Kopfband oder Kopfhalterung, Helmhalterung.

A14.33 Tragkörper

Sind Teile des Augenschutzes. Sie bestehen aus Fassung, Traghilfen, Verbindungselementen und gegebenenfalls zusätzlichen Erweiterungsteilen.

A14.34 Transmissionsgrad

Eigenschaft eines optischen Mediums. Verhältnis der durchgelassenen Strahlungsleistung zur auffallenden Strahlungsleistung.

Symbol: τ

SI-Einheit: 1

Anhang 15

Literatur

- Forschungsprojekt F2335 Strahldurchmesser BAUA
- Sutter, Ernst: VDE-Schriftenreihe Normen verständlich 104, Schutz vor optischer Strahlung – Laserstrahlung, inkohärente Strahlung, Sonnenstrahlung; Normenreihe DIN EN 60825 (VDE 0837)

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Tel.: 030 288763800
Fax: 030 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de