

BGI 5092

Auswahl und Benutzung von Laser-Schutz- und Justierbrillen

Berufsgenossenschaft Elektro Textil Feinmechanik

Oktober 2007

Berufsgenossenschaftliche Informationen (BG-Informationen) enthalten Hinweise und Empfehlungen, die die praktische Anwendung von Regelungen zu einem bestimmten Sachgebiet oder Sachverhalt erleichtern sollen.

Diese BG-Information wurde erarbeitet vom Sachgebiet "Laserstrahlung" im Fachausschuss Elektrotechnik, der Berufsgenossenschaftlichen Zentrale für Sicherheit und Gesundheit – BGZ des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften in Zusammenarbeit mit dem DIN AA-Augenschutz und Fachausschuss Persönliche Schutzausrüstungen (PSA) – Sachgebiet: Augen- und Gesichtsschutz.

Vorbemerkung

Die vorliegende BG-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. Die richtige Benutzung und Auswahl von Laser-Schutz- und Laser-Justierbrillen setzt im Allgemeinen einen hohen Wissensstand, sowie eine gründliche Unterrichtung der Betroffenen voraus. Ferner hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass in den Bereichen, in denen eine Gefährdung vorliegt, die persönliche Schutzausrüstung getragen wird.

Kann durch einfache Überlegung oder Wissen die richtige Schutzstufe ermittelt werden, oder hat der Hersteller bereits eine genaue Risikobewertung durchgeführt, so kann diese verwendet werden!

Die ausführliche Ermittlung in dieser BG-Information dient in aller Regel dazu, durch eine genauere Berechnung und Bewertung, die nach der DIN EN 207 und DIN EN 208 (bzw. gemäß [DA zur BGV B2](#)), Stand: 2006 bestimmte Schutzstufe reduzieren zu können.

Einen Überblick über die normativen Zusammenhänge und die BGI zeigt die folgende Abbildung

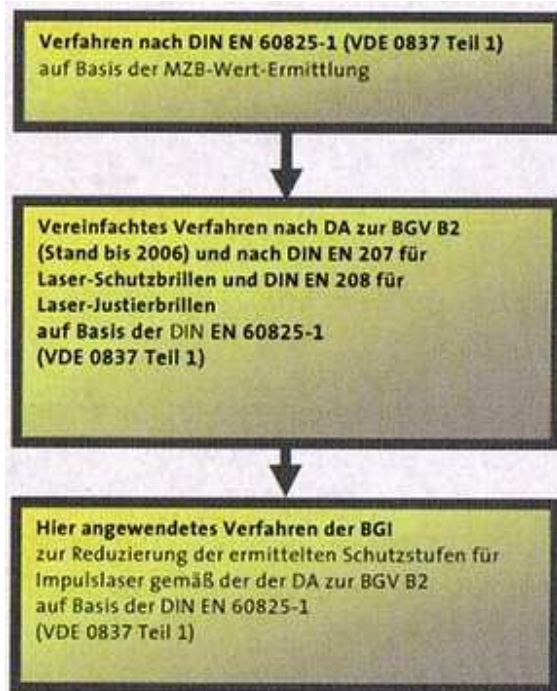


Abbildung 1: Verfahren zur Auswahl von Laser-Schutz- und Laser-Justierbrillen (Bezug DIN EN 60825-1:2003)

1 Anwendungsbereich

Diese BG-Information soll dem Laserschutzbeauftragten und dem Unternehmer eine Hilfestellung zur Ermittlung und Benutzung einer geeigneten Laser-Schutzbrille, einer Laser-Justierbrille oder einer Kombination von beidem geben, und zwar auf Grund der Gefährdungsermittlung beim Umgang mit Laserstrahlung.

Grundsätzlich gilt:

Zunächst ist die Umsetzung technischer und organisatorischer Schutzmaßnahmen gefordert, wie sie beispielsweise in der [BGV B2](#), der DIN EN 60825-1 und DIN EN 12626/ DIN ISO 11553-1 genannt sind.

Beispiele:

- Umhausung des Laserbereiches (Schutzgehäuse),
- Verriegelungen der Zugangsöffnungen usw.
- Organisatorische Schutzmaßnahmen wie Beschilderung, Unterweisungen usw. sind umzusetzen.

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 [§ 5](#) Arbeitsschutzgesetz eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Dabei sind Art und Umfang der Gefährdungen zu ermitteln, um zu klären, ob nicht die Gefährdungen gemäß [§ 4](#) Arbeitsschutzgesetz durch allgemein schützende technische Einrichtungen (kollektive technische Schutz-Einrichtungen) oder durch organisatorische Maßnahmen vermieden oder ausreichend begrenzt werden können. Dabei sind die Arbeitsbedingungen und die persönliche Konstitution der Versicherten zu berücksichtigen.

[BGV B2 § 8 Abs. 1 und 2](#) :

- (1) **Der Unternehmer hat durch technische oder organisatorische Maßnahmen dafür zu sorgen, dass eine Bestrahlung oberhalb der maximal zulässigen Bestrahlung, auch durch reflektierte oder gestreute Strahlung verhindert wird.**
- (2) **Ist dies in Laserbereichen von Lasereinrichtungen der Klassen 3B (nach [DA BGV B2](#) ab Klasse 3R) oder 4 nicht möglich, so hat der Unternehmer zum Schutz der Augen oder der Haut geeignete Augenschutzgeräte, Schutzkleidung oder Schutzhandschuhe zur Verfügung zu stellen.**

Anmerkung 2:

Diese BG-Information dient auch der Umsetzung der Anforderungen der [BG-Regel 192](#) "Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz"

Anmerkung 3:

Die EU-Richtlinie "Künstliche optische Strahlung 2006/25" wurde von der EU im Amtsblatt am 27.04.2006 veröffentlicht.

Titel- Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 05. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG).

Insbesondere in Artikel 5 unter Punkt g) "g) die Verfügbarkeit geeigneter persönlicher Schutzausrüstung" wird auf die Verwendung von PSA hingewiesen. Zum Zeitpunkt der Drucklegung wurde diese Richtlinie national noch nicht umgesetzt. Sofern dies erfolgt, muss diese Verordnung vorrangig angewendet werden.

2 Definitionen

2.1 Laser-Schutzbrillen

Diese Brillen dienen dem Schutz der Augen gegen Laserstrahlung für die jeweils betreffenden Wellenlänge(n) im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Spektralbereich für mindestens 10 s.

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, d.h. maximal 1 MW (mit $C_6 = 1$) bzw. auf $0,6 \cdot$ Klasse 2 (siehe Empfehlung [Tabelle 6](#) unter 6.1). Sie dienen dazu, diffuse Reflexionen dieser Laserstrahlung sicher zu beobachten.

2.3 Hinweis zu Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen

Die Schutzwirkung der Brillen bleibt bei einem direkten Auftreffen des Strahles für den die Brille berechnet wurde mindestens 10 Sekunden und 100 Pulse lang erhalten, sofern die Laser-Schutzbrille oder Laser-Justierbrille nach DIN EN 207 bzw. DIN EN 208 hergestellt wurden.

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

3 Laserspezifische Regelungen

Laserspezifische Regelungen sind unter anderem in den folgenden Normen, BG-Regeln, BG-Information und Merkblättern enthalten:

1	GPSG	Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz – GPSG)
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	BGV B2	Unfallverhütungsvorschrift "Laserstrahlung"
6	BGR 192	Auswahl von Augen- und Gesichtsschutz
7	BG-Information 5007	Laser-Einrichtungen für Show- und Projektionszwecke
8	DIN EN 207	Persönlicher Augenschutz, Filter und Augenschutz gegen Laserstrahlung (Laser-Schutzbrillen)
9	DIN EN 208	Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justier-Brillen)
10	DIN EN 12254	Abschirmungen an Laserarbeitsplätzen; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
11	DIN 56912	Sicherheitstechnische Anforderungen für Show- und Projektions-Laser und Showlaseranlagen und Prüfung

12	DIN EN 60825-1 (VDE 0837 Teil 1)	Sicherheit von Laser-Einrichtungen; Teil 1: Klassifizierungen von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien
13	DIN EN 60825-2 (VDE 0837 Teil 2)	Sicherheit von Laser-Einrichtungen; Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen
14	DIN EN 60825-4 (VDE 0837 Teil 4)	Sicherheit von Laser-Einrichtungen; Teil 4: Abschirmungen an Laserarbeitsplätzen
15	DIN EN 61040 (VDE 0835)	Empfänger, Messgeräte und Anlagen zur Messung von Leistung und Energie von Laserstrahlen
16	DIN ISO 11553-1	Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen
17	DIN Norm-Entwurf ISO/DIS 11553-2	Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 2: Sicherheitsanforderungen an handgeführte und handbediente Maschinen
18	DIN EN ISO 13694	Optik und optische Instrumente – Laser und Laseranlagen – Prüfverfahren für die Leistungs-(Energie-) dichte Verteilung von Laserstrahlen
19	DIN EN ISO 11146-1	Laser und Laseranlagen – Prüfverfahren für Laserstrahlmessungen, Divergenzwinkel und Beugungsmaßzahlen – Teil 1: Stigmatische und einfach astigmatische Strahlen
20	DIN EN ISO 11146-2	Laser und Laseranlagen – Prüfverfahren für Laserstrahlmessungen, Divergenzwinkel und Beugungsmaßzahlen – Teil 2: Allgemein astigmatische Strahlen

4 Gefährdungsanalyse bzw. Gefährdungsermittlung

4.1 Allgemeines

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 Gefährdungsanalyse

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.
- Zum Beispiel kann bei diodengepumpten Festkörperlasern auch die Strahlung des Diodenlasers zugänglich sein und muss dann ebenfalls in Betracht gezogen werden.
- Bei frequenzvervielfachten Laserstrahlungsquellen muss zusätzlich überprüft werden, ob auch die Grundwellenlänge zugänglich ist.
- In seltenen Fällen kann auch die Strahlung im Laserresonator zugänglich sein.

- **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 (Laserbereich) erheblich vergrößert werden.

In der ersten Anlaufphase typischer Materialbearbeitung kann die Strahlung nahezu vollständig reflektiert werden.

4.2.2 Quantitative Ermittlung der Gefährdung durch die zugängliche Strahlung

Zur Ermittlung der Gefährdung sind folgende Parameter am Ort der Exposition zu erfassen:

- **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 8](#).

- **Zeitverhalten der Laseremission:**

Um einen Dauerstrichbetrieb handelt es sich, wenn Laserstrahlung über mehr als 0,25 Sekunden emittiert wird.

- **Mittlere Leistung, Pulsenergie und Pulsfrequenz bei Impulsbetrieb:**

Gepulste Strahlung ist Strahlung, die in Form eines Einzelimpulses oder einer Impulsfolge vorliegt. Hierbei ist die Zeitdauer des Einzelimpulses 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 unter anderem voneinander ab.

Für die Gefährdungsermittlung müssen daher verschiedene Betriebszustände, mindestens aber die Zustände bei kleinster und höchster Impulsenergie betrachtet werden.

- **Strahldurchmesser**

Als Strahldurchmesser muss nach DIN EN 60825-1, DIN EN 207 und DIN EN 208 der Durchmesser D_{63} herangezogen werden, in dem 63 % der Leistung enthalten sind.

Vom Laserhersteller werden oft andere Strahldurchmesser angegeben z. B. $D_{86,5}$. In diesem Fall ist für den reinen Gaußstrahl der Durchmesser mit folgender Formel umzurechnen:

$$D_{63} = \frac{D_{86,5}}{\sqrt{2}}$$

Detaillierte Informationen zur Messung bzw. zur Ermittlung von Strahldurchmessern findet man in der DIN EN ISO 13694 und DIN EN ISO 11146.

Zur Ermittlung des Laserstrahldurchmessers (Siehe auch [Anhang 11](#): Glossar, Strahldurchmesser) mit 63 % der Strahlungsleistung am Ort einer möglichen Exposition hat man je nach Strahlführung zwei Möglichkeiten.

Bei divergenter Strahlung ermittelt man diesen Durchmesser in einer Entfernung von mindestens 100 mm (bezieht sich nur auf den Wellenlängenbereich 400 nm bis 1.400 nm) vom kleinsten zugänglichen Strahldurchmesser. Bei Freisetzung aus optischen Fasern ist das die Entfernung vom Faserende.

Bei fokussierenden Systemen ermittelt man die Parameter in mindestens 100 mm Entfernung von der Strahltaile (Fokus).

In diesem Fall kann man den Strahldurchmesser wie folgt berechnen:

$$d_x = d \frac{x}{f}$$

Dabei ist d der Strahldurchmesser am Objektiv, x die Entfernung vom Fokus und f die Brennweite des Objektivs.

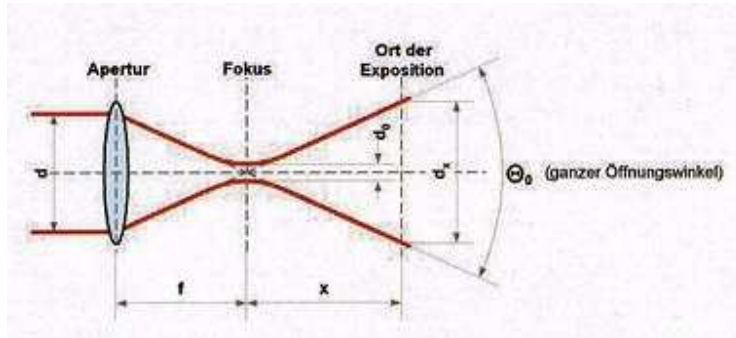


Bild 2: Strahldurchmesserbeziehungen

- d** Strahldurchmesser der Strahlungsquelle
- d₀** Strahldurchmesser im Fokus bzw. in der Strahltaile
- d_x** Strahldurchmesser am Ort der Exposition
- f** Brennweite des Objektivs
- x** Abstand zwischen dem Fokus und den Ort dem Exposition
- Θ₀** Öffnungswinkel (ganzer Öffnungswinkel)
- ω₀** Strahlradius im Fokus bzw. in der Strahltaile

Formeln:

$$\Theta_0 = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot \omega_0} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot \frac{d_0}{2}} = \frac{4 \cdot \lambda}{\pi \cdot d_0}$$

$$d_0 = \frac{4 \cdot \lambda}{\pi \cdot \Theta_0} \cong \text{Durchmesser der Strahlung in der Taille}$$

Für den ganzen Öffnungswinkel gilt: $\Theta_0 \approx \frac{d}{f}$

Bei kreisförmigem Strahlquerschnitt ergibt sich der Strahldurchmesser aus der Beziehung:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Dabei ist A die Strahlquerschnittsfläche.

Bei LWL-Systemen zeigt das folgende [Bild 3](#) und die [Tabelle 1](#) näherungsweise den Strahldurchmesser in 100 mm Entfernung vom Faserende in Abhängigkeit von der numerischen Apertur der Faser.

Tabelle 1: Modenfelddurchmesser in 100 mm Entfernung in Abhängigkeit vom Öffnungswinkel (N_A siehe [A11.17](#))

N_A	Θ_0 [°]	Modenfelddurchmesser [mm]
0,0	0,0	0
0,1	11,5	20,1
0,2	23,1	40,8
0,3	34,9	62,9
0,4	47,2	87,3
0,5	60,0	115,5
0,6	73,7	150,0
0,7	88,9	196,0
0,8	106,3	266,7
0,9	128,3	412,9

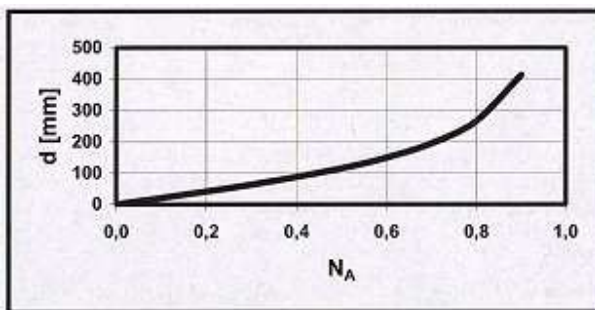


Bild 3: Modenfelddurchmesser in 100 mm Entfernung in Abhängigkeit von der Numerischen Apertur N_A

Ein Einmoden-LWL hat folgende typische Abmessungen:

- Modenfelddurchmesser $\approx 8,5 - 10 \mu\text{m}$
- Manteldurchmesser $D = 125 \mu\text{m}$
- Kernbrechzahl $n_K = 1,46$
- Brechzahldifferenz Kern/Mantel $\Delta = 0,003 = 3 \text{ ‰}$ (siehe Glossar)
- Mantelbrechzahl $n_M = 1,4556$ (berechnet aus Δ , siehe Glossar)

Ein typischer Einmoden-LWL hat folgende numerische Apertur (siehe Glossar):

$$N_A = \sqrt{n_K^2 \cdot n_M^2} \quad \text{Näherung: } n_K \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta} = \sqrt{1,46^2 - 1,4556^2} \approx 0,113$$

Der Akzeptanzwinkel Θ berechnet sich dann aus:

$$\Theta_A = \arcsin \frac{N_A}{n_0}$$

Für die Brechzahl der Luft von $n_0 = 1$ ergibt sich:

$$\Theta_A = \arcsin N_A$$

Tabelle 2: Typische Modenfelddurchmesser von verschiedenen Wellenlängen

Wellenlänge in nm	Modenfelddurchmesser in μm
1550	11,3
1300	9,5
1060	6,5
850	5,2
630	3,9

Der Modenfeldradius ω_0 wird bei einem Lichtwellenleiter definiert als der Bereich, in dem die Leistungsdichte bis auf $1/e^2$ (13,6 %) vom Maximalwert abgefallen ist.

Beim Austritt aus der Stirnfläche des LWL weitet sich der Modenfeldradius mit wachsender z-Richtung nach folgender Gleichung aus:

$$\omega(z) = \omega_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z \cdot \lambda}{\pi \cdot n_0 \cdot \omega_0^2} \right)^2}$$

$$\omega(z) = \omega_0^2 \left[1 + \left(\frac{z \cdot \lambda}{n_0 \cdot \pi \cdot \omega_0^2} \right)^2 \right]$$

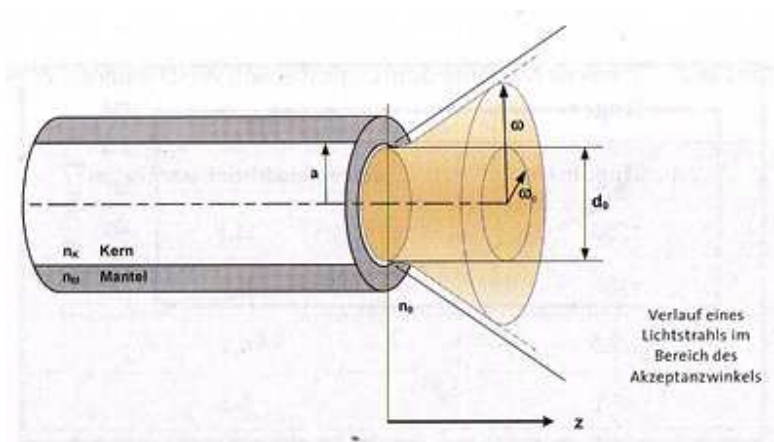


Bild 4 Beispiel: Monomodefaser

- ω Ortsabhängiger Modenfeldradius (größer als Kerndurchmesser)
- ω_0 Modenfeldradius im LWL
- d_0 Modenfelddurchmesser im LWL
- a Kernradius
- z Ausbreitungsrichtung
- Λ Wellenlänge
- n Brechzahl des umgebenden Mediums, üblicherweise Luft mit $n_0 = 1$
- n_K Kernbrechzahl
- n_M Mantelbrechzahl

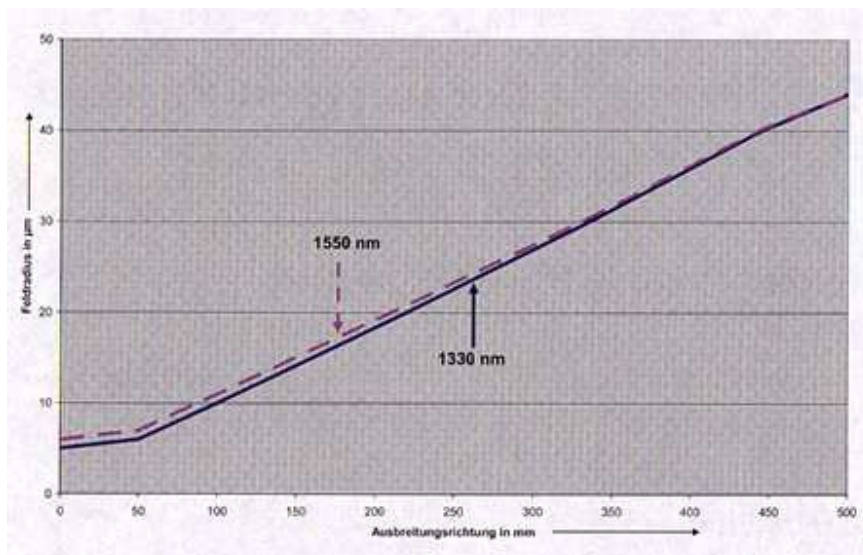


Bild 5: Aufweitung des Modenfeldradius nach Austritt aus der Faserstirnfläche eines Einmoden-LWL

Mit diesen Parametern kann dann die Berechnung der erforderlichen Schutzstufe nach [Abschnitt 5](#) durchgeführt werden.

Anmerkung:

Der direkte Blick in den Strahl, Insbesondere in der Nähe der Fokus-Position, sollte immer vermieden werden!

Falls man diesen Fall trotzdem berücksichtigen muss, können sich sehr hohe erforderliche Schutzstufen ergeben, die eventuell nicht realisiert werden können. Die Norm DIN EN 207 sieht z. B. keine höheren Schutzstufen als L10 vor.

Man beachte, dass bei kollimierter Strahlung oder sehr kleiner Strahldivergenz der Strahldurchmesser nicht oder nur wenig mit der Entfernung zunimmt!

Ferner kann es "hot-spots" im Strahlprofil geben, die ebenfalls beachtet werden sollten.

5 Bestimmung der notwendigen Schutzstufe für Laser-Schutzbrillen

5.1 Konzept, Definition der Schutzstufen

Laser-Schutzbrillen nach DIN EN 207 müssen die Laserstrahlung auf ein unschädliches Maß (Einhaltung der MZB-Werte) herabsetzen. Dies wird durch Absorption und / oder Reflexion der Laserstrahlung erreicht (siehe [Bild 5](#)).

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

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

erfüllen, je nachdem ob die Grenzwerte und die Laserstrahlung durch Leistungsdichten (E_{MZB} , E) oder Energiedichten (H_{MZB} , H) beschrieben werden. Im Wellenlängenbereich über 315 nm finden dabei die Grenzwerte für eine Einwirkungsdauer von 10 s, unterhalb 315 nm die Grenzwerte für 30.000 s Anwendung.

Eine vereinfachte Tabelle zur Ermittlung der MZB-Werte findet sich im Anhang 5. Die vollständige Tabelle der MZB-Werte ist in der BGI 832 zu finden.

Zusätzlich fordert DIN EN 207, dass der spektrale Transmissionsgrad der Laserschutzbrille auch bei Belastung durch den Laserstrahl stabil bleibt. Diese Beständigkeit gegen Laserstrahlung, die sowohl für die Filter als auch für die Tragkörper gewährleistet sein muss und auf eine Bestahlungsdauer von mindestens 10 s ausgelegt ist, soll dem Benutzer des Augenschutzes ermöglichen, eine Unfallsituation zu erkennen und den Gefahrenbereich (Laserbereich) zu verlassen. Als Unfallsituation wird das Auftreffen des Laserstrahls auf dem 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.

In DIN EN 207 werden aus dem spektralen Transmissionsgrad $\tau(\lambda)$ über den dekadischen Logarithmus Schutzstufennummern N gemäß

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

abgeleitet, d.h. die Schutzstufennummer N entspricht der auf ganze Zahlen abgerundeten optischen Dichte $OD(\lambda) = -\log(\tau(\lambda))$ an der entsprechenden Laserwellenlänge. Die Schutzstufen nach DIN EN 207 sind aber erst über die Schutzstufennummer und die Angabe einer Leistungs- oder Energiedichte definiert, gegen die der Laserschutz für die erwähnte Zeit von 10 s standhalten muss.

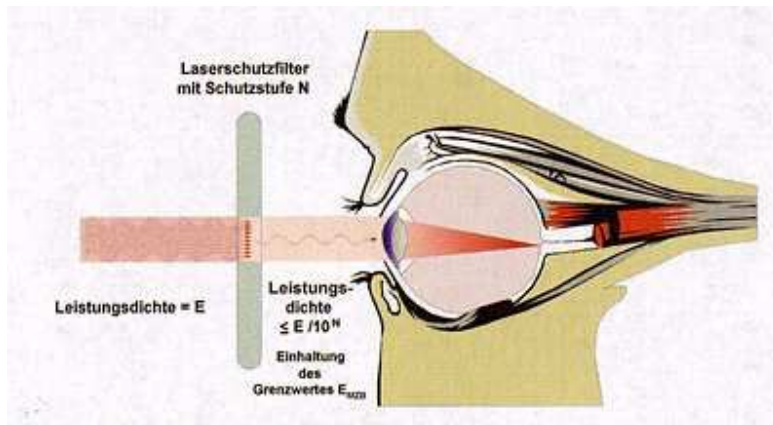


Bild 6: Funktionsprinzip eines Laser-Schutzfilters

[Tabelle 3](#) gibt die Schutzstufen L1 bis L10 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 Riesenimpuls laser (R) sowie modengekoppelte Impuls laser (M) unterschieden. Die Abgrenzung bezüglich der Einwirkungsdauer der Laserstrahlung zeigt [Tabelle 4](#). Die obigen Abkürzungen für die Laserarten treten auch in der Kennzeichnung von Laser-Schutzbrillen ([Anhang 7](#)) auf und sind der dritte Bestandteil bei der Angabe einer Schutzstufe.

Tabelle 3: Spektraler Transmissionsgrad der Laser-Schutzbrillen sowie zugeordnete Energie- bzw. Leistungsdichte

Schutzstufe	Maximaler Spektraler Transmissionsgrad bei den Laser-Wellenlängen $\tau (\lambda)$	Maximale Energie- bzw. Leistungsdichte im Wellenlängenbereich								
		180 nm bis 315 nm			über 315 nm bis 1400 nm			über 1400 nm bis 1000 μm		
		für die Laserbetriebsart / Betriebsdauer in s								
		D $\geq 3 \cdot 10^4 \text{ s}$	I, R 10^{-9} bis $3 \cdot 10^4 \text{ s}$	M $< 10^{-9} \text{ s}$	D $> 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$	I, R 10^{-9} bis $5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$	M $< 10^{-9} \text{ s}$	D $> 0,1 \text{ s}$	I, R 10^{-9} bis $0,1 \text{ s}$	M $< 10^{-9} \text{ s}$
E W/m^2	H J/m^2	E W/m^2	E W/m^2	H J/m^2	E W/m^2	E W/m^2	H J/m^2	E W/m^2		
L 1	10^{-1}	0,01	$3 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^{11}$	10^2	0,05	$1,5 \cdot 10^{-3}$	10^4	10^3	10^{12}
L 2	10^{-2}	0,1	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{12}$	10^3	0,5	$1,5 \cdot 10^{-2}$	10^5	10^4	10^{13}
L 3	10^{-3}	1	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{13}$	10^4	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
L 4	10^{-4}	10	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{14}$	10^5	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
L 5	10^{-5}	100	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{15}$	10^6	500	15	10^8	10^7	10^{16}
L 6	10^{-6}	10^3	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^{16}$	10^7	$5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
L 7	10^{-7}	10^4	$3 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{17}$	10^8	$5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
L 8	10^{-8}	10^5	$3 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{18}$	10^9	$5 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
L 9	10^{-9}	10^6	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{19}$	10^{10}	$5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
L 10	10^{-10}	10^7	$3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{20}$	10^{11}	$5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

Tabelle 4: Zeitliche Abgrenzung der Laserarten für die Auswahl der Laser-Schutzfilter nach DIN EN 207 (Die Tabelle basiert auf dem vereinfachten Grenzwertsatz nach [Anhang 5](#)).

Zeiten t	Wellenlänge		
	180 nm bis 315 nm	315 nm bis 1400 nm	1400 nm bis 10^6 nm
$< 10^{-9}$	Modengekoppelte Impuls laser (M)		
10^{-9} bis 10^{-7}	Riesenimpuls laser (R)		
10^{-7} bis $5 \cdot 10^{-4}$	Impuls laser (I)		
$5 \cdot 10^{-4}$ bis 0,1	Dauerstrich laser (D)		
0,1 bis 0,25			
0,25 bis $3 \cdot 10^4$			

Zur Bestimmung der erforderlichen Schutzstufe muss die Wellenlänge des Lasers, die Laserart nach [Tabelle 4](#) und die entsprechende Leistungs- bzw. Energiedichte der Laserstrahlung bekannt sein. Bei gepulsten Lasern muss neben der speziellen Schutzstufe für den Impulsbetrieb (Laserart I, R oder M) immer auch gemäß der mittleren Leistungsdichte des Lasers eine Schutzstufe bezüglich der Laserart D bestimmt werden. Dabei soll zur Berechnung der in [Abschnitt 4](#) bestimmte Strahldurchmesser verwendet werden.

Die Schutzstufen können entsprechend der Betriebsweise und Art der Laserstrahlung nach dem zutreffenden, unten aufgeführten Verfahren ermittelt werden.

5.2 Schutzstufenermittlung für Dauerstrichlaser (Kennbuchstabe der Laserart: D)

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

$$(1) \quad E = \frac{P}{A}$$

Die erforderliche Schutzstufe wird aus der Spalte "D" von der [Tabelle 3](#) entnommen, die der Wellenlänge des Lasers entspricht.

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

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

Dabei führt das erste Kriterium zu einer Schutzstufe bezüglich der Laserart I oder R (je nach Impulsdauer des Lasers) und das zweite zu einer Schutzstufe bezüglich der Laserart D, obwohl es sich um die Betrachtung eines gepulsten Lasers handelt.

5.3.1 Impulsbetrachtung

Die Energiedichte H des Laserstrahls errechnet sich aus der Impulsenergie Q des Einzelimpulses und dem Strahlquerschnitt (bzw. der Strahlquerschnittsfläche) A wie folgt:

$$(2) \quad H = \frac{Q}{A}$$

Für Laser im Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 10^6 nm, Impulsdauern $< 0,25$ s und Impulswiederholffrequenzen $\nu > 1$ Hz ist dieser Wert der Energiedichte mit dem Faktor k zu multiplizieren.

$$(3) \quad H' = H \cdot k$$

k wird dabei wie folgt aus der Anzahl der Laserimpulse N , die in der Bestrahlungsdauer $T = 10$ s emittiert werden, berechnet:

$$(4) \quad k = N^{1/4}$$

Für H bzw. H' kann die erforderliche Schutzstufe für die Wellenlänge und die Laserart aus der entsprechenden Spalte "I, R" (siehe [Tabelle 3](#)) entnommen werden. Der Kennbuchstabe für die Laserart ist "R" bei Impulsdauern kleiner als 10^{-7} s, sonst ist der Kennbuchstabe "I". Ist die Impulsdauer des Lasers größer als die im Tabellenkopf angegebene Einwirkungsdauer, dann entfällt die Schutzstufe für "I" und die Anforderung an die Schutzbrillen enthält nur eine Anforderung zur Schutzstufe nach "D" entsprechend [Punkt 5.3.2](#).

Bemerkung zur Bestimmung des Faktors k

Besitzt ein Laser die Impulswiederholffrequenz ν , dann ist die Gesamtzahl der Impulse innerhalb der zugrunde zu legenden Bestrahlungsdauer gegeben durch

$$(5) \quad N = \nu \cdot 10 \text{ s}$$

k ist dann durch Gleichung [\(4\)](#) gegeben.

Die Beziehung [\(5\)](#) darf jedoch nur so lange angewendet werden, wie die Abstände der Einzelimpulse $\delta T = 1/\nu$ länger sind als die wellenlängenabhängigen Zeiten T_i , die in [Tabelle 5](#) wiedergegeben sind. Bei kürzeren Impulsabständen als es den Zeiten T_i entspricht, sind die Energien der in T_i mehrfach auftretenden Impulse zusammenzufassen. Die maximal anzuwendende Frequenz ν_{\max} ist dann der Kehrwert von T_i .

In diesem Fall ergibt sich ein Korrekturfaktor für die Einzelimpulsenergiedichte H , der aus dem Produkt von k und einem Faktor k_{T_i} besteht, welcher die Zahl der Einzelimpulse in der Zeitdauer T_i beschreibt.

Anmerkung:

Diese Erweiterung bzw. Einführung des Korrekturfaktors k_{T_i} ist notwendig um die Zusammenfassung der Impulsgruppen wie in der [DA der BGV B2](#) zu ermöglichen. Die bisherigen Berechnungen gemäß Anhang 4a bzw. 4b der [BGV B2](#) führen unter Umständen zu einer höheren Schutzstufe. Deshalb dürfen die Berechnungen zur Vereinfachung auch ohne die Einführung der zusammengefassten Impulsgruppen durchgeführt werden.

Ist ein Laser unregelmäßig gepulst, (besitzt er keine kontinuierliche Impulswiederholffrequenz ν), dann ist bei der Impulsbestimmung der energiereichste Impuls und der Impuls mit der maximalen Spitzenleistung zusätzlich zu bewerten (siehe auch IGED-Verfahren nach DIN EN 60825-1:2003-10).

Tabelle 5: Zeiten T_i , unterhalb deren Impulsgruppen aufsummiert werden müssen und maximal anzuwendende Frequenz $\nu_{\max} = 1/T_i$

Wellenlänge	T_i / [s]	ν_{\max} / [Hz]
$400 \leq \lambda/\text{nm} < 1050$	$18 \cdot 10^{-6}$	$55,56 \cdot 10^3$
$1050 \leq \lambda/\text{nm} < 1400$	$50 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^3$
$1400 \leq \lambda/\text{nm} < 1500$	10^{-3}	10^3
$1500 \leq \lambda/\text{nm} < 1800$	10	0,1
$1800 \leq \lambda/\text{nm} < 2600$	10^{-3}	10^3
$2600 \leq \lambda/\text{nm} < 10^6$	10^{-7}	10^7

5.3.2 Betrachtung der mittleren Leistung

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

$$(6) \quad E_m = \frac{P_m}{A}$$

oder, falls die mittlere Leistung nicht angegeben ist, zu

$$(7) \quad E = \frac{Q \cdot N / 10 \text{ s}}{A}$$

N ist die Anzahl der Impulse innerhalb von 10 s, Q ist die Energie des Einzelimpulses. (Bei regelmäßiger Impulsfolge stellt $(N / 10 \text{ s})$ nach (5) die Impulswiederholfrequenz des Lasers dar).

Die erforderliche Schutzstufe kann aus der Spalte "D" von [Tabelle 3](#), die der Wellenlänge des Lasers entspricht, entnommen werden. Der Kennbuchstabe für die Laserart ist "D".

Beispiele zur Berechnung

Beispiel 1 (regelmäßige Impulsfolge):

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

Der zeitliche Abstand der Einzelimpulse beträgt $\delta T = 1 / \nu = 1/40 \text{ kHz} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

Damit fallen zwei Einzelimpulse in die Zeit $T_i = 50 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

Die Impulsenergie Q bzw. die Impulsenergiedichte H des $5\mu\text{s}$ -Impulses sind deshalb mit dem Faktor 2 zu multiplizieren, da die neue Impulsgruppe jeweils zwei $5\mu\text{s}$ -Impulse enthält. Dies entspricht dem Korrekturfaktor $k_{T_i} = 2$, welcher mit folgender Gleichung ermittelt werden kann:

$$k_{T_i} = T_i \cdot \nu = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 10^3 = 2$$

Die nach (5) ermittelte Impulszahl N für 10 s beträgt:

$$N(10\text{s}) = 10 \cdot \frac{1}{T_i} = \frac{10}{50 \cdot 10^{-6}} = 200000$$

$$\text{Faktor } k = (200000)^{1/4} = 21,15$$

$$H = H \cdot k \cdot k_{T_i} = H \cdot 21,15 \cdot 2$$

Beispiel 2 (Impulsgruppe):

Ein Laser, Wellenlänge 800 nm, sendet eine Impulsfolge von 3 Impulsen mit 3 μs Dauer und mit einer Energie von 30 μJ innerhalb einer Zeitspanne von 18 μs aus. Diese Impulsfolge wiederholt sich innerhalb von 1 s 10 mal.

Zunächst sind die Einzelimpulsenergien innerhalb der Zeit $T_i = 18 \cdot 10^{-6} \text{s}$ zu summieren.

Die Impulsenergie Q bzw. die Impulsenergiedichte H des 3 μs -Impulses sind deshalb mit dem Faktor 3 zu multiplizieren, da die neue Impulsgruppe jeweils drei 3 μs -Impulse enthält.

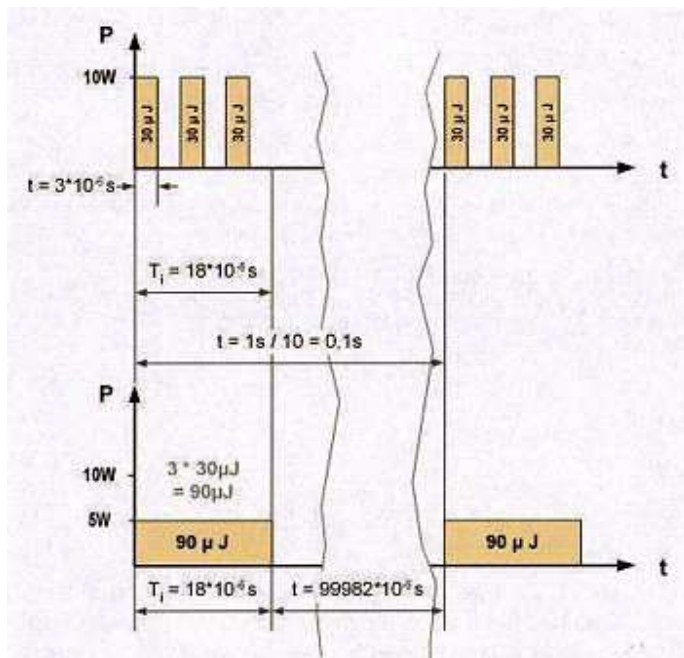


Bild 7: Zusammenfassen von Einzelimpulsen

Der zeitliche Abstand der Einzelimpulse beträgt $\delta T = 6 \cdot 10^{-6} \text{s}$ ($= 1/\nu = 1/166,7 \text{ kHz}$)

Damit fallen drei Einzelimpulse in die Zeit $T_i = 18 \cdot 10^{-6} \text{s}$.

Die Impulsenergie Q bzw. die Impulsenergiedichte H des 3 μs -Impulses sind deshalb mit dem Faktor 3 zu multiplizieren, da die neue Impulsgruppe jeweils drei 3 μs -Impulse enthält. Dies entspricht dem Korrekturfaktor $k_{T_i} = 3$, welcher mit folgender Gleichung ermittelt werden kann:

$$k_{T_i} = T_i \cdot \nu = 18 \cdot 10^{-6} \cdot 166,7 \cdot 10^3 = 3$$

Die nach (5) ermittelte Impulszahl N für 10 s beträgt:

$$N(10\text{s}) = 10 \cdot \frac{1}{T} = 100$$

$$\text{Faktor } k = (100)^{1/4} = 3,16$$

$$H' = H \cdot k \cdot k_{T_i} = H \cdot 3,16 \cdot 3$$

5.4 Schutzstufenermittlung für modengekoppelte Laser (Kennbuchstabe der Laserart: M) Impulsdauer <math> < 10^{-9}</math> 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 Laserart M und das zweite zu einer Schutzstufe bezüglich der Laserart D, obwohl es sich um die Betrachtung eines gepulsten Lasers handelt.

Anmerkung:

Sei Unterscheidung nach der Laserart darf jede der ermittelten Schutzstufen in Verbindung mit der Laserart angegeben werden. (siehe auch Anmerkung zu [5.3.1](#))

5.4.1 Impulsbetrachtung

5.4.1.1 Wellenlängenbereich 400 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 Laserart ist "M".

5.4.1.2 Wellenlängenbereiche <math> < 400</math> nm und > 1400 nm

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

$$(8) \quad E_s = \frac{P_s}{A}$$

Die erforderliche Schutzstufe kann aus der Spalte "M" aus [Tabelle 3](#), die der Wellenlänge des Lasers entspricht, entnommen werden. Der Kennbuchstabe für die Laserart ist "M".

5.4.2 Dauerstrichbetrachtung

Die Berechnung erfolgt gemäß [Abschnitt 5.3.2](#).

Die erforderliche Schutzstufe kann aus der Spalte "D" von [Tabelle 3](#), die der Wellenlänge des Lasers entspricht, entnommen werden. Der Kennbuchstabe für die Laserart ist "D".

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). Die spektralen Transmissionsgrade der Justierbrillen sind deshalb höher als die entsprechender Laser-Schutzbrillen (DIN EN 207) und der spektrale Transmissionsgrad der Justierbrille allein bietet in einer Unfallsituation (direkte Einwirkung der Laserstrahlung auf die Schutzbrille) keinen ausreichenden Schutz des Auges. Es müssen unbedingt aktive Schutz-, d.h. bewusste Abwendungsreaktionen, hinzutreten, die dann ausgeführt werden müssen, wenn 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, auf dessen Vorhandensein die Auslegung von Laser-Justierbrillen ursprünglich basiert hat, keine verlässliche physiologische Reaktion darstellt.

Durch Wahl eines erhöhten Schutzes kann auch z. B. eine Auslegung auf eine Zeitdauer (Beobachtungszeit) von 2 s (siehe [Tabelle 6](#)) 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 einschließlich des Lidschlusses.

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

$$(9) \quad \tau(\lambda) \leq \frac{1 \text{ mW}}{P}$$

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

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

DIN EN 208 definiert die Schutzstufen R1 bis R5 ([Tabelle 6](#)) für Laser-Justierbrillen.

Tabelle 6: Anwendungsbereich und spektraler Transmissionsgrad der Laser-Justierbrillen

Schutzstufe	Maximale Laserleistung für Dauerstrichlaser Zeitbasis 0,25 s	Maximale Laserleistung für Dauerstrichlaser Beobachtung bis 2 s	Maximale Energie des Einzelimpulses für Impulslaser Zeitbasis 0,25 s	Maximale Energie des Einzelimpulses für Impulslaser Beobachtung bis 2 s	Bereich des spektralen Transmissionsgrades
R1	10 mW	0,6 bis 6 mW	$2 \cdot 10^{-6}$ J	$1,2 \cdot 10^{-6}$ J	10^{-1} bis 10^{-2}
R2	100 mW	60 mW	$2 \cdot 10^{-5}$ J	$1,2 \cdot 10^{-5}$ J	10^{-2} bis 10^{-3}
R3	1 W	600 mW	$2 \cdot 10^{-4}$ J	$1,2 \cdot 10^{-4}$ J	10^{-3} bis 10^{-4}
R4	10 W	6 W	$2 \cdot 10^{-3}$ J	$1,2 \cdot 10^{-3}$ J	10^{-4} bis 10^{-5}
R5	100 W	60 W	$2 \cdot 10^{-2}$ J	$1,2 \cdot 10^{-2}$ J	10^{-5} bis 10^{-6}

Die obere Grenze des spektralen Transmissionsgrades in [Tabelle 6](#) ergibt sich aus der Sicherheitsanforderung gemäß Gleichungen [\(9\)](#) und [\(10\)](#), 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 Beobachtungszeit von 2 s (Spalte 3 und 5) sollte immer dann angewendet werden, wenn absichtlich oder bewusst in den Strahl oder in den reflektierten Strahl geblickt werden muss.

Diffuse Reflexionen:

Wie in [Bild 8](#) angedeutet, soll bei der Verwendung von Laser-Justierbrillen die durch eine diffus reflektierende Oberfläche gestreute Laserstrahlung durch das 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.

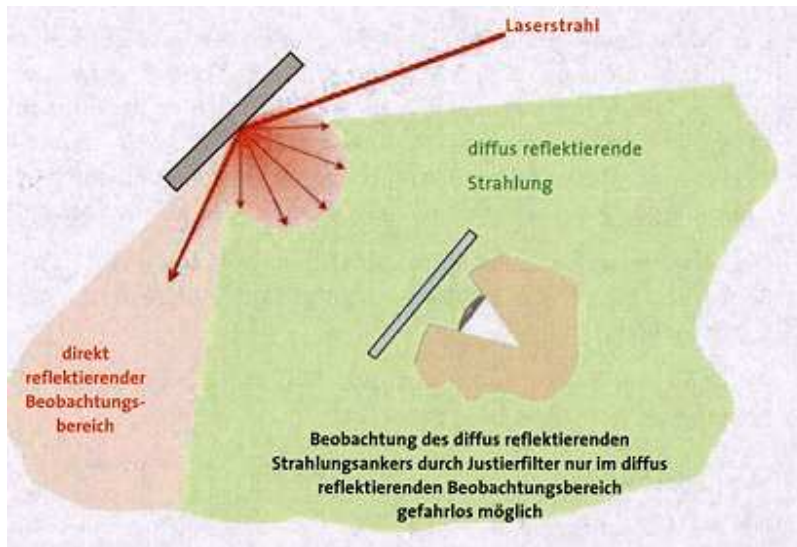


Bild 8 Prinzipielle Verwendungsweisen von Laser-Justierbrillen

Anmerkung 1:

Es gibt oftmals Laser die auch im Wellenlängenbereich bis 780 nm justiert werden sollen. Hierbei muss im Gegensatz zum Konzept der 0,25 s die Zeitbasis von 10 s angewendet werden.

Anmerkung 2:

Die Verwendung einer Laser-Justierbrille mit einer höheren Schutzstufe als derartig nach [Tabelle 6](#) 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 (Beobachtung 2 s) von [Tabelle 6](#) 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 7-mm-Blende fallen würde.

Die Angabe der maximalen Laserleistung für Dauerstrichlaser für eine Beobachtungszeit 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 (Beobachtung 2 s) von [Tabelle 6](#) 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 7-mm-Blende fallen würde.

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

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

Für langsame Impulsfolgen und Impulslängen zwischen 10^{-9} s und $2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$ können die Laser-Justierfilter nach Spalte 4 von [Tabelle 6](#) ausgewählt werden.

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

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

Die Impulsenergie Q des Lasers ist mit dem Faktor k zu multiplizieren:

$$(11) Q' = Q \cdot k$$

Für Q' wird dann die erforderliche Schutzstufe aus Spalte 4 der [Tabelle 6](#) entnommen.

Für eine Beobachtungszeit von 2 s muss Spalte 5 von [Tabelle 6](#) ausgewählt werden.

k wird dabei wie folgt aus der Anzahl der Laserimpulse N, die in der maximalen Bestrahlungsdauer von T = 10 s emittiert werden, berechnet.

$$(12) k = N^{1/4}$$

Bemerkung zur Bestimmung des Faktors k:

Besitzt ein Laser die Impulswiederholffrequenz ν , dann ist die Gesamtzahl der Impulse innerhalb der zugrunde zu legenden Bestrahlungsdauer gegeben durch

$$(13) N = \nu \cdot 10 \text{ s}$$

k ist dann durch Gleichung [\(12\)](#) gegeben.

Die Beziehung [\(13\)](#) darf jedoch nur so lange angewendet werden, wie die Abstände der Einzelimpulse $\delta T = 1 / \nu$ länger sind als die wellenlängenabhängige Zeit T_i , die in [Tabelle 7](#) wiedergegeben ist. Bei kürzeren Impulsabständen als es der Zeit T_i entspricht, sind die Energien der in T_i mehrfach auftretenden Impulse zusammenzufassen. Die maximal anzuwendende Frequenz ν_{\max} ist dann als Kehrwert von T_i anzusetzen.

In diesem Fall ergibt sich ein Korrekturfaktor für die Einzelimpulsenergiedichte H, der aus dem Produkt von k und einem Faktor k_{T_i} besteht, welcher die Zahl der Einzelimpulse in der Zeitdauer T_i beschreibt.

Beispiel 3 (regelmäßige Impulsfolge):

Ein Laser, Wellenlänge 670 nm, ist mit einer Frequenz vom 100 kHz gepulst, die Impulslänge beträgt 5 μs .

Zunächst sind die Einzelimpulsenergien innerhalb der Zeit $T_i = 18 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ zu summieren.

Der zeitliche Abstand der Einzelimpulse beträgt $\delta T = 1 / \nu = 1 / 100 \text{ kHz} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ s}$.

$$k_{Ti} = T_i \cdot \nu = 18 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^3 = 1,8$$

Damit fallen im Mittel 1,8 Impulse in die Zeit $T = 18 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ und die Impulsenergie Q der fiktiven Impulse ist um den Faktor 1,8 zu erhöhen.

Die in [\(13\)](#) maximal anzuwendende Frequenz beträgt $55,56 \cdot 10^3 \text{ Hz}$, so dass sich ein Faktor $k = (10 \text{ s} \cdot 55,56 \cdot 10^3 \text{ Hz})^{1/4} = 555 \text{ 600}^{1/4} = 27,3$ ergibt.

Insgesamt muss deshalb die Impulsenergie um den Faktor 27,3 und den Faktor 1,8 erhöht werden:

$$Q' = Q \cdot k \cdot k_{Ti} = Q \cdot 27,3 \cdot 1,8$$

7 Modellauswahl von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen

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

In vielen Fällen sind die potenziell gefährlichen bzw. gefährlichen Laser der Klassen 3R, 3B oder 4 gekapselt, so dass im Normalbetrieb ein Laser der Klasse 1 vorliegt. Hierbei braucht dann keine Laser-Schutzbrille getragen zu werden.

Bei Wartungsarbeiten oder im Labor muss aber in aller Regel die persönliche Laser-Schutzbrille oder Laser-Justierbrille zum Einsatz kommen.

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 komfortable 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 [BGR 192](#)) berücksichtigt werden:

- Prüfung der vorliegenden Laserschutzprodukte auf deren Eignung bezüglich der notwendigen Wellenlängen(-bereiche) sowie der angegebenen Laserbetriebsartmaximalen Tageslichttransmission (je höher desto besser)

- 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)
- Frage klären, ob die Schutzbrille über eine Korrektionsbrille passen muss
- Wenn die Schutzbrille nicht mit einer Korrektionsbrille (Sehhilfe) 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. Hier empfehlen sich ggf. Korbbrillenvarianten.

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 einigem am Markt befindlichen Laserschutzbrillen 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
- Das Umfeld soll in Betracht gezogen werden, in dem 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.

8 Persönliche Schutzausrüstung (Anwendung und Pflege)

8.1 Allgemeine Hinweise zum Arbeiten mit Laser-Schutzbrillen

Alle Personen, die sich im Laserbereich aufhalten, müssen geeigneten Augenschutz benutzen (siehe auch [BGV B2](#)). 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. Alle, die sich in diesen Gefahrenbereichen (Laserbereichen) aufhalten, müssen Laser-Schutzbrillen tragen.

Anmerkung 1:

Die Unterweisung der Mitarbeiter 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 MZB-Werte für die Haut übertreffen, sollte geeignete Schutzkleidung zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere sind Laser der Klasse 4 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 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 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 EN-Norm geprüften Wellenlängenbereich, die Laserart und die Schutzstufe an. (Siehe auch [Anhang 7](#)). Im Zweifelsfall sollte sich der Anwender 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 unterliegen den Europäischen Richtlinien zur Persönlichen Schutzausrüstung (PSA-Richtlinie 89/686/EWG). Sie sind nicht für den Straßenverkehr zugelassen.
- Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen müssen gemäß der PSA-Richtlinie 89/686/EWG mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet sein. Damit (und mit der sog. 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 [GPSG](#) zu erfüllen. So kann z. B. Lackieren der Brille die vom Hersteller angegebene Schutzstufe verringern.

8.2 Behandlungs- und Gebrauchshinweise:

Eine Laser-Schutzbrille ist ein hochwertiges optisches Produkt. Sie bedarf 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:

- so kurz wie möglich dem Tageslicht oder UV-Lampen-Strahlung ausgesetzt werden
- vor mechanischer Beanspruchung oder Kratzern geschützt werden
- vor Substanzen wie z. B. Säuren, Laugen, 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
- vor der Anwendung auf mechanische Beschädigungen oder Farbveränderungen des Filters auf Fehler zu überprüfen. Sollte man Fehler finden, so muss die Brille überprüft werden (z. B. durch den Laserschutzbeauftragten oder Hersteller).
- beim Tragen der Brillen auf den sicheren Sitz der Schutzbrille zu achten (z. B. muss das Kopfband fest sitzen)
- 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 nichttrocken 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 teilweise den Schutz verliert. Selbst kleinste Kratzer können den Schutz beeinträchtigen.

Auch hier gilt: Brillen, die einen sichtbaren Fehler zeigen, sind vom LB bzw. Hersteller zu kontrollieren. In der Regel sind diese auszutauschen.

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

8.5 Haltbarkeit von Laser-Schutzbrillen

Der Hersteller macht in seiner Betriebsanleitung Angaben zur Haltbarkeitsdauer. Ggf. ist ergänzend die Rücksprache mit dem Hersteller erforderlich.

Die häufig gestellte Frage nach der Haltbarkeit kann nicht so ohne weiteres beantwortet 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.

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:

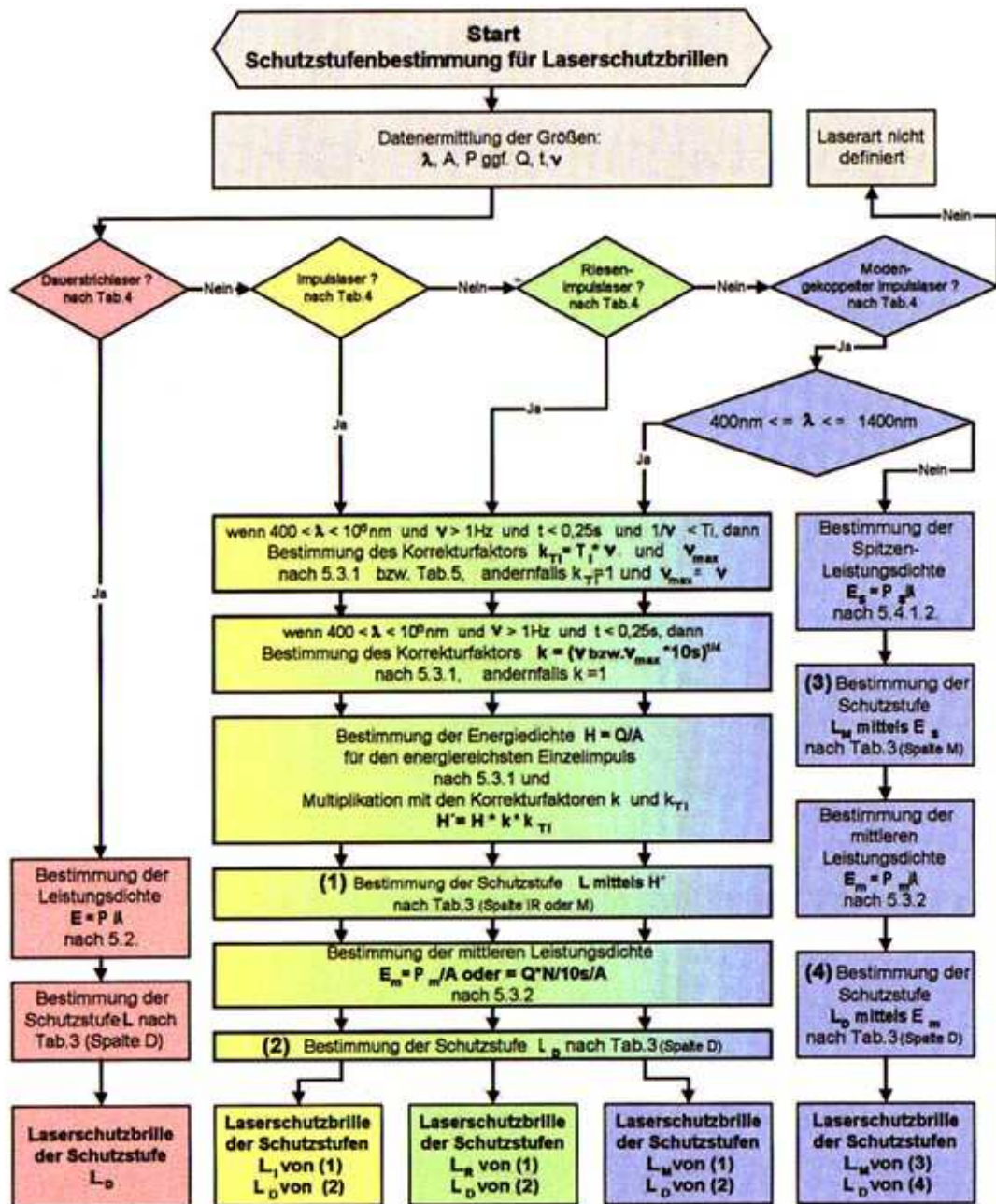
- Überprüfung von Schutzbrillen und Filtern auf Lasersicherheit
- spektrale Vermessung (Filter und Schutzbrillen, soweit technisch machbar)

Anhang 1 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	Prüfen, ob der Einsatz der Schutzbrillen notwendig ist oder ob nicht der Laser sicher (auch für die Wartung) gekapselt werden kann?	<input type="checkbox"/>
2	Wird der Laserschutzbeauftragte (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 bei der Auswahl der geeigneten persönlichen Laser-Schutzbrillen oder Laser-Justierbrillen beteiligt?	<input type="checkbox"/>
6	Ist eine Unterweisung der Mitarbeiter 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" (siehe BGV A8) 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!	<input type="checkbox"/>

Anhang 2 Flussdiagramm zur Berechnung der Schutzstufe von Laser-Schutzbrillen



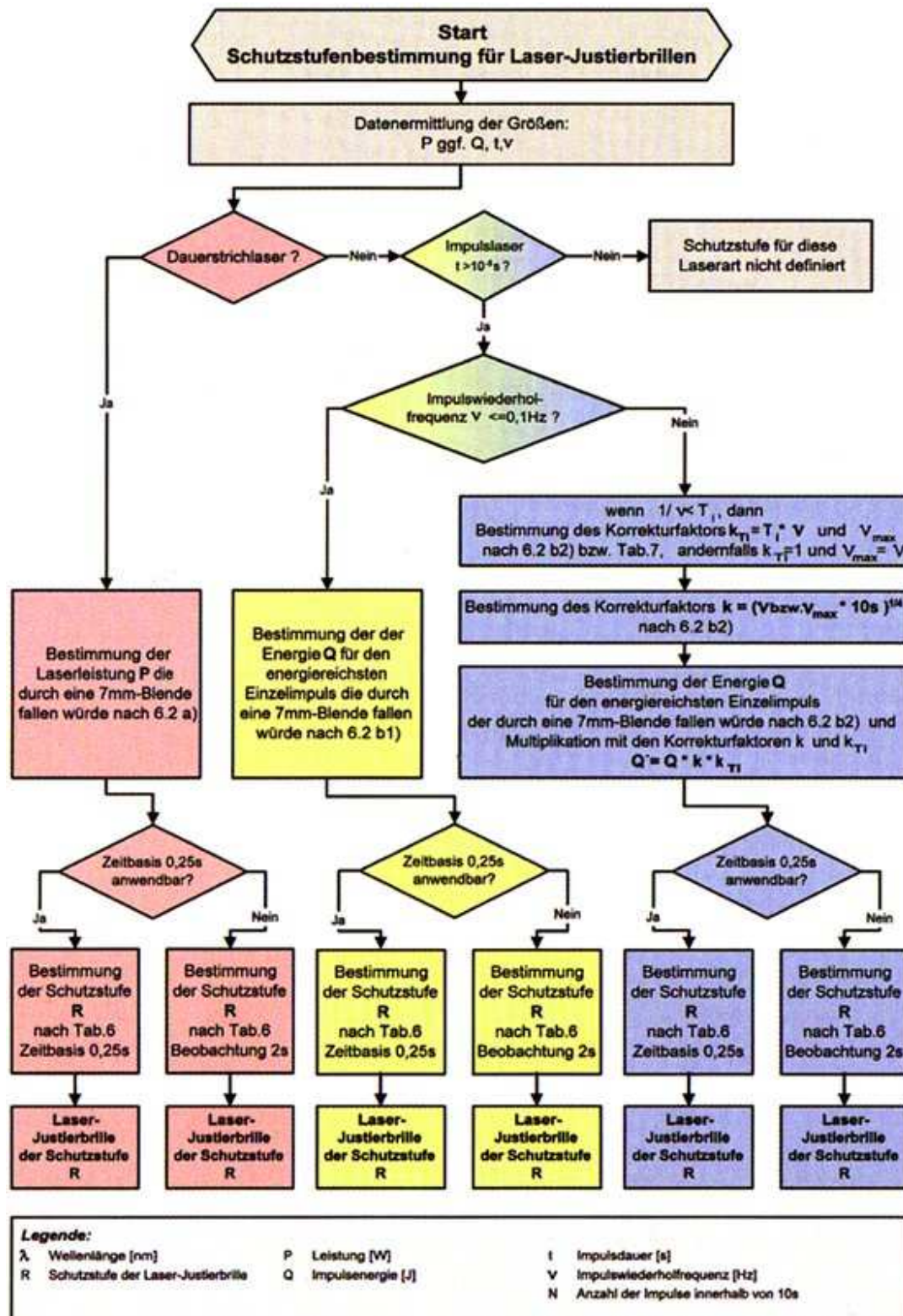
Legende:

A Strahlquerschnittsfläche [m²]
 λ Wellenlänge [nm]
 t Impulsdauer [s]
 v Impulsfrequenz [Hz]
 N Anzahl der Impulse innerhalb von 10s

P Leistung [W]
 E Leistungsdichte [W/m²]
 Q Impulsenergie [J]
 H Impulsenergie [J/m²]
 L Schutzstufe der Laserschutzbrille

L_D Schutzstufe für Dauerstrichlaser (Tab.3 Spalte D)
 L_I Schutzstufe für Impuls laser (Tab.3 Spalte IR)
 L_R Schutzstufe für Riesenimpuls laser (Tab.3 Spalte IR)
 L_M Schutzstufe für Modengekoppelte Impuls laser (Tab.3 Spalte M)

Anhang 3 Schutzstufenbestimmung für Laser-Justierbrillen



Anhang 4 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 μ J. 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 [4.2.2](#).

Gegebene Größen:

λ	= 940 nm	
d_{63}	= 20 mm	= 0,02 m
φ	= 220 mrad	= 0,22 rad
t	= 10 μ s	= $10 \cdot 10^{-6}$ s
v	= 25 kHz	= $25 \cdot 10^3$ Hz
Q	= 4 μ J	= $4 \cdot 10^{-6}$ J

A4.1 Bestimmung der Laserart nach [Tabelle 3](#)

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

A4.2 Bestimmung der Energiedichte des Einzelimpulses

A4.2.1 Bestimmung der Korrekturfaktoren

A4.2.1.1 Bestimmung des Korrekturfaktors k_{Ti}

Zur Bestimmung des Korrekturfaktors k_{Ti} wird bezüglich der [Tabelle 3](#) der Zeitabstand zwischen zwei Impulsen δT und die Wellenlänge λ benötigt.

$$\delta T = 1/v = 1/(25 \cdot 10^3 \text{ Hz}) = 4 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

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

Gemäß der [Tabelle 3](#) sowie des Zeitabstands zwischen zwei Impulsen $\delta T = 4 \cdot 10^{-5}$ s und der Wellenlänge $\lambda = 940$ nm ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\delta T = 4 \cdot 10^{-5} \text{ s} > T_i = 18 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Deshalb kann der Korrekturfaktor k_{Ti} vernachlässigt werden $k_{Ti} = 1$.

A4.2.1.2 Bestimmung des Korrekturfaktors k

$$k = N^{1/4} = (v \cdot 10 \text{ s})^{1/4} = (25 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 10 \text{ s})^{1/4} = 22,36$$

A4.2.2 Bestimmung des Strahldurchmessers in einem Abstand von 10 cm (üblicher Beobachtungsabstand vom Auge zum Beobachtungsobjekt):

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

Für die Bestimmung des Strahldurchmessers kann folgende Formel herangezogen werden:

$$d_{63-10} = \tan(\varphi/2) \cdot 2 \cdot r + d_{63-0} = \tan(0,22 \text{ rad}/2) \cdot 2 \cdot 0,1 \text{ m} + 0,02 \text{ m} = 0,0421 \text{ m}$$

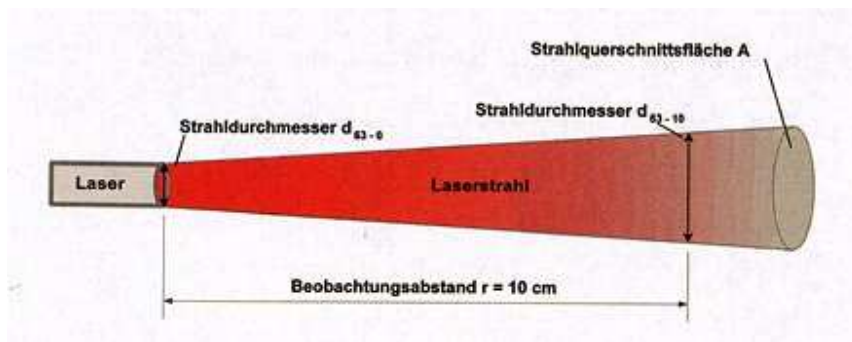


Bild A4.1: Übersicht Strahlausbreitung

A4.2.3 Bestimmung der Energiedichte des Einzelimpulses

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

$$A = (d_{63-10}/2)^2 \cdot \pi = (0,0421 \text{ m}/2)^2 \cdot \pi = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Somit ergibt sich für die Energiedichte des Einzelimpulses:

$$H = Q/A = 4 \cdot 10^{-6} \text{ J}/1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 2,87 \cdot 10^{-3} \text{ J/m}^2$$

A4.2.4 Bestimmung der korrigierten Energiedichte des Einzelimpulses

Die korrigierte Energiedichte des Einzelimpulses ergibt sich aus:

$$H = H \cdot k_{T1} \cdot k = 2,87 \cdot 10^{-3} \text{ J/m}^2 \cdot 1 \cdot 22,36 = 0,064 \text{ J/m}^2$$

A4.3 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 $H' = 0,064 \text{ J/m}^2$ ergibt sich die Schutzstufe:

I L2

A4.4 Bestimmung der Leistungsdichte für den Dauerstrichbetrieb

Die mittlere Leistung P errechnet sich aus:

$$P = Q \cdot \nu = 4 \cdot 10^{-6} \text{ J} \cdot 25 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ws} \cdot 25 \cdot 10^3 \text{ s} = 0,1 \text{ W}$$

Somit ergibt sich für die Leistungsdichte:

$$E = P/A = 100 \cdot 10^3 \text{ W} / 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 71,9 \text{ W/m}^2$$

A4.5 Bestimmung der Schutzstufe für den Dauerstrichbetrieb (D)

Gemäß der [Tabelle 3](#) sowie der Wellenlänge $\lambda = 940 \text{ nm}$, der Betriebsart D und der Leistungsdichte $E = 71,9 \text{ W/m}^2$ ergibt sich die Schutzstufe:

D L1

Ergebnis:

Die Laserschutzbrille muss für die Wellenlänge $\lambda = 940 \text{ nm}$ die Schutzstufen I: L2 und D: L1 aufweisen.

Anhang 5 Vereinfachte MZB-Werte

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

Die folgende [Tabelle A5.1](#) ermöglicht eine schnelle Überprüfung zur sicheren Seite.

Tabelle A5.1: Vereinfachte maximal zulässige Bestrahlungswerte auf der Hornhaut des Auges (MZB-Werte)

Wellen- Längen- Bereich	Bestrahlungsstärke E				Bestrahlung H			
	D		M		M		I, R	
nm	Impulsdauer s	W/m ²	Impulsdauer s	W/m ²	Impulsdauer s	J/m ²	Impulsdauer s	J/m ²
180 bis 315	bis 30 000	0,001	< 10 ⁻⁹	3·10 ¹⁰	–	–	> 10 ⁻⁹ bis 3·10 ⁴	30
> 315 bis 1400	> 5·10 ⁻⁴ bis 10	10	–	–	< 10 ⁻⁹	1,5·10 ⁻⁴	> 10 ⁻⁹ bis 5·10 ⁻⁴	0,005
> 1400 bis 10 ⁶	> 0,1 bis 10	1000	< 10 ⁻⁹	10 ¹¹	–	–	> 10 ⁻⁹ bis 0,1	100

Anhang 6 Beispiele von Laser-Schutzbrillen-Modellen



Bild A6.1: Beispiele für eine Bügelbrille
Quelle: LASERVISION GmbH Fürth



Bild A6.2: Beispiele für eine Korbbrille
Quelle: GPT-Glendale



Bild A6.3: Beispiele für eine Bügelbrille
Quelle: Offenhäuser und Berger



Bild A6.4: Beispiel für eine Bügelbrille
Quelle: GPT-Glendale



Bild A6.5: Beispiele für eine Bügelbrille

Quelle: LASERVISION GmbH, Fürth



Bild A6.6 Beispiele für eine Bügel- oder Korbbrille

Quelle: LASERVISION GmbH, Fürth



**Bild A6.7 Beispiele für leichte Kunststoffmodelle, die auch über normale
Korrektionsschutzbrillen getragen werden können:**

Quelle: Firma UVEX und LASERVISION GmbH, Fürth



Bild A6.8: Beispiele für eine Bügelbrille/Überbrille

Quelle: LASERVISION GmbH Fürth



Bild A6.9: Beispiele für eine Bügelbrille (Diode 2 Lambda one) mit der Möglichkeit, einen Korrektions-Einsatz hinzu zu fügen
Quelle: LASERVISION GmbH Fürth



Bild A6.10: Beispiele für eine Bügelbrille mit Korrektionseinsatz/Modell L04
Quelle: GPT-Glendale

6.2 Einsatz von Binokularlupen 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 Lasers 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.



Binokular-Lupe HR 2.5 x /420 inklusive Laserschutzfilter

Anhang 7 Kennzeichnung

A7.1 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 10 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. Überdies gibt es Hersteller und Lieferanten, die sich freiwillig weitaus komplizierteren und aufwändigeren Verfahren einer freiwilligen Wiederholungsprüfung, z. B. dem einer DIN TÜV-GS-Prüfung, BG GS-Prüfung unterziehen.

A7.2 Kennzeichnung von Laser-Schutzbrillen

[Bild A7.1](#) zeigt ein Beispiel für die Kennzeichnung von Laser-Schutzbrillen gemäß DIN EN 207. Laser-Schutzfilter zum Einbau in Anlagen werden ebenso gekennzeichnet.

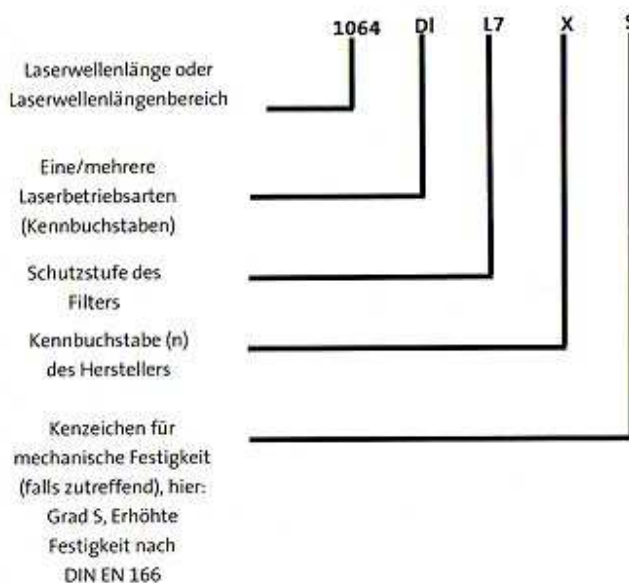


Bild A7.1: Beispiel für die Kennzeichnung von Laser-Schutzbrillen

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:

10600	D	L3	+	IR	L4
1064	DI	L8	+	R	L9
633	D	L4	+	IR	L5
X S					

Dabei haben die Symbole die gleiche Bedeutung wie im vorhergehenden Beispiel

Kennzeichnung von Laser-Justierbrillen

[Bild A7.2](#) 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.

Der Tragkörper muss das Wort "Justierbrille" tragen, die Kennzeichnung der Laser-Justierbrille selbst kann auf den Sichtscheiben oder dem Tragkörper angebracht sein.

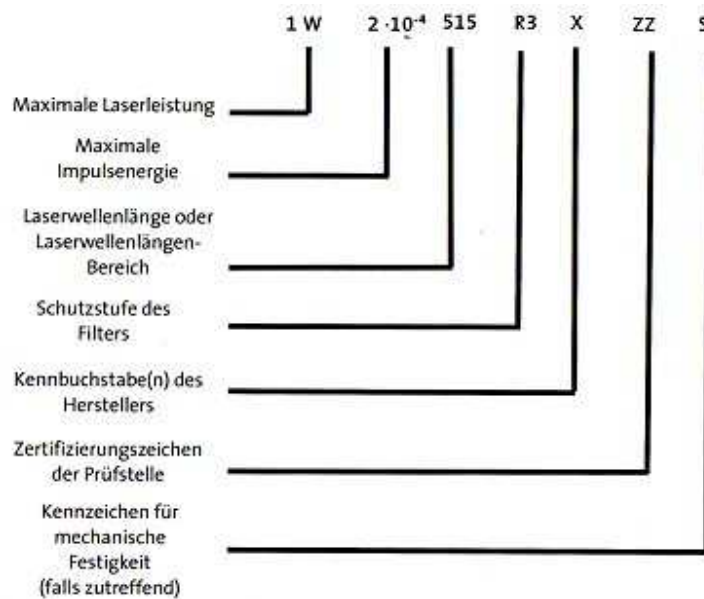


Bild A7.2: Beispiel für die Kennzeichnung einer Laser-Justierbrille

Anhang 8 Besondere Maßnahmen bei Einsatz von Ultrakurzpulslasern mit Pulslängen unter 1 ps

Eine weniger bekannte Tatsache ist, dass ein Laser seine Energie auch zeitlich stark konzentriert in Form von extrem kurzen Impulsen, sozusagen scheinbarweise, abgeben kann. Mittels modengekoppelter Laser lassen sich die heutzutage kürzesten von Menschenhand erzeugten Lichtblitze herstellen. Solche Blitze dauern oft nur wenige Femtosekunden (1 Femtosekunde = 1 fs = 10^{-15} 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 Spitzenleistung 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 Spitzenleistung von bis zu 1000 Terawatt zu liefern (1 TW = 10^{12} Watt). Um eine Vorstellung der Größe dieser Leistung zu vermitteln, sei nur erwähnt, dass die elektrische Leistung, die weltweit im elektrischen Netz erzeugt werden kann, ungefähr 1 TW beträgt – hier allerdings als Dauerleistung.

([Bild A8.1](#) zeigt einen abgeschirmten Teil eines Femtosekunden-Lasers).



Bild A8.1: Abgeschirmter Teil eines Ultrakurzpulslasers

Bei der Wechselwirkung solch intensiver Laserimpulse mit Materie wird diese sofort zerstört; entscheidend ist dabei die Intensität, die Leistung pro Fläche. 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 ihrem Spektrum grundlegend von den meisten anderen Lasern. Aufgrund der Konzentration der Energie im Zeitbereich ergibt sich nach der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation eine Linienverbreiterung. So können die Wellenabhängigen Emissionscharakteristiken von Femtosekundenlaser bei einer Mittenwellenlänge von 800 nm eine Breite von einigen 100 nm haben, wie schematisch in [Bild A8.2](#) dargestellt.

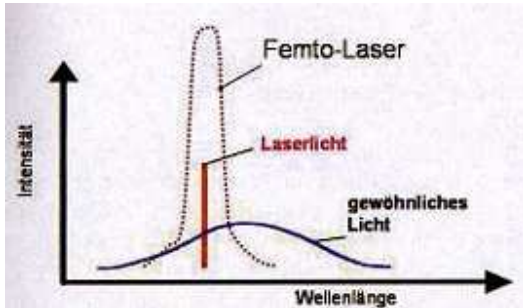


Bild A8.2:



Bild A8.3: Bandbreite ultrakurzer Impulse

Anhang 9 Filter für Mikroskope und Teleskope

A9.1 Auswahl von Laser-Schutz-Filtern 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 den 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 Laserschutzbrille 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.

A9.2 Auswahl von Laserschutz für Teleskope

Teleskope zur Justierung von Richtfunkantennenanlagen sind durch den Einsatz von so genannten "Freespace" 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 Strahl durch die sammelnde Wirkung die Gefährdung erhöhen. Es gibt folgende Schutzmöglichkeiten:

A9.2.1 Tragen einer Laserschutzbrille

In Gefahrenbereichen von Lasern der Klassen 1M können Laser-Schutzbrillen verwendet werden. Beträgt z. B. die Vergrößerung des optischen Gerätes nicht mehr als 10-fach, genügt die Schutzstufe L2.

Bei Lasern höherer Klassen muss die Schutzstufe der Laserschutzbrille gegenüber normaler Verwendung um einen, den Vergrößerungsfaktor des optischen Gerätes berücksichtigenden Betrag erhöht werden, z. B. bei einem Vergrößerungsfaktor von 10 muss die Anforderung an die Schutzstufe von L2 auf L4 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.

A9.2.2 Verwendung eines Fernrohres oder Fernglases mit eingebautem Laser-Schutzfilter

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

a) Filter im Bereich des Objektivs, 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 L2 geeignet.

b) Filter, als Reflexionsschicht z. B. im Okularbereich:

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:

Es ist 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.

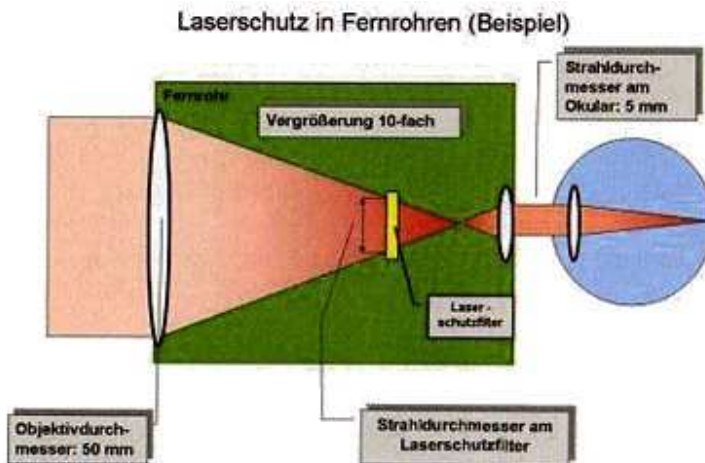


Bild A9.1: Laserschutz in Fernrohren

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/m². Die maximal zulässige Bestrahlungsstärke beträgt ebenfalls 25 W/m². Das Laser-Schutzfilter ist so im Strahlengang des Fernglases eingebaut, dass der Strahl mit einem Durchmesser d_F von 3 mm auf das Filter trifft.

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 L3 entnehmen.

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 Messblendendurchmesser 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 $d_M = 7 \text{ mm}$ 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 sich aus der Leistungsdichte des Laserstrahls nach [Tabelle 3](#) bestimmte Schutzstufe L3 erfüllt auch die hinsichtlich der Mindestanforderung an die spektrale Transmission gestellten Anforderungen.

Sollte ein Filter mit der Schutzstufen L3 im sichtbaren Bereich zu einer zu starken Einschränkung (Helligkeit und Farbsehen) führen, so ist auch ein Filter mit der Schutzstufe L2, 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 in Laser-Schutzfiltern in optischen Beobachtungsgeräten beziehen sich teilweise nur auf die Schutzwirkung der Filterscheibe. Diese Angabe darf nicht verwechselt werden mit der Schutzstufe einer Laserschutzbrille, weil die verstärkende Wirkung des optischen Gerätes dabei nicht berücksichtigt ist.

A9.2.3 Verwendung aufsteckbarer Laser-Schutzfilter

Für auf das Okular aufsteckbare Filter gelten dieselben Betrachtungen wie für eingebaute Laser-Schutzfilter. Beispielsweise ist die Schutzstufe L2 in Gefahrenbereichen von Lasern der Klassen 1M entsprechend dem Durchmesser des austretenden Strahles bis zu 10-facher Vergrößerung geeignet.



Abbildung A9.2 Lupenbrille-Stirnlupe

Anhang 10 Aspekte für die Auswahl und Anwendung von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen im Freien

A10.1 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 Kanten oder im Fall von Absorptionsbanden durch beide Kantenformen gekennzeichnet sind, wie z. B. in [Abbildung A10.1](#) für ein Rubin-Laserfilter dargestellt.

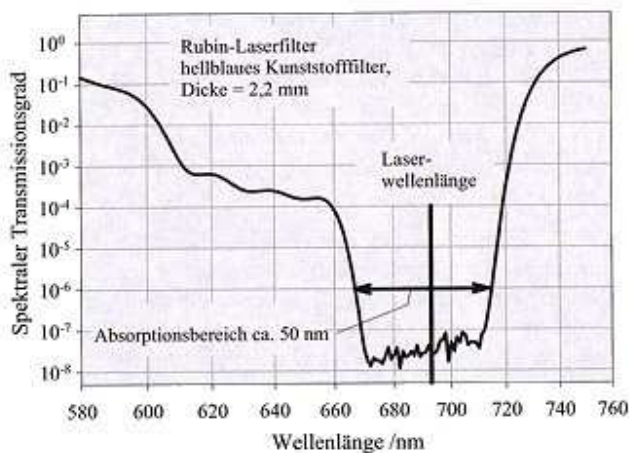


Abbildung A10.1: Spektrale Charakteristik eines Rubin-Laserfilters, bestimmt für eine Filtertemperatur von 23 °C

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

$$(1) \quad \alpha = \frac{\Delta \lambda_c}{\Delta T}$$

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.

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.

Welcher Temperaturbereich wird in den Augenschutznormen zugrunde gelegt?

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 A10.2](#) 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 Absorptionskante bei -5°C berechnet werden.

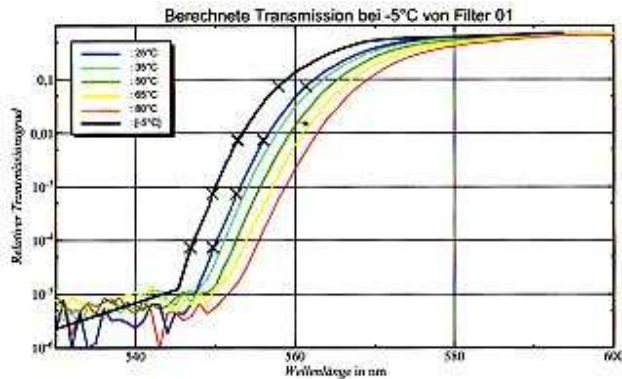


Abbildung A10.2: Relative Transmission in Abhängigkeit von der Temperatur und Wellenlänge

Beispiel für die temperaturbedingte Verschiebung der Absorptionskante. Die Kante für $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 Laserart 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 Augenschutzes 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.

A10.3. Reflexion an spiegelnden Flächen der Laser-Schutzbrillen

Bei Einsatz von Laser-Schutzbrillen im Freien zum Schutz gegen Laserstrahlen, die die MZB-Werte überschreiten, ist zu bedenken, dass Reflexionen an der Laserschutzbrille, sowohl an der Filterscheibe als auch am Tragkörper den Laserbereich erheblich erweitern können.

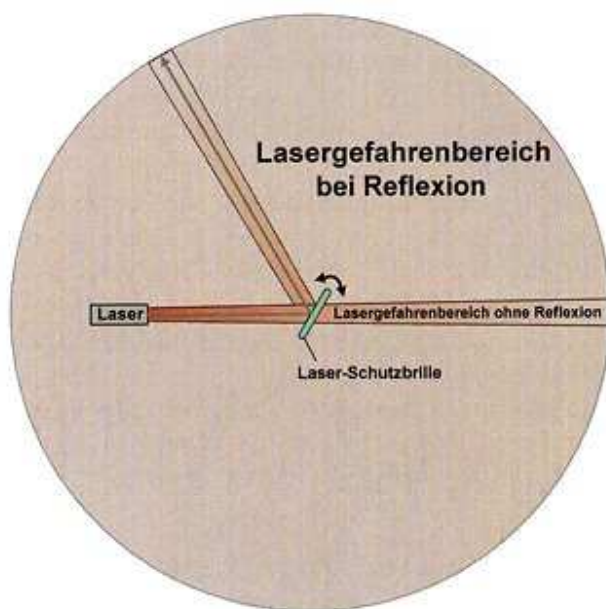


Abbildung A10.3: Laserbereich bei Vorhandensein von spiegelnden Reflexionen

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 MZB-Werte hängt unter anderem ab von:

- der Form der Filterscheibe (plan oder sphärisch gekrümmt) oder sonstigen reflektierenden Flächen:
- ebene 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.

Als Anhaltswert für sphärisch gekrümmte spiegelnde Flächen mit einem Krümmungsradius von 0,5 m gilt: Ist am Arbeitsplatz eine Schutzstufe des Laser-Schutzfilters von L3 erforderlich, so beträgt der Sicherheitsabstand von der spiegelnd reflektierenden Fläche 10 m. Bei Schutzstufe L4 ist dieser Abstand 30 m und bei L5 dann 100 m.

- 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 die 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 Winkelbereiche aufgrund von Bewegungen sich in der Praxis nicht eingrenzen lassen, ist generell von Einfallswinkeln von 0° – 90° und diese wiederum 360° radial um die Strahl achse aus zu gehen.

- von 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 Laserschutzbrille 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 11 Glossar

Die folgenden Begriffe erweitern die Begriffsbestimmungen des [§ 2](#) der Unfallverhütungsvorschrift "Laserstrahlung" ([BGV B2](#)). Sie sind inhaltlich unter anderem der DIN EN 60825-1:2003-10, der BG-Information 832 und der Unfallverhütungsvorschrift [BGV B2](#) entnommen worden.

A11.1 Bestrahlungsstärke:

Quotient der Strahlungsleistung dP, die auf ein Flächenelement einfällt, geteilt durch die Fläche dA dieses Elements.

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

SI-Einheit: Watt je Quadratmeter, W · m⁻²

A11.2 Bereitstellung:

Nach [§ 29](#) und [30](#) der Unfallverhütungsvorschrift "Grundsätze der Prävention" [BGV A1](#) muss der Unternehmer den Versicherten Augen- und Gesichtsschutz zur Verfügung stellen, wenn die Gefährdungen nicht anders verhindert beziehungsweise ausreichend gemindert werden können (siehe auch PSA-Benutzerverordnung – [PSA-BV § 2](#) Bereitstellung und Benutzung).

A11.3 Brechzahldifferenz (relative Brechzahldifferenz):

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

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

A11.4 Dauerstrich-Laser (kontinuierlich strahlender Laser):

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

A11.5 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.

A11.6 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.

A11.7 Einwirkungsdauer:

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

A11.8 Emissionsdauer:

Die zeitliche Dauer eines Impulses, einer Impulsfolge oder des Dauerbetriebes, in welcher der Zugang zu Laserstrahlung möglich ist, wenn die Lasereinrichtung 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.

A11.9 Energiedichte:

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.

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

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

A11.10 Gebündelter Strahl:

Ein "paralleles" Strahlenbündel mit sehr geringer Winkeldivergenz oder -konvergenz.

A11.11 Impulsdauer:

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

A11.12 Impulslaser:

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

A11.13 Maximale Ausgangsstrahlung:

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

A11.14 Messblende:

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

A11.15 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.

A11.16

NOHD: Nominal Ocular Hazard Distance (Laser-Sicherheitsabstand)

A11.17 Numerische Apertur N_A

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

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

(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 $\frac{\Theta_A}{2}$, bei dem die Lichtstrahlen im Kern geführt werden können. Dieser Winkel wird als Akzeptanzwinkel $\Theta_A = \frac{\Theta_A}{2}$ bezeichnet.

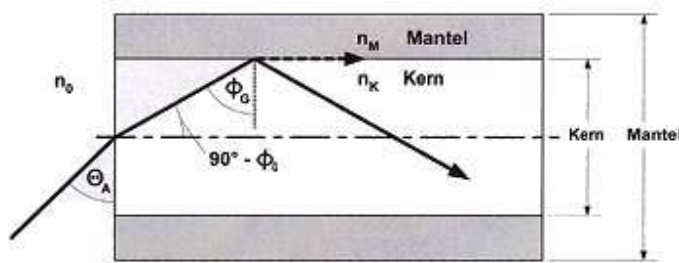


Abbildung A11.17: Akzeptanzwinkel Θ_A

Die numerische Apertur N_A ergibt sich aus folgenden Gesetzmäßigkeiten:

Grenzwinkel der Totalreflexion im Lichtwellenleiter Φ_G :

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

Brechungsgesetz an der Faserendfläche:

$$n_0 \cdot \sin \Theta_A = n_K \cdot \sin \Phi_G' = n_K \cdot \sin (90^\circ - \Phi_G)$$

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

Berechnung von $\cos \Phi_G$:

$$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete } b}{\text{Hypothenuse } c} \leftrightarrow \sin \Phi_G = \frac{n_M}{n_K}$$

$$\text{Pythagoras: } a^2 + b^2 = c^2 \rightarrow a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{Ankathete } a}{\text{Hypothenuse } c} \leftrightarrow \cos \Phi_G = \frac{\sqrt{n_K^2 - n_M^2}}{n_K}$$

Ergebnis:

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

$$\text{Akzeptanzwinkel: } \Theta_A = \arcsin \frac{\sqrt{n_K^2 - n_M^2}}{n_0}$$

mit

n_K = Brechzahl opt. Kern

n_M = Brechzahl opt. 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 einem Lichtwellenleiter eingekoppelt werden.

Typische Werte der Numerischen Apertur sind 0,2 bis 0,3.

A11.18 Optische Dichte:

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

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

A11.19 Reflexionsgrad:

Verhältnis der reflektierten Strahlungsleistung zur einfallenden Strahlungsleistung unter gegebenen Bedingungen.

Symbol: ρ

SI-Einheit: 1

A11.20 Richtungsveränderliche Laserstrahlung (scanning):

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

A11.21 Sichtbare Strahlung (Licht):

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

Anmerkung:

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

A11.22 Laserart bzw. Strahlungsart:

Abkürzung	Bezeichnung	Definition
D	Dauerstrich	Konstante Leistung über mindestens 0,25 s
I	Impuls	Emissionen die < als 0,25 s sind und länger als 10^{-7} s
R	Riesenimpuls	Emission in Impulsen, die kleiner als 10^{-7} s sind und länger als 1 ns
M	Modengekoppelt	Emission in Impulsen, die zwischen 1 ns und 1 ps liegen
F	Femtosekunden (in der derzeitigen Norm nicht definiert)	Emission in Impulsen, die kleiner als 1 ps sind (in der derzeitigen Norm nicht definiert)

A11.23 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.

A11.24 Strahl:

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

A11.25 Strahlaufweiter:

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

A11.26 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:

$$\varphi = 2 \arctan \left(\frac{d^{63} - d^{63}}{2r} \right)$$

SI-Einheit: rad

A11.27 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 BG-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.

A11.28 Strahlungsenergie:

Zeitintegral der Strahlungsleistung über eine bestimmte Zeitdauer Δt .

Symbol: Q ; $Q = \int P \, dt$

SI-Einheit: Joule (J)

A11.29 Strahlungsleistung:

In Form von Strahlung ausgesandte, durchgelassene oder empfangene Leistung.

Symbol: P oder Φ ; $P = \frac{dQ}{dt}$

SI-Einheit: Watt (W)

A11.30 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

A11.31 Tragkörper:

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

A11.32 Transmissionsgrad:

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

Symbol: τ

SI-Einheit: 1

A11.33 Wellenlänge:

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

Einheit: m

A11.34 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.

A11.35 Korrektions-Schutzbrillen:

Sind Schutzbrillen – in der Regel Gestellbrillen – die mit Sicherheitssichtscheiben 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 Korrektions-Schutz-Brillen empfohlen, da sie Schutzfunktion und korrigierende Wirkung vereinen.

Anhang 12 Bezugsquellenverzeichnis

Nachstehend sind die Bezugsquellen der in dieser BG-Information aufgeführten Vorschriften und Regeln zusammengestellt:

1. Gesetze, Verordnungen

Bezugsquelle:

Buchhandel

oder

Carl Heymanns Verlag GmbH, Luxemburger Straße 449, 50939 Köln.

E-Mail: verkauf@heymanns.com

Internet: <http://www.heymanns.com>

2. Berufsgenossenschaftliche Vorschriften, Regeln und Informationen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit sowie Berufsgenossenschaftliche Grundsätze

Bezugsquelle:

zuständige Berufsgenossenschaft

oder Carl Heymanns Verlag GmbH, Luxemburger Straße 449, 50939 Köln.

E-Mail: verkauf@heymanns.com

Internet: <http://www.heymanns.com>

3. Normen

Bezugsquelle:

Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin

E-Mail: postmaster@beuth.de

Internet: <http://www.beuth.de>

bzw.

VDE-Verlag GmbH, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin

E-Mail: vertrieb@vde-verlag.de

Internet: <http://www.vde-verlag.de>