

203-039

DGUV Information 203-039

Umgang mit Lichtwellenleiter- Kommunikations-Systemen (LWLKS)

Impressum

Herausgegeben von: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)
Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Nichtionisierende Strahlung (NIR) im Fachbereich
Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (ETEM) der DGUV

Ausgabe: September 2022

Satz und Layout: Atelier Hauer + Dörfler, Berlin

Druck: MAXDORNPRESSE GmbH & Co. KG, Obertshausen

Bildnachweis: Abb. 1, 3–7, 9, 10, A2.2., A2.3, A3.3.: © Christian Hentschel;
Abb. 2, A3.1, A 3.2, A3.4, A 3.5, A 3.6, A 3.7 (nach POFC), A 3.8:
© KonzeptQuartier GmbH – DGUV; Abb. 4.1, 8, A 2.1: © DGUV;
Abb. 11, A 3.9–A.3.11, A 3.12, A 3.14-A3.18, Abbildungen Tabelle
S. 43: © Firma fiberHELP; Abb. A3.13: © Friedrich Hiddemann;
Abb. 4.2: © Alexander Pokusay –stock.adobe.com – DGUV

Copyright: Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt.
Die Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit
ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

Bezug: Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter
www.dguv.de/publikationen Webcode: p203039

Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systemen (LWLKS)

(LWLKS)

Änderungen zur letzten Ausgabe April 2007:

Die DGUV Information wurde an den aktuellen Stand der Technik und an die aktuellen gesetzlichen Regelungen angepasst. Insbesondere wurden die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) und die dazugehörigen TROS Laserstrahlung berücksichtigt und eingearbeitet. Die überarbeiteten Normen zur Sicherheit von Lasereinrichtungen (DIN EN 60825 – verschiedene Teile) wurden bei der Überarbeitung der DGUV Information berücksichtigt. Die Kapitel „Arbeitsmedizinische Vorsorge“ und „Maßnahmen bei Unfällen“ wurden neu aufgenommen. Einzelne Bilder wurden ausgetauscht und ergänzt.

Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
Vorwort	5	3.4.2 Schutzmaßnahmen bei Brandgefahr.....	19
1 Anwendungsbereich	6	3.4.3 Schutzmaßnahmen bei Explosionsgefahr.....	19
2 Beurteilung der Arbeitsbedingungen	7	3.4.4 Betrachten und Prüfen von Strahlaustrittsstellen	20
2.1 Allgemeines.....	7	3.4.5 Messungen an Lichtwellenleiterverteilern und	22
2.2 Spezifische Gefährdungen beim Umgang	8	technischen Einrichtungen.....	22
mit LWLKS.....	8	3.4.6 Spleißarbeiten am Kabel.....	22
2.3 Wichtige Eigenschaften von Lichtwellenleitern	8	3.4.7 Servicearbeiten an vermieteten oder	22
für die Gefährdungsermittlung.....	8	unbekannten LWLKS („Dark Fibre“).....	22
2.4 Ermittlung des Augensicherheitsabstandes	9	3.4.8 Verwendung von Laser-Schutzbrillen.....	22
und des NOHD-Bereichs.....	9	3.4.9 Sonstige Hinweise zu Schutzmaßnahmen.....	23
2.4.1 NOHD-Bereich bei Einmodenfasern	11	4 Arbeitsmedizinische Vorsorge	24
(engl. Single Mode Fibre, SMF).....	11	5 Maßnahmen bei Unfällen	25
2.4.2 NOHD-Bereiche bei Mehrmodenfasern	14	5.1 Allgemeines.....	25
(engl. multimode fibre, MMF).....	14	5.2 Organisation der betrieblichen Ersten Hilfe.....	25
2.4.3 NOHD-Bereiche bei Polymer-optischen Fasern	14	Anhang	
(engl. Polymer optical fibre, POF).....	14	Anhang 1 – Abkürzungen.....	26
2.5 Gefährdungen im Normalbetrieb.....	15	Anhang 2 – Begriffsbestimmungen.....	27
2.6 Gefährdungen bei Wartungs- und	15	Anhang 3 – Beispiele für Lichtwellenleiter-	38
Servicearbeiten.....	15	Kommunikations-Systeme und deren Sendeelemente	38
2.6.1 Gefährdungen bei Wartungs- und	15	in verschiedenen Wellenlängenbereichen.....	38
Servicearbeiten an bekannten LWLKS.....	15	Anhang 4 – Biologische Wirkungen	46
2.6.2 Gefährdungen bei Wartungs- und	15	von Laserstrahlung.....	46
Servicearbeiten an unbekanntem LWLKS	15	Anhang 5 – Beispiele und Informationen zur	48
(„Dark Fibre“).....	15	Berechnung von Laserbereichen und entsprechenden	48
2.7 Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen.....	15	NOHD-Bereichen.....	48
2.7.1 Brandgefahr.....	15	Anhang 6 – Anforderungen an Standorttypen	54
2.7.2 Explosionsgefahr.....	15	eines LWLKS.....	54
2.7.3 Verletzungen durch Faserreste.....	15	Anhang 7 – Anleitungen für Instandsetzung	55
3 Schutzmaßnahmen beim Umgang mit LWLKS	16	und Wartung.....	55
3.1 Informationen zur Festlegung von	16	Anhang 8 – Muster Bestellung zum/zur	57
Schutzmaßnahmen.....	16	Laserschutzbeauftragten für LWLKS.....	57
3.2 Rangfolge von Schutzmaßnahmen.....	16	Anhang 9 – Muster für die Dokumentation	58
3.2.1 Schutzmaßnahmen für Anwender (A) und	16	der Unterweisung.....	58
Personen, die sich in uneingeschränkten	16	Anhang 10 – Beispiel für eine Betriebsanweisung.....	59
Bereichen aufhalten.....	16	Anhang 11 – Relevante Literatur.....	60
3.2.2 Schutzmaßnahmen bei Montage, Systemtest	17	Anhang 12 – Literaturverzeichnis.....	61
und Wartung (WP).....	17		
3.2.3 Schutzmaßnahmen in Forschung	17		
und Entwicklung (FE).....	17		
3.2.4 Einrichtung von Laserbereiche.....	17		
3.3 Allgemeine Regeln zum sicheren Arbeiten	18		
an und mit LWLKS.....	18		
3.4 Besondere Schutzmaßnahmen.....	19		
3.4.1 Empfehlungen zur Kennzeichnung	19		
der Arbeitsbereiche.....	19		

Vorwort

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

Diese DGUV Information wurde erarbeitet vom Sachgebiet Nichtionisierende Strahlung (NIR) im Fachbereich ETEM der DGUV in Zusammenarbeit mit dem Sachgebiet Telekommunikation des Fachbereich ETEM der DGUV.

Vorbemerkung

Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systeme (LWLKS) sind heutzutage in Weitverkehrs- und Zugangsnetzen weit verbreitet und kommen vermehrt auch im LAN-Bereich zum Einsatz. Es werden Laser und LED als Sender benutzt, die moduliert werden können und hohe Leistungen ausstrahlen. Als Empfänger stehen schnelle, empfindliche Fotodetektoren zur Verfügung.

Die Laserleistung wird durch flexible Lichtwellenleiter (LWL) übertragen. Der Begriff „Lichtwellenleiter“ wird für alle Glasfasern und Kunststofffasern verwendet, die zur optischen Informationsübertragung eingesetzt werden. Dagegen bezeichnet der Begriff „Lichtleiter“ Fasern, die zur Beleuchtung dienen, z. B. bei Mikroskopen oder zur Dekoration.

Die in LWLKS verwendeten Lichtwellenleiter sind ein Übertragungsmedium, das die Signalübertragung ohne äußere Störeinflüsse gewährleistet und sich durch geringes Gewicht und Volumen auszeichnet. Die besten so genannten Übertragungsfenster (Bereiche geringer Dämpfung) der Quarzglasfaser liegen im infraroten Spektralbereich, so dass die Strahlung nicht direkt mit dem Auge wahrnehmbar ist.

Eine ausführliche Darstellung findet sich unter anderem in Anhang 3 „Beispiele für Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systeme und deren Sendeelemente in verschiedenen Wellenlängenbereichen“.

Vor diesem Hintergrund sind folgende Aspekte wichtig für die Arbeitssicherheit:

- Zur Erhöhung der Datenübertragungsraten, der Kanalzahlen (WDM) und der Vergrößerung der Verstärkerabstände werden (z. B. bereits verlegte) Lichtwellenleiterkabel mit immer höheren Leistungen betrieben. Die Laserleistungen können Werte erreichen, die der höchsten Laserklasse 4 entsprechen.
- Die tatsächliche Höhe der im Lichtwellenleiterkabel geführten optischen Leistung und das damit verbundene Gefährdungspotenzial sind oft von außen nicht feststellbar, z. B. bei Arbeiten in Kabelschächten oder -gräben. Dies gilt vorwiegend für die Fernübertragung. Wird Laserstrahlung höherer Laserklassen (höher als die der Laserklasse 1M) freigesetzt, kann es bei direkter Betrachtung in geringem Abstand zu Schädigungen kommen.
- Wegen der steigenden Verbreitung optischer Netze, dringen diese immer weiter aus den technischen Einrichtungen des Telekommunikationsbetreibers (mit entsprechend geschultem Beschäftigten) in reine Verwaltungsbereiche (mit fachlich weniger geschultem Beschäftigten) und öffentliche Bereiche (Nutzern ohne Unterweisung) vor. Deshalb ist in diesen Bereichen nur der Gefährungsgrad 1 zulässig.
- Je nach Arbeitsplatz (Zugänglichkeit, Standorttyp) ist die Gefährdung im Zusammenhang mit LWLKS unterschiedlich zu bewerten.

1 Anwendungsbereich

Diese DGUV Information behandelt die Gefährdungen durch optische Strahlung, die beim Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systemen (LWLKS) entstehen können. Die entsprechenden Schutzmaßnahmen werden erläutert.

Diese DGUV Information behandelt auch die Gefährdungen, die beim Bearbeiten der Glasfasern, z. B. beim Spleißen entstehen können.

Diese DGUV Information schließt sowohl den Betrieb, die Wartung, die Entwicklung und die Herstellung von kompletten LWLKS als auch einzelner System-Komponenten und Module wie Lasersender, optische Verstärker und Pumplaser mit ein. Sie dient ferner als Hilfestellung zur Gefährdungsbeurteilung gemäß OStrV und TROS Laserstrahlung.

Lichtwellenleiter-Systeme, die vorwiegend zum Zweck der Laser-Leistungs-Übertragung gebaut und betrieben werden (z. B. in Materialbearbeitungslasern mit Faser-Übertragung, in medizinischen Lasern oder für Beleuchtungszwecke), werden in dieser DGUV Information nicht behandelt.

Anmerkung:

Im Gegensatz zu den üblichen Definitionen von „Licht“ wird der Begriff „Lichtwellenleiter“ (LWL) bei allen übertragenen Wellenlängen optischer Strahlung verwendet.

2 Beurteilung der Arbeitsbedingungen

2.1 Allgemeines

Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen hat der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin zunächst festzustellen, ob die Beschäftigten Laserstrahlung ausgesetzt sind oder ausgesetzt sein können. Ist dies der Fall, hat der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin alle hiervon ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten zu beurteilen. Dabei ist gegebenenfalls zwischen Normalbetrieb und anderen Betriebsarten (siehe auch Abschnitt 4.2 Absatz 7 und 8 der TROS Laserstrahlung Teil 1, Ausgabe Juli 2018) zu unterscheiden.

Es ist eine naheliegende Annahme, dass von Lasern der Laserklasse 1 keine Gefährdung durch direkte Auswirkungen von Laserstrahlung ausgeht. Diese Annahme gilt nur für Laser, die nach der DIN EN 60825-1:2008-05 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen“ klassifiziert wurden. Bei Lasern die nach jüngeren Ausgaben der DIN EN 60825-1 klassifiziert sind, ist diese Annahme nur teilweise richtig, weil die solchen Klassifizierungen zugrundeliegenden MZB-Werte nicht völlig identisch mit den Expositionsgrenzwerten der TROS Laserstrahlung sind. Deshalb muss bei allen Lasern, die nach jüngeren Ausgaben der DIN EN 60825-1 klassifiziert sind, eine Gefährdungsbeurteilung entsprechend TROS Laserstrahlung und dieser DGUV Information durchgeführt werden. Außerdem können Gefährdungen auch dadurch entstehen, dass die Klassifizierung nur „unter vernünftigerweise vorhersehbaren Einfehlerbedingungen“ vorgenommen wird.

Beim Gefährdungsgrad 1 entsprechend DIN EN 60825-2:2011-06 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)“ ist keine Gefährdung zu erwarten. Deshalb muss die Laserstrahlung bezüglich der direkten Gefährdung durch die Laserstrahlung erst ab dem Gefährdungsgrad 1M auf der Basis der DIN EN 60825-2 beziehungsweise ab Gefährdungsgrad 1 bei jüngeren Ausgaben der DIN EN 60825-2 berücksichtigt werden.

Die Gefährdungsbeurteilung bei Laserstrahlung umfasst insbesondere

- die Ermittlung von Art, Ausmaß und Dauer der Exposition durch Laserstrahlung,
- die Berücksichtigung von Herstellerangaben insbesondere zur Laserklasse, zum Gefährdungsgrad, zu Strahlendaten und zur bestimmungsgemäßen Verwendung der Laser-Einrichtung,
- die Berücksichtigung von Messunsicherheiten, Unsicherheiten in der Modellierung und Unsicherheiten der angegebenen Leistung,
- die Prüfung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nach der TROS Laserstrahlung Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen durch Laserstrahlung“, Anhang 4 Abschnitt 4.1 (Ausgabe Juli 2018). Hierbei müssen gegebenenfalls die Randbedingungen und Grenzen der Anwendbarkeit der jeweiligen ausgewählten Expositionsgrenzwerte berücksichtigt werden,
- die Prüfung der Verfügbarkeit alternativer Arbeitsmittel, insbesondere alternativer Laserstrahlungsquellen, die zu einer geringeren Exposition der Beschäftigten führen (Substitutionsprüfung),
- die Einbeziehung von Erkenntnissen aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge sowie von allgemein zugänglichen Informationen hierzu,
- die Festlegung von Schutzmaßnahmen (siehe TROS Laserstrahlung Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“),
- die Prüfung der Verfügbarkeit und Wirksamkeit von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen (siehe TROS Laserstrahlung Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“),
- die Beachtung von Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit von Beschäftigten, die besonders gefährdeten Gruppen angehören,
- die Festlegung eines Laserbereichs und Kennzeichnungen,
- die Beurteilung der Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen und gegebenenfalls die Festlegung von Schutzmaßnahmen hierzu.

Entsprechend den Ergebnissen der Gefährdungsbeurteilung hat der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik festzulegen und durchzuführen (siehe TROS Laserstrahlung Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“). Die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen ist zu prüfen.

Regelmäßige Begehungen des Arbeitsbereiches durch den Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin oder die verantwortlichen Personen (gegebenenfalls auch Laserschutzbeauftragte) sind ein wichtiger Bestandteil der Überwachung des sicheren Betriebs. Das Ergebnis der Begehung ist zu dokumentieren und wird zum Bestandteil der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung.

Liegen keine Informationen über den Gefährdungsgrad bzw. über die Laserklasse des Systems vor, oder soll das System im Labor bei der Montage oder Herstellung nicht mit allen Sicherheitseinrichtungen (z. B. Automatische Leistungsverringerung) betrieben werden, so müssen der Laserbereich ermittelt und Schutzmaßnahmen festgelegt werden.

Die Gefährdungsbeurteilung ist gemäß TROS Laserstrahlung Teil 1 zu dokumentieren.

→ Für relevante Literatur siehe Anhang 11

2.2 Spezifische Gefährdungen beim Umgang mit LWLKS

Für den Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS) sind in der Gefährdungsbeurteilung insbesondere die folgenden spezifischen Gefährdungen zu berücksichtigen:

- Die Enden der Lichtwellenleiter in LWLKS sind üblicherweise flexibel und eine Abstrahlung ist nahezu in beliebiger Richtung möglich.
- Im Zusammenhang mit LWLKS werden ggf. noch Mikroskope oder Lupen benutzt (z. B. zur Begutachtung von Steckerstirnflächen), die unter Umständen die Gefährdung erhöhen können.
- Die emittierte Strahlung liegt bei LWLKS typischerweise im IR-Bereich (700 – 1700 nm) und ist damit nicht sichtbar. Es besteht kein visueller Warnreiz. Die Strahlung kann jedoch bis zu einer Wellenlänge von 1400 nm auf die Netzhaut gelangen.

- Der Kerndurchmesser eines LWL ist meist so klein (im Bereich einiger μm), dass er im Auge eines Betrachters oder einer Betrachterin beugungsbegrenzt auf einen Punkt der Netzhaut abgebildet wird (Punktlichtquelle).
- Eine weitere Gefährdung besteht beim Faserbruch. Dieser kann gewollt beim Spleißen oder ungewollt entstehen.
- Die aus dem LWLKS austretende Strahlung ist je nach numerischer Apertur (NA, siehe Anhang 2) der Faser mehr oder weniger stark divergent. Mit zunehmender Entfernung nimmt die Gefährdung mit dem Quadrat des Abstands von der Austrittsstelle ab. Bei Verwendung von Hochleistungssteckern mit Modenfeldaufweitung gilt dies jedoch nur eingeschränkt.
- Werden einzelne Fasern, z. B. in einem Faserbündchen zusammengefasst, kann sich allein durch diese örtliche Konzentration von Strahlungsquellen eine Gefährdung einstellen bzw. erhöhen.
- In Datenblättern von Sendekomponenten mit Steckbuchten („receptacle“) wird üblicherweise die bestimmungsgemäß in den LWL eingekoppelte Strahlungsleistung angegeben.* Sie beinhalten daher ggf. Koppelverluste beim Anschluss eines Steckverbinders. Diese Koppelverluste gibt es beim direkten Blick in das Sendeelement nicht. Sie können bei einer Gefährdungsanalyse auf Basis des Datenblatts berücksichtigt werden.

2.3 Wichtige Eigenschaften von Lichtwellenleitern für die Gefährdungsermittlung

Das folgende Bild stellt schematisch für verschiedene Fasertypen die Strahlprofile nach Austritt aus der Faser dar.

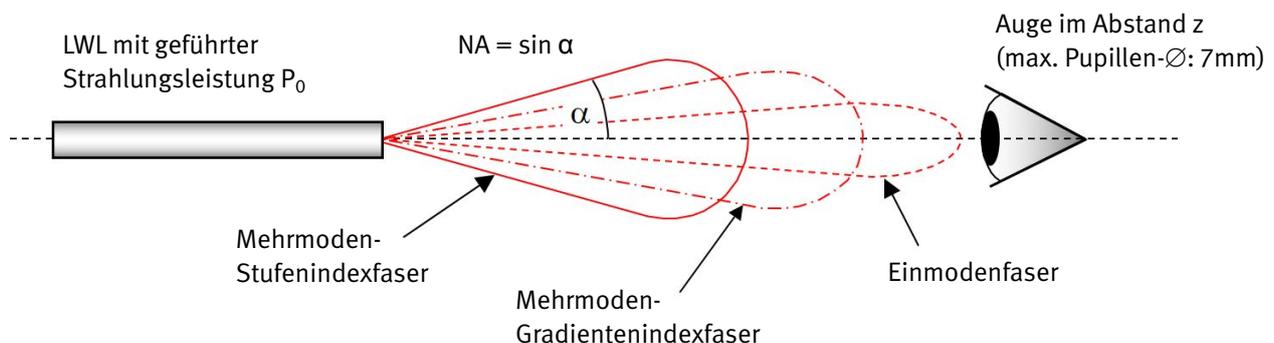


Abb. 1 Strahlprofile nach Austritt aus verschiedenen Fasertypen

* Achtung: Oft wird nur die garantierte Strahlungsleistung angegeben aber nicht die maximal mögliche Strahlungsleistung!

Die folgende Tabelle 1 gibt den Kerndurchmesser $\varnothing_{\text{Kern}}$, die typische numerische Apertur NA, den Strahldurchmesser \varnothing_{100} im Abstand von 100 mm und den maximalen in das Auge gelangenden Leistungsanteil η in % für die folgenden Fasertypen an:

- SMF = Einmodenfaser,
- MMF = Mehrmodenfaser,
- HCS = hard-clad silica = Hartmantel-Quarzfaser, HPCF = Hard Polymer Clad Silica = Hartkunststoff beschichtete Silizium-Faser, PSC = Polymer Clad Silica = Kunststoff beschichtete Silizium-Faser,
- PMMA-POF = Polymethylmethacrylat-Plastikfaser.

Tabelle 1 Kerndurchmesser, numerische Apertur, Strahldurchmesser und in das Auge gelangender Leistungsanteil

	$\varnothing_{\text{Kern}}$ in μm	typ. NA	\varnothing_{100} in mm	η in %
SMF (1,3 μm)	8	0,1	11	33
SMF (1,55 μm)	8	0,1	13	25
MMF Grad.index	50	0,2	24	8,2
MMF Grad.index	62,5	0,28	34	4,2
MMF Grad.index	100	0,3	37	3,5
PSC/HPCF	200	0,35	44	2,5
PMMA-POF	1000	0,47	63	1,2

Die Kennzahlen in Tabelle 1 sind wie folgt definiert:

- Kerndurchmesser $\varnothing_{\text{Kern}}$ = der geometrische Durchmesser des Faserkerns
- Numerische Apertur NA = der Sinus des halben Öffnungswinkels α , definiert auf der Basis des Strahlradius, an dem die Leistungsdichte auf 5 % des Maximums gefallen ist (siehe Anhang 2)
- Strahldurchmesser \varnothing_{100} im Abstand von 100 mm (entspricht dem minimalen Akkommodationsabstand), definiert auf der Basis des Radius, an dem die Leistungsdichte auf 37 % des Maximums gefallen ist. Die zugehörige Kreisfläche schließt 63 % der Gesamtstrahlungsleistung ein.
- maximaler in das Auge gelangender Leistungsanteil η in %

Die jeweils berechneten Strahldurchmesser (mit je 63 % der Gesamtstrahlungsleistung) im minimalen Akkommodationsabstand von 100 mm zeigen die starke Abhängigkeit der Gefährdung vom Fasertyp. Strahlung im Wellenlängenbereich von 400 bis 1400 nm aus den am häufigsten verwendeten Lichtwellenleitern mit einem Kerndurchmesser von bis zu 100 μm wird auf einen Punkt auf der Netzhaut abgebildet (Punktlichtquelle).

Anmerkung:

Es wird davon ausgegangen, dass das Auge in Abständen von weniger als 100 mm nicht mehr akkommodiert. Deshalb darf man bei der Ermittlung des Augensicherheitsabstandes bei unterwiesenen Personen von minimal 100 mm ausgehen.

In der Lichtwellenleitertechnik ist allgemein die Angabe der geführten Strahlungsleistung in dBm (siehe Anhang 2) üblich.

2.4 Ermittlung des Augensicherheitsabstandes und des NOHD-Bereichs

Für die üblichen Faser-Grundtypen kann ein Zusammenhang zwischen der geführten Strahlungsleistung in der Faser P_0 und der Leistungsdichte (Bestrahlungsstärke) E_0 hinter dem Strahlungsausstritt in Abhängigkeit vom Abstand z und der numerischen Apertur (NA) der Faser angegeben werden.

Tabelle 2 Zusammenhang zwischen Gesamtleistung P_0 und Leistungsdichte E_0 im Maximum der Strahlkeule bei verschiedenen Fasertypen

Fasertypen:	Formel:
MMF Stufenindexfaser	$P_0 = \pi z^2 NA^2 E_0$
MMF Gradientenindexfaser	$P_0 = \pi/2 z^2 NA^2 E_0$
Einmodenfaser	$P_0 = 1,05 z^2 NA^2 E_0$

Damit kann die im Abstand z auftretende Leistungsdichte berechnet und z. B. mit den auf Bestrahlungsstärke umgerechneten EGW verglichen werden. Setzt man die Leistungsdichte E_0 gleich dem Grenzwert der Bestrahlungsstärke, so kann man aus den obigen Formeln auch den NOHD-Abstand (siehe Anhang 2) berechnen.

Zum Beispiel ergibt sich der NOHD-Abstand für Einmodenfasern aus:

$$\text{NOHD}_{\text{SM}} = \frac{1}{\text{NA}} \sqrt{\frac{P_0}{1,05 \cdot \text{EGW}}}$$

Für die Wellenlängen für Bestrahlungsdauern ≥ 10 s gilt:
 EGW = 36 W/m² bei 980 nm,
 EGW = 404 W/m² bei um 1300 nm
 EGW = 1000 W/m² ab 1400 nm

Das folgende Bild 2 zeigt zusammengefasst für die wichtigsten Wellenlängen die Augensicherheitsabstände (NOHD) bei verschiedenen im LWL geführten Strahlungsleistungen.

Sicherheitsabstände für LWL mit Wellenlängen:
 0,98, 1,31 und 1,55 μm

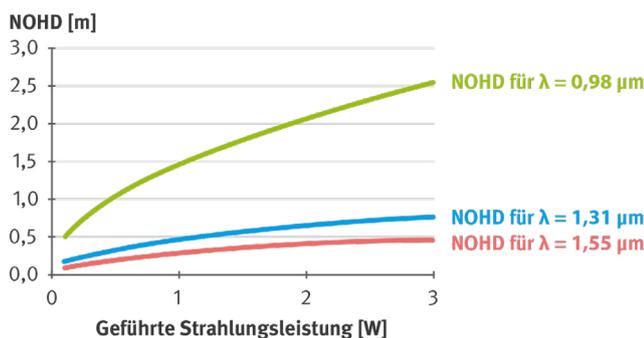


Abb. 2 Beispiele für Sicherheitsabstände NOHD

Umgekehrt können diese Zusammenhänge dafür benutzt werden, aus den klassenspezifischen Grenzwert der zulässigen Strahlung (GZS) und den zugeordneten Messverfahren (Blende mit bestimmtem Durchmesser in vorgegebenem Abstand) einen entsprechenden Grenzwert für P_0 zu berechnen.

Anmerkung:

Wegen der begrenzten Zahl von Lichtwellenleitern und Übertragungswellenlängen können diese Werte auch bequem in Tabellenform angegeben werden (siehe Anhang 5, Tabelle 5.2). Die dort angegebenen Maximalwerte basieren auf der Annahme des ungünstigsten Falls. Bei anderen Faserparametern können sich aus den gleichen GZS-Werten andere zulässige Maximalleistungen in der Faser ergeben.

Die Leistungsgrenzwerte gelten prinzipiell für einen einzelnen Lichtwellenleiter (LWL). Bei Faserbündchen oder Multifasersteckverbindern müssen sich mehrere Fasern den angegebenen Grenzwert „teilen“, entsprechend geringer ist die zulässige Strahlungsleistung in der einzelnen Faser.

Beispiel zur Ermittlung des NOHD-Bereichs:
 Gegeben seien:

- Wellenlänge $\lambda = 1450$ nm,
- Einwirkungsdauer auf das Auge $t = 100$ s,
- Einmodenfaser mit NA = 0,1 (siehe Tabelle 1 in Abschnitt 2.3) und $P_0 = 1,05 z^2 \text{NA}^2 E_0$ (siehe Tabelle 2 Abschnitt 2.4),
- Laserleistung $P_0 = 1,25$ W.

1. Ermittlung des Expositionsgrenzwerts (EGW): Aus der TROS Laserstrahlung Teil 2, Anlage 4, Tabelle A4.4 (Ausgabe 2018) lässt sich ein EGW von 1000 W/m² ablesen.
2. Ermittlung des Augensicherheitsabstands NOHD: Der NOHD-Wert entspricht dem Abstand r, an dem die Bestrahlungsstärke E auf den EGW gefallen ist (hier 1000 W/m²).

Aus $P_0 = 1,05 z^2 \text{NA}^2 E_0$ folgt mit $z = \text{NOHD}_{100\text{s}}$ und $E_0 = \text{EGW} = 1000$ W/m² also:

$$\text{NOHD} = \frac{1}{\text{NA}} \sqrt{\frac{P_0}{1,05 \text{EGW}}} = 0,35 \text{ m}$$

3. Ermittlung des NOHD-Bereichs: Der maximale Durchmesser des NOHD-Bereichs kann abgeschätzt werden zu

$$d_{\text{max}} = \sqrt{\frac{4 P_0}{\pi \cdot \text{EGW}}}$$

Wie bei jeder Strahlkeule wächst der Durchmesser des NOHD-Bereichs mit der Entfernung von der Quelle und erreicht in einer bestimmten Entfernung $z = z_{\text{max}}$ seinen Maximalwert.

Dieser Maximaldurchmesser wird bei MM-Stufenindexfasern in der Entfernung $z_{\text{max}} = \text{NOHD}$ (Augensicherheitsabstand) erreicht. Bei anderen Fasertypen ist z_{max} etwas kleiner als NOHD.

Die Formel ergibt sich unter der Annahme, dass die Quelle die Leistung P abstrahlt und die entstehende Leistungsdichte auf einer Kreisfläche mit dem Durchmesser d_{\max} konstant gleich dem EGW gesetzt wird. Eine solche Gleichverteilung (von der man nur bei Stufenindexfasern ausgehen kann) stellt bezüglich d_{\max} den schlimmsten Fall dar. Bei gaußförmigen Verteilungen (wie bei Einmodenfasern) ist d_{\max} auf jeden Fall kleiner.

Für obige Berechnungen wurde mit der numerischen Apertur NA (siehe Anhang 2) gerechnet. Alternativ kann bei Einmodenfasern auch mit dem Modenfelddurchmesser (siehe Anhang 2) gerechnet werden, wie im folgenden Abschnitt durchgeführt.

2.4.1 NOHD-Bereich bei Einmodenfasern (engl. Single Mode Fibre, SMF)

Die von Einmodenfasern abgestrahlte Leistung kann meist in guter Näherung durch eine gaußförmige Verteilung beschrieben werden. Zur Zuführung der Pumpleistung bei 980 nm werden Fasern mit einem Modenfelddurchmesser von 7 μm verwendet. Im Weitverkehr werden fast ausschließlich Fasern mit einem Modenfelddurchmesser von 11 μm oder darunter verwendet. Für diese Fasern kann der NOHD-Bereich, in Abhängigkeit der unterschiedlichen Leistungen und Wellenlängen, wie in den Abbildungen 3, 4, 5 und 6 dargestellt werden.

Anzumerken ist, dass normalerweise erst ab 100 mm mit einer Gefährdung zu rechnen ist (angedeutet durch gestrichelte Kreise). Zum Zwecke der Darstellung wurden aber auch Abstände von weniger als 100 mm berechnet und dargestellt. Außerdem wurde bei der Berechnung der jeweils gültige Detektordurchmesser simuliert (7 mm bei 980 und 1280 nm, bzw. 3,5 mm bei 1420 und 1550 nm), wobei dieser Detektor so ausgerichtet wird, dass seine Achse auf das Faserende zeigt. Die Quellenleistungen sind nach Laserklassen gestaffelt.

Wie zu erwarten, haben die NOHD-Bereiche in den Abbildungen für Laser der Laserklasse 1M in allen Fällen eine Länge von 100 mm. Dies ist der vorgeschriebene Messabstand für die Laserklasse 1M. Die Laserklasse 1M ist gerade so definiert, dass für 100 s die EGW im Messabstand eingehalten sind.

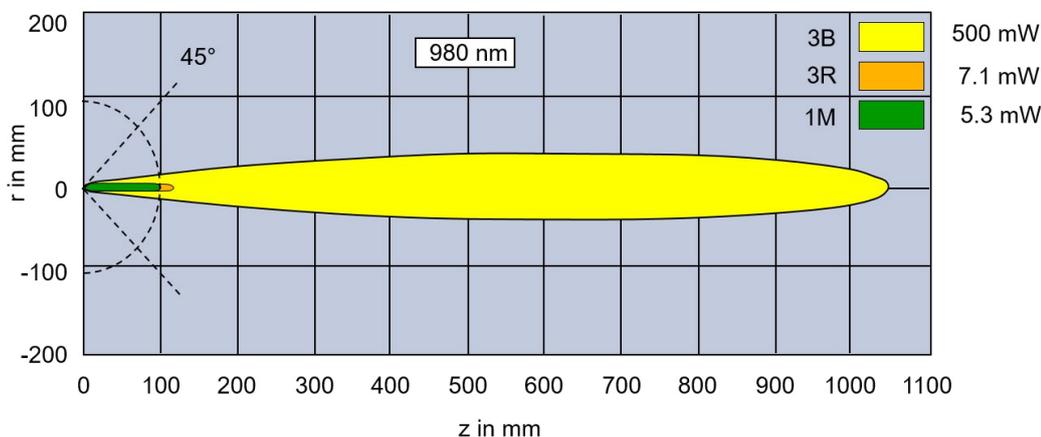


Abb. 3 NOHD-Bereiche in r-z-Richtung einer Einmodenfaser für drei verschiedene Leistungen bei 980 nm. In den jeweiligen farbigen Bereichen sind die EGW überschritten. Es wurde ein Modenfelddurchmesser von 7 μm zugrunde gelegt.

In den Abbildungen 4 und 5 ist als höchste Leistung die Leistung gewählt, die als Maximalleistung in Systemen mit verteilter Raman-Verstärkung zurzeit von Herstellern (Stand 2019) angeboten wird.

Hohe Laserleistungen (bis in die Größenordnung von einigen Watt, die Laserklasse 4 entsprechen würden) treten zurzeit nur bei der Weitstreckenübertragung mit Wellenlängenmultiplextechnik und faseroptischer Verstärkung bei Übertragungswellenlängen um 1550 nm auf.

Abb. 4
NOHD-Bereiche in r-z-Richtung einer Einmodenfaser für drei verschiedene Leistungen bei 1280 nm. In den jeweiligen farbigen Bereichen sind die EGW überschritten. Es wurde ein Modenfelddurchmesser von 11 µm zugrunde gelegt.

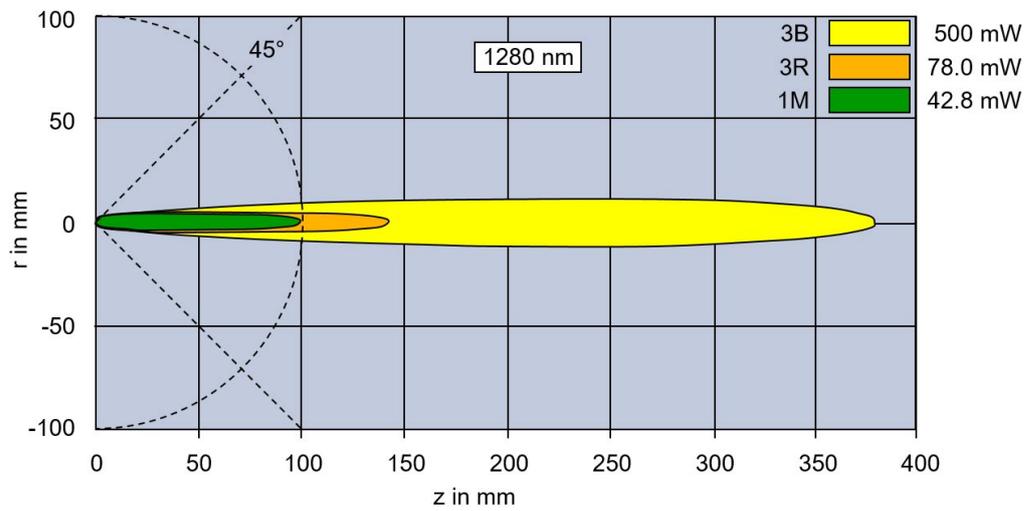
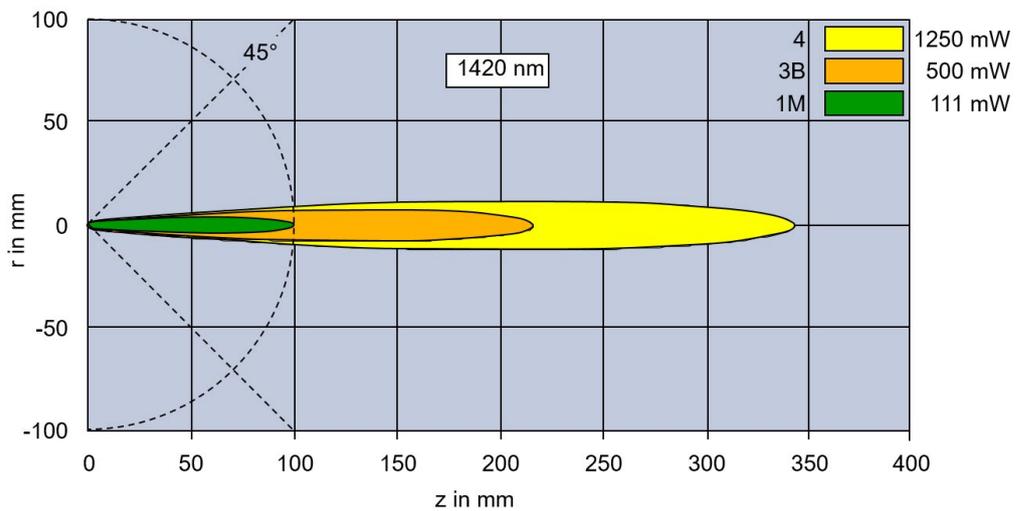


Abb. 5
NOHD-Bereiche in r-z-Richtung einer Einmodenfaser für drei verschiedene Leistungen bei 1420 nm. In den jeweiligen farbigen Bereichen sind die EGW überschritten. Es wurde ein Modenfelddurchmesser von 11 µm zugrunde gelegt. Die Laserklasse 3R ist für Wellenlängen ab 1400 nm nicht relevant, weil die zulässige Leistung kleiner als diejenige der Laserklasse 1M ist.



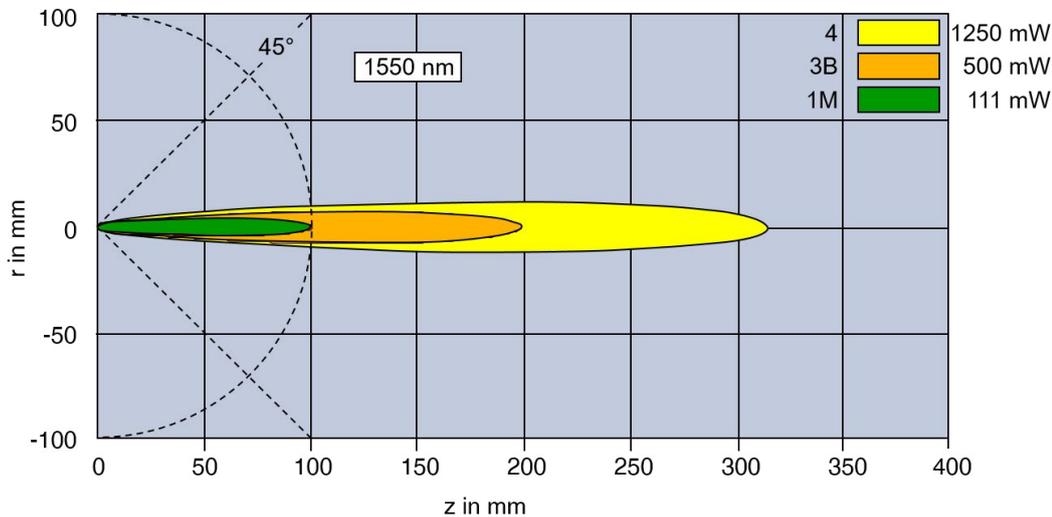


Abb. 6
NOHD-Bereiche in r-z-Richtung einer Einmodenfaser für drei verschiedene Leistungen bei 1550 nm. In den jeweiligen farbigen Bereichen sind die EGW überschritten. Es wurde ein Modenfelddurchmesser von 11 μm zugrunde gelegt. Die Laserklasse 3R ist für Wellenlängen ab 1400 nm nicht relevant, weil die zulässige Leistung kleiner als diejenige der Laserklasse 1M ist.

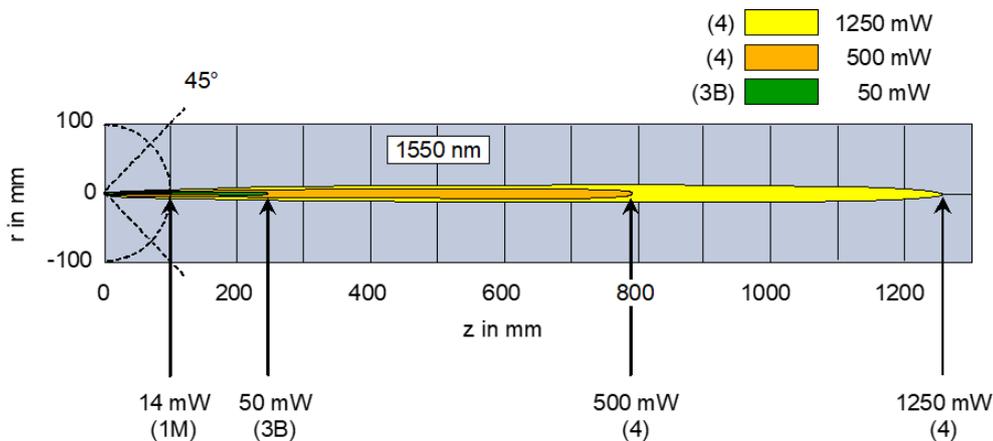


Abb. 7
NOHD-Bereiche in r-z-Richtung einer Einmodenfaser für drei verschiedene Leistungen bei 1550 nm. In den jeweiligen farbigen Bereichen sind die EGW überschritten. Es wurde ein größerer Modenfelddurchmesser von 44 μm angenommen (Modenfeldaufweitung).

Wie aus den Abbildungen 4 bis 6 ersichtlich, kann ein Abstand, der größer als 40 cm ist, in den meisten Fällen als sicher angesehen werden.

Eine Ausnahme stellt die Pumpwellenlänge 980 nm für EDFA dar, die bei 500 mW abgestrahlter Leistung auch im Abstand von über 1 m noch gefährlich sein kann (s. Abbildung 3). Der hier erforderliche Augensicherheitsabstand von 100 cm ist für Weitverkehrsfasern nicht anzuwenden, da für diese Wellenlänge besondere Fasern benötigt werden, die nur im Gestell (meist nur auf einer Platine) verlegt werden. Einmodenfasern nach G.652 bis G.655 wären in

diesem Wellenlängenbereich mehrwellig und deshalb für diesen Zweck ungeeignet.

Auch wenn im Einzelfall z. B. bei Wartungsarbeiten keine Angaben vorliegen, kann man außer bei 980 nm oder bei Hochleistungssteckern mit Modenfeldaufweitung (nach Abbildung 7) davon ausgehen, dass ab ca. 40 cm („Armlänge“) keine Gefährdung mehr besteht. In jedem Fall ist aber eine Betrachtung aus einem Winkel von 45° zur Faserachse sicher (dieser Fall ist in den Abbildungen 3 bis 7 ebenfalls durch gestrichelte Linien dargestellt).

Bei Steckern mit Schrägschliff (z. B. SC-APC mit 8° oder 9°) verkippt der Strahl aus dem Stecker etwa 4° gegen die Faserachse.

Hochleistungs-Stecker mit Modenfeldaufweitung für Einmodenfaser

Bei der Übertragung hoher Leistungen über Einmodenfaser kann es sinnvoll sein, in der Steckfläche einen größeren Modenfelddurchmesser (MFD) zu haben. Ein Beispiel hierfür sind Stecker, bei denen durch Einbau einer Gradientenlinse in jedes Steckteil eine Modenfeldaufweitung erreicht wird. Durch diese Linse wird der MFD von z. B. 11 µm auf 44 µm aufgeweitet. Ferner ist der Strahl wegen des Schrägschliffs etwa 2° gegen die Faserachse verkippt. Wird ein solcher Stecker offen betrieben, hat er einen längeren NOHD-Bereich als ein Stecker mit unverändert durchgeführter Einmodenfaser. Für den Strahl aus diesem Stecker beträgt der Grenzwert für Laserklasse 1M bei 1550 nm nur 14 mW (verglichen mit 136 mW für den Strahl direkt aus der Faser) und alle Leistungen > 50 mW sind in Laserklasse 3B (< 500 mW) oder Laserklasse 4 (> 500 mW) einzustufen (siehe Abbildung 7).

Diese Stecker haben also eine geringe Divergenz und somit einen größeren NOHD-Bereich.

2.4.2 NOHD-Bereiche bei Mehrmodenfasern (engl. multimode fibre, MMF)

Bei Mehrmodenfasern ist der NOHD (und damit der Gefährdungsgrad) von der Modenverteilung abhängig, die wiederum die numerische Apertur bzw. die Divergenz beeinflusst (siehe Abschnitt 2.3). In diesem Zusammenhang basieren die entsprechenden Leistungsgrenzwerte im Anhang 5 auf der Annahme des ungünstigsten Falls. Im Einzelfall sind unter Umständen folgende Punkte zu beachten:

- Je nach Kerndurchmesser der Mehrmodenfaser kann diese als Punktlichtquelle oder ausgedehnte Quelle (MFD > 150 µm) betrachtet werden. Das gilt z. B. für HCS-Fasern mit 200 µm Kerndurchmesser oder Polymer-optische Fasern mit 1000 µm Kerndurchmesser. Der Grad der Modenfüllung bestimmt die Quellengröße (Faktor C_E nach TROS Laserstrahlung Teil 2).

- Der Grad der Modenfüllung kann die eingekoppelte Leistung beeinflussen. Auch durch Biegung der Faser wird die Modenfüllung verändert, was sich auf die Leistungsmessung auswirken kann.
- Bei Verwendung einer Mehrmodenfaser mit einem Sender für Einmodenfaser kann die eingekoppelte Leistung wesentlich höher sein als von den Herstellern angegeben, da die Koppelverluste durch den größeren Kerndurchmesser der Mehrmodenfaser deutlich kleiner sein können als die von den Herstellern für die Einmodenfaser berücksichtigten Verluste.

2.4.3 NOHD-Bereiche bei Polymer-optischen Fasern (engl. Polymer optical fibre, POF)

Eine Besonderheit stellen LWLKS mit POF dar. Für diese kostengünstigen hochbitratigen Kurzstreckenübertragungssysteme (z. B. Heimbereich, Kraftfahrzeug) werden als Sendeelemente verschiedenfarbige (meist „grüne“ und „rote“) LED eingesetzt. Diese liegen im Bereich der Laserklasse 1M bzw. 2.

Die „Systemphilosophie“ bedingt den Einsatz von leicht zu öffnenden und selbst konfektionierbaren optischen Steckverbindungen. Die Streckendämpfung in der Faser ist aber allgemein so groß, dass meist schon kurz nach der Strahl-einkopplung keine Gefährdung mehr besteht.

2.5 Gefährdungen im Normalbetrieb

Wird das LWLKS bestimmungsgemäß betrieben** und finden keine Wartungsarbeiten oder Systemprüfungen statt, so bestehen keine Strahlungsgefährdungen, weil die Laserleistung im LWL-Kabel vollständig eingeschlossen ist. Auch nicht unterwiesene Personen (Laien) sind nicht gefährdet.

** Der Normalbetrieb liegt nicht vor, wenn Stecker geöffnet bzw. gezogen werden. Dann können Gefährdungen durch austretende Laserstrahlung vorliegen.

2.6 Gefährdungen bei Wartungs- und Servicearbeiten

2.6.1 Gefährdungen bei Wartungs- und Servicearbeiten an bekannten LWLKS

Bei Wartungs- und Servicearbeiten an bekannten LWLKS sind an Hand der Gefährdungsbeurteilung entsprechend der Laserklasse bzw. des Gefährdungsgrades die Schutzmaßnahmen durchzuführen.

2.6.2 Gefährdungen bei Wartungs- und Servicearbeiten an unbekanntem LWLKS („Dark Fibre“)

Liegen bei unbekanntem LWLKS keine Informationen vor, kann eine vereinfachte Gefährdungsbeurteilung an Hand der maximal in Deutschland übertragenen Laserleistung in der Größenordnung ca. 2 W durchgeführt werden.

Solche Laserleistungen entsprechen der Laserklasse 4 und werden zurzeit nur bei der Weitstreckenübertragung mit Wellenlängenmultiplex-technik und faseroptischer Verstärkung bei Übertragungswellenlängen um 1550 nm genutzt.

Diese Laserleistungen werden allerdings nur im Service- oder Fehlerfall zugänglich.

2.7 Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen

2.7.1 Brandgefahr

Im Laserbereich, besonders in Nähe von offenen Faserendflächen, dürfen keine brennbaren und keine leicht entzündlichen Stoffe gelagert werden. Eine weitere Gefährdung kann auftreten, wenn die Lichtwellenleiter zu stark gekrümmt werden. Dann kann Laserstrahlung auch aus dem Mantel austreten.

2.7.2 Explosionsgefahr

Laserstrahlung kann – insbesondere bei Fokussierung und am Faserausgang – durch Absorption in explosionsfähiger Atmosphäre oder an festen Oberflächen zur Zündquelle werden (siehe auch Abschnitt 3.4.3).

2.7.3 Verletzungen durch Faserreste

Bei Steckerkonfektionierung oder Spleißarbeiten entstehende Faserreste sollten in gesonderten Behältnissen gesammelt und entsorgt werden. Feine Fasern können in die Augen und die Haut eindringen und zu Entzündungen führen.

Um eine mögliche orale Aufnahme von Faserresten zu verhindern, sollte in den Bereichen wo Spleißarbeiten durchgeführt werden, keine Speisen oder Getränke verzehrt werden.

3 Schutzmaßnahmen beim Umgang mit LWLKS

3.1 Informationen zur Festlegung von Schutzmaßnahmen

Der Betreiber bzw. die Betreiberin eines kompletten LWLKS hat die Verantwortung für die Lasersicherheit. Das beinhaltet unter anderem die Festlegung der Standorttypen und des Gefährdungsgrades mit den entsprechenden Schutzmaßnahmen. Dies bedeutet z. B. an jeder zugänglichen Stelle des gesamten Systems ist abzusichern, dass die dort zugewiesenen Gefährdungsgrade nicht überschritten werden und für Installations- und Wartungsarbeiten nur entsprechend unterwiesenes Personal eingesetzt wird.

Bei Gefährdungsgraden 3R oder 3B und 4 muss der Zugang zum Laserbereich mit dem (dreieckigen) Laserwarnschild und der Angabe des jeweiligen Gefährdungsgrades gekennzeichnet sein.

Die Funktion einer automatischen Leistungsverringerung ist bei Inbetriebnahme des LWLKS zu prüfen.

Anmerkung 1:

Die Bedingungen, unter denen im Wartungsfall eine automatische Leistungsverringerung außer Kraft gesetzt werden kann, sind klar zu definieren. In diesem Fall können die austretenden Leistungen größer sein, als für den entsprechenden Gefährdungsgrad zulässig. Beim Überschreiten der Expositionsgrenzwerte, sind die Gefährdungen und Schutzmaßnahmen zu bestimmen und ggf. in Arbeitsanweisungen niederzulegen (siehe Abschnitt 3.2.2).

Anmerkung 2:

Bei Arbeiten mit sichtbarer Laser- oder LED-Strahlung der Gefährdungsgrade 2 oder 2M, im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm, bei denen bisher von einem Schutz durch Abwendungsreaktionen einschließlich des Lidschlussreflexes ausgegangen wurde, sind die Beschäftigten dahingehend zu unterweisen, dass von diesem Schutz nicht ausgegangen werden darf und stattdessen aktive Schutzreaktionen (sofortiges Schließen der Augen, Abwendung des Kopfes aus dem Strahl) auszuführen sind.

3.2 Rangfolge von Schutzmaßnahmen

Vier Gruppen von Schutzmaßnahmen werden generell unterschieden:

- Substitutionsprüfung und Minimierungsgebot (Vermeidung oder Minimierung von Gefährdungen durch Laserstrahlung an Arbeitsplätzen durch andere geeignete Arbeitsverfahren und Arbeitsmittel)
- Technische (konstruktive) Schutzmaßnahmen (z. B. Abschirmungen, Strahlwegbegrenzung, Notauschalter, automatische Leistungsverringerung)
- Organisatorische (administrative) Schutzmaßnahmen (z. B. Warnschilder, Betriebsanweisungen, Unterweisung)
- Persönliche Schutzmaßnahmen (z. B. Benutzen von Laser-Schutzbrillen oder -visieren)

An erster Stelle stehen grundsätzlich die Substitutionsprüfung und das Minimierungsgebot, dann die technischen Maßnahmen und danach die organisatorischen.

Persönliche Schutzausrüstung kommt an letzter Stelle erst dann in Betracht, wenn es nicht möglich ist, mit technischen und organisatorischen Mitteln ein ausreichendes Schutzniveau zu gewährleisten.

Bezüglich der Laserschutzmaßnahmen können folgende Anwendungsbereiche mit Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systemen oder -komponenten grob unterschieden werden:

- Normalbetrieb des LWLKS; der Anwender oder die Anwenderin muss bezüglich der Gefährdung durch Laserstrahlung nicht unterwiesen sein. Anhand der Benutzerinformationen und der Verschraubung und Verklebung ist klar, dass das Gerät von diesem Personenkreis nicht geöffnet oder geändert werden darf! Dies betrifft z. B. Personen in angeschlossenen Betrieben oder Haushalten.
- Wartung, Montage und Prüffeld.
- Forschung und Entwicklung.

3.2.1 Schutzmaßnahmen für Anwender (A) und Personen, die sich in uneingeschränkten Bereichen aufhalten

Die Hersteller oder die Betreiber sind verpflichtet, je nach Standort und dortigem Gefährdungsgrad die zugeordneten Sicherheitsmaßnahmen festzulegen.

Alle Systeme müssen so gebaut sein, dass sie für den Anwender sicher sind und keine Schutzmaßnahmen erfordern.

Mechanische Verriegelungen oder automatische Leistungsverringerungen verhindern u.a. eine Gefährdung für den Anwender bzw. die Anwenderin.

Wenn die Expositionsgrenzwerte nach der TROS Laserstrahlung eingehalten werden und keine indirekten Gefährdungen vorliegen, sind keine Warn- oder Hinweisschilder am Gerät bzw. in diesen Arbeitsbereichen notwendig.

Nach DIN EN 60825-2:2011-06 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)“ ist es den Herstellern für die Gefährdungsgrade 1 und 1M freigestellt, ein Hinweisschild anzubringen oder diese Information nur in die Benutzerinformation aufzunehmen.

3.2.2 Schutzmaßnahmen bei Montage, Systemtest und Wartung (WP)

Der Umgang mit LWLKS-Komponenten bei diesen Arbeiten erfordert grundsätzlich eine besondere Sorgfalt bezüglich Sauberkeit, Reinigung, mechanischer Belastungen und Biegeradien und speziell dafür ausgebildetes Personal.

Kann bei Arbeiten an einem System Strahlungsleistung oberhalb der Expositionsgrenzwerte zugänglich werden, so sind die betreffenden Beschäftigten jährlich im Laserschutz zu unterweisen. Die Unterweisung ist zu dokumentieren.

Bei LWLKS mit hohen Strahlungsleistungen wird der Laserschutz häufig mit einer automatischen Leistungsverringerung sichergestellt. Ist diese defekt oder abgeschaltet, so sind die Schutzmaßnahmen für die höhere Laserleistung anzuwenden.

Anmerkung:

Falls, z. B. bei Installationsarbeiten, die endgültigen Gefährdungsgrade durch den Betreiber bzw. die Betreiberin noch nicht festgelegt wurden, sind die Klassifizierungen der optischen Sendekomponenten oder Testeinrichtungen zur Festlegung der Schutzmaßnahmen zu verwenden.

3.2.3 Schutzmaßnahmen in Forschung und Entwicklung (FE)

Solche Arbeiten werden im Allgemeinen an noch nicht umschlossenen LWLKS durchgeführt. Gefährdungsgrade und Standorttypen sind noch nicht definiert. Daher sind die Laserklassen der einzelnen verwendeten Sendekomponenten oder Messgeräte zu ermitteln. Gleiches gilt für Verbindungsstellen, an denen Strahlung z. B. beim Öffnen von Steckverbindern zugänglich werden kann.

Anmerkung:

Es wird empfohlen, den Arbeitsplatz zu kennzeichnen und die Schutzmaßnahmen entsprechend der maximal möglichen Laserklasse festzulegen.

Der Schutz der Beschäftigten im Laborbereich muss vor allem durch organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen wie: Arbeitsanweisungen, Unterweisungen, Betriebsanweisungen, Zugangsbeschränkungen, Verwendung von Laser-Schutzbrillen usw. sichergestellt werden.

3.2.4 Einrichtung von Laserbereichen

Bei möglicher Überschreitung der EGW müssen Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung gemäß TROS Laserstrahlung und dieser DGUV Information den Laserbereich einrichten. Wichtige Größe ist dabei der Augensicherheitsabstand (NOHD) für eine Expositionszeit von 100 s falls die Verwendung von optisch sammelnden Instrumenten nicht angenommen wird bzw. ausgeschlossen werden kann.

Liegt dieser Wert z. B. bei 40 cm von der Austrittsfläche eines LWLKS-Kabels und könnte dieses einen Aktionsradius von 2 m haben, so wäre z. B. ein NOHD-Bereich von 2,4 m um den Arbeitspunkt als Laserbereich gegeben. Dieser wird um die Zugänglichkeit in der Regel plus ca. 1 m oder mehr je nach örtlichen Umgebung erweitert, sodass man wohl eine Absperrkette oder ähnliches im Abstand von 3,5 m um den Arbeitspunkt festlegen kann. Eine weitere Möglichkeit ist den ganzen Raum in diesem Fall als Laserbereich festzulegen. Mittels Stellwänden, festen Absperrungen (z. B. Holzbrett) o.ä. kann der zugängliche Laserbereich räumlich verkleinert werden.

3.3 Allgemeine Regeln zum sicheren Arbeiten an und mit LWLKS

Unter Beachtung der folgenden Regeln darf bei Gefährdungsgraden 1 bis 3R im laufenden Betrieb gearbeitet werden.

Tabelle 3 Regeln zum sicheren Arbeiten an LWLKS

Betrachten der Faser	nicht mit ungeschütztem Auge oder einem nicht anerkannten optischen Gerät auf Faserenden oder Steckerstirnflächen blicken
	Faserende nicht auf andere Personen richten
Optische Instrumente	nur speziell ausgewählte oder angefertigte optische Instrumente mit Filter oder Dämpfung benutzen, bei Gefährdungsgraden größer oder gleich 1M oder 2M indirekte Sehhilfen (Bildwandler, Kamera und Monitor u.ä. Systeme) benutzen
Faserenden	offene Faserenden abdecken (Spleißschutz, Klebeband), wenn nicht daran gearbeitet wird; offene Stecker mit Staubschutzkappen versehen
Fasertrennen	nur Fasern von freigeschalteten Übertragungsstrecken brechen
	Fasertrenngerät mit Faserrestebehälter verwenden
Messleitungen	die optische Quelle als letzte anschließen und als erste trennen
Wartung	nur nach spezieller Arbeitsanweisung durchführen
Reinigung der Stecker und Faserenden	nur geeignete Methoden (in der Regel von den Herstellern vorgegeben) benutzen
Änderungen am LWLKS	nur mit besonderer Befugnis der Betreiber
Kennzeichnung Schilder	beschädigte oder fehlende Schilder melden und ersetzen
Schlüsselschalter	Schlüssel nur in Obhut autorisierter Personen aufbewahren
Testeinrichtungen	die Laserklasse der Testeinrichtung muss dem Gefährdungsgrad des Standortes entsprechen
Warnzeichen	Standorte mit Gefährdungsgraden oberhalb 1M sind immer mit dem Laserwarnzeichen und dem Gefährdungsgrad zu versehen

3.4 Besondere Schutzmaßnahmen

3.4.1 Empfehlungen zur Kennzeichnung der Arbeitsbereiche

Laserbereiche sind grundsätzlich entsprechend TROS Laserstrahlung zu kennzeichnen. Zusätzlich kann es empfehlenswert sein, die Arbeitsbereiche am Zugang mit den Hinweisen auf die entsprechenden Gefährdungsgrade zu kennzeichnen.

Beispiel für Gefährdungsgrad 1M:



Anmerkung:

Bei der Kennzeichnung von Bereichen mit Gefährdungsgrad 1M darf zusätzlich das Laserwarnschild angebracht sein.

Beispiel für Gefährdungsgrad 3B:



Abb. 8 Sicherheitskennzeichnung der Arbeitsbereiche je nach Gefährdungsgrad und Zugang

3.4.2 Schutzmaßnahmen bei Brandgefahr

Im Laserbereich, besonders in Nähe der Faserendfläche, dürfen keine brennbaren und keine entzündlichen Stoffe gelagert werden.

Biegeradien von LWL sind so einzuhalten, damit aus dem Mantel keine Laserstrahlung austreten kann und es dadurch zu keinen Bränden kommen kann.

3.4.3 Schutzmaßnahmen bei Explosionsgefahr

Aufgrund der extremen Leistungsdichte am Strahlaustritt von LWLKS muss oberhalb der Werte der Tabelle 4 in entsprechenden Umgebungen unter Umständen mit Explosionsgefährdungen gerechnet werden.

Bei Einsatz in derartigen Umgebungen ist die Leistung und Leistungsdichte so zu begrenzen, dass sie die explosionsfähige Atmosphäre nicht entzünden kann. Genauere Informationen für den Explosionsschutz in Gas- oder Dampf-Luft-Atmosphären sind in der DIN EN 60079-28:2016-04 „Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 28: Schutz von Geräten und Übertragungssystemen, die mit optischer Strahlung arbeiten“ und in der DGUV Regel 113-001 „Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)“ zu finden.

Beispielsweise sind die folgenden Strahlungsleistungen nicht als Zündquelle anzusehen, wenn angenommen wird, dass die Strahlung an einem Festkörper vollkommen absorbiert und in eine Erwärmung umgesetzt wird und so eine heiße Oberfläche erzeugt wird. Die in nachstehender Tabelle genannten Werte sind grobe Vereinfachungen mit großem Sicherheitsabstand. Bei geringerer Absorption oder guter Wärmeableitung an die Umgebung oder aber auch bei fehlendem Absorber sind auch höhere Leistungen ohne Entzündungen möglich.

Tabelle 4 Strahlungsleistungen, die keine Zündquelle darstellen (Quelle: TRGS 723 „Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische“ – Ausgabe Juli 2019)

Explosionsgruppe	I und IIA	IIA	IIB	IIC	IIC
Temperaturklasse	T1 – T3	T4	T1 – T4	T1 – T4	T5 – T6
Leistung [mW]	150	35	35	35	15
Bestrahlungsstärke [mW/mm ²] (bei Flächen < 400 mm ²)	20 ^a	5	5	5	5

^a Bei Flächen > 30 mm² gilt der 5 mW/mm²-Grenzwert, wenn sich brennbares Material (z. B. Kohlenstaub) im Strahl befinden kann.

Anmerkung:

Vorstellbar in diesem Zusammenhang ist auch die Bildung eines explosionsfähigen Gemisches bei Benutzung alkoholischer Reinigungsmittel z. B. für das Säubern von Steckerstirnflächen. Das Gemisch selbst ist zwar für die LWLKS-Strahlung transparent, kann aber möglicherweise durch ein absorbierendes Staubkorn zur Explosion gebracht werden.

3.4.4 Betrachten und Prüfen von Strahlaustrittsstellen

Das Betrachten der Steckerendflächen bei Arbeiten an LWLKS ist nur dann erlaubt, wenn folgenden Bedingungen alle eingehalten werden,

- der betreffende Laser ist außer Betrieb (z. B. durch Ziehen der Baugruppe),
- der betreffende Laser ist gegen Wiedereinschalten gesichert (z. B. durch ein Hinweisschild),
- einwandfrei festgestellt wurde, dass Leistungsfreiheit herrscht (z. B. mit einem optischen Leistungsmessgerät). Die Messzeit muss größer sein als eine ggf. vorhandene zyklische Wiedereinschaltzeit nach ALV.

Gefährdung beim Betrachten der Strahlaustrittsstellen durch optische Instrumente

Lupen und Mikroskope können die Gefährdung durch Laserstrahlung erhöhen, insbesondere im Fall von Laserstrahlung aus Glasfaserenden und Steckverbindern. Zwei Fälle sind zu unterscheiden:

Wellenlängen kleiner als 1400 nm:

Laserstrahlung dieser Wellenlängen kann die empfindliche Netzhaut des Auges schädigen. Ohne Lupe ist eine Fokussierung auf der Netzhaut möglich, allerdings kann man davon ausgehen, dass durch den genormten kürzesten Adaption Abstand von 100 mm ein größerer Teil der Laserstrahlung nicht in die Pupille einfällt. Mit einer Lupe kann dagegen die gesamte divergente Strahlung aus einem Lichtwellenleiter eingefangen und auf der Netzhaut des Auges punktförmig fokussiert werden.

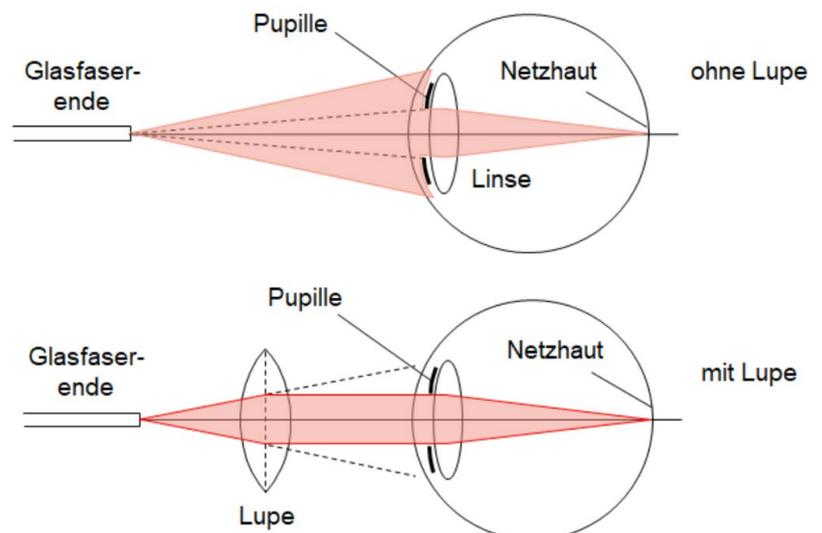


Abb. 9

Im vorliegenden Beispiel im Wellenlängenbereich unter 1400 nm wird ohne Lupe nur ein kleiner Teil der von einer Glasfaser abgestrahlten Leistung auf der Netzhaut fokussiert, während mit Lupe die gesamte abgestrahlte Leistung punktförmig auf die Netzhaut fallen kann.

Wellenlängen größer als 1400 nm:

Für solche Wellenlängen ist das menschliche Auge nicht transparent, die Strahlung wird direkt auf der Hornhaut des Auges absorbiert. Eine Lupe kann im Wellenlängenbereich >1400 nm die Strahlung auf der Hornhaut punktförmig fokussieren und einen Hornhautschaden verursachen.

Bei der Verwendung von Mikroskopen muss man je nach Wellenlänge auch zwei Fälle betrachten. Im Wellenlängenbereich <1400 nm wird das Netzhautbild durch ein Mikroskop stark vergrößert – das bewirkt eine großflächigere und damit ungefährlichere Verteilung der Strahlungsleistung auf der Netzhaut. Im Wellenlängenbereich >1400 nm kann ein Mikroskop die Gefährdung ebenfalls nicht erhöhen, weil die durch eine Lupe erzeugte punktförmige Abbildung auf der Hornhaut schon den schlimmsten Fall darstellt.

Wenn für das LWLKS der Gefährdungsgrad 1 festgelegt ist, dann ist die Betrachtung des Faserendes mit optischen Instrumenten kurzzeitig ohne Augengefährdung möglich (siehe Anmerkung), weil optische Instrumente durch die Messbedingungen für den Gefährdungsgrad 1 nachgebildet werden.

Anmerkung:

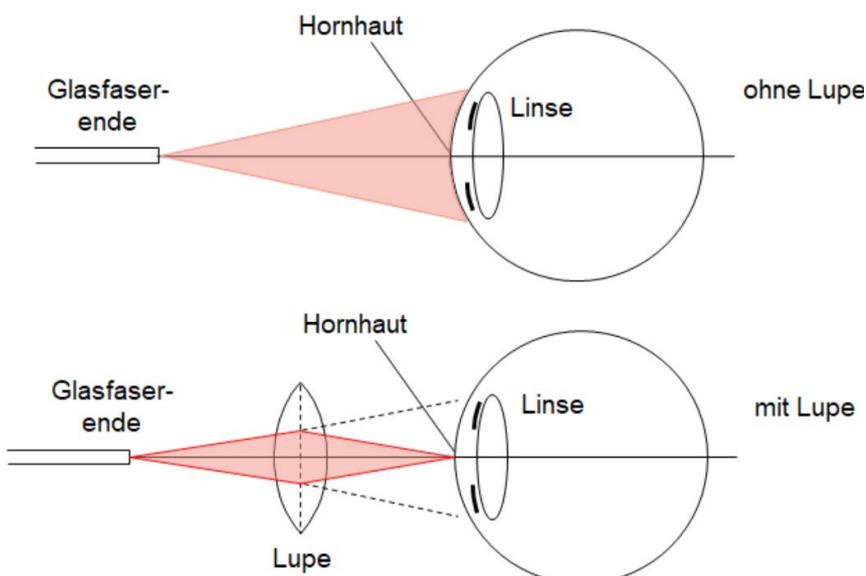
In jedem Fall ist eine Gefährdungsbeurteilung bezüglich der direkten Gefährdung durch die Laserstrahlung nötig, unter anderem deshalb, weil die dem Gefährdungsgrad 1 zugrundeliegenden GZS-Grenzwerte nicht immer identisch mit den Expositionsgrenzwerten (EGW) sind. Es ist generell nicht ratsam, in ein Faserende mit dem Gefährdungsgrad 1 hineinzuschauen, ggf. kann es zu einer Blendung kommen.

Beim Gefährdungsgrad 1M ist eine Augengefährdung durch optische Instrumente wahrscheinlich, weil die Messbedingungen nur das menschliche Auge ohne optische Instrumente nachbilden. Durch die oben beschriebene Wirkung zum Beispiel von Lupen werden in diesem Fall die Expositionsgrenzwerte überschritten.

Ähnliches wie für die Gefährdungsgrade 1 und 1M gilt auch für die Gefährdungsgrade 2 und 2M im sichtbaren Wellenlängenbereich. Ab dem Gefährdungsgrad 3R sind Strahlaustritte aus Glasfasern in jedem Fall gefährlich.

Wenn optische Instrumente (z. B. zur Begutachtung von Spleißen oder Stecker-Stirnflächen) für Faserenden unter Last verwendet werden sollen, müssen diese speziell ausgewählt (d. h. mit geeigneten Schutzfiltern versehen) werden.

Beispielsweise könnten zur Beobachtung indirekte Video-Mikroskope verwendet werden.

**Abb. 10**

Im Wellenlängenbereich >1400 nm dringt die Strahlung nicht ins Auge ein, sondern wird auf der Hornhaut absorbiert. Ohne Lupe wird die Hornhaut großflächig bestrahlt. Eine Lupe sorgt unter Umständen für eine punktförmige (heiße) Abbildung auf der Hornhaut.

3.4.5 Messungen an Lichtwellenleiterverteilern und technischen Einrichtungen

Von angeschlossenen Messgeräten geht bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine Gefährdung aus. Besondere Schutzmaßnahmen sind nicht vorzusehen. Auch hier ist aus Sicherheitsgründen ein direktes Blicken in den Strahl (Stecker mit Kupplung am Ende der Messleitung) zu unterlassen.

Muss das Messgerät nicht bestimmungsgemäß, zum Beispiel offen, verwendet werden, dann sind eventuell zusätzliche Schutzmaßnahmen (z. B. Tragen von Laser-Schutzbrillen nach DGUV Information 203-042 „Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen, Laser-Justierbrillen und Laser-Schutzabschirmungen“) vorzusehen.

Beim Messen des optischen Leistungssignals an Lichtwellenleiterverteilern oder an den Übertragungstechnischen Einrichtungen wird durch Auftrennen von Verbindungen des Lichtwellenleiterübertragungssystems die Laserleistungsverringering aktiviert, sofern das geschlossene LWLKS Laser der Laserklasse 3R, 3B oder 4 enthält. Um sicherzustellen, dass auch im ungünstigsten Fall keine Personengefährdung auftritt, ist sofort nach dem Auftrennen der optische Leistungsmesser an der zu messenden Stelle anzuschließen oder das offene Ende mit der Schutzkappe zu versehen.

Ein Betrachten der Steckerendflächen unter Laserleistung (direkter Blick in den Strahl) ist zu unterlassen. Danach kann die manuelle Lasereinschaltung aktiviert werden. Während der bewussten manuellen Lasereinschaltung darf der optische Leistungspegelmesser nicht entfernt werden.

Nach Beendigung der Messungen muss die manuelle Lasereinschaltung deaktiviert werden und die Steckverbindungen sind wieder ordnungsgemäß zu schließen.

3.4.6 Spleißarbeiten am Kabel

Für die Spleißgeräte an sich sind keine besonderen Sicherheitsbestimmungen zu beachten, da diese Geräte ohne oder nur mit geringer Strahlungsleistung der Laserklasse 1 oder 2 arbeiten.

Bei Spleißarbeiten am Kabel sind die Fasern am Spleißtisch so zu positionieren, dass von einem evtl. austretenden Strahl keine Gefährdung ausgehen kann (Personengefährdung, Brandgefahr). Eine ausreichende Beleuchtung des Arbeitsplatzes ist sicher zu stellen.

Bei planbaren Spleißarbeiten an Kabelanlagen sind grundsätzlich die Übertragungssysteme beidseitig an den Lichtwellenleiterverteilern bzw. Lichtwellenleiter-Hauptverteiltern aufzutrennen.

3.4.7 Servicearbeiten an vermieteten oder unbekanntem LWLKS („Dark Fibre“)

Werden Arbeiten an unbekanntem Fasern mit unbekanntem Gefährdungsgrad durchgeführt, so ist von der höchsten anzutreffenden Leistung auszugehen und die Schutzmaßnahmen sind für den Gefährdungsgrad 4 auszuwählen und anzuwenden.

Anmerkung:

In der Regel muss im oben beschriebenen Fall im abgeschalteten Zustand gearbeitet werden.

3.4.8 Verwendung von Laser-Schutzbrillen

Grundsätzlich kommen persönliche Schutzmaßnahmen erst dann in Betracht, wenn weder durch technische noch durch organisatorische Maßnahmen die EGW eingehalten werden können.

Beim Arbeiten mit unbekanntem, mit Laserenergie betriebenen LWLKS mit Verbindungsstücken und optischen Schnittstellen sind dafür geeignete Laser-Schutzbrillen zu tragen.

Im Telekommunikationsbereich beispielsweise sind in der Regel Laser-Schutzbrillen der Schutzstufe LB 3 (zwischen 900 nm und 2000 nm) bzw. LB 2 (zwischen 700 nm und 900 nm) ausreichend. Bei Laser-Schutzbrillen ist der Einsatzzweck zu berücksichtigen. Laser-Schutzbrillen zum Schutz der Augen sind nur für die kurzzeitige bzw. unbeabsichtigte Bestrahlung mit einer bestimmten Wellenlänge gedacht. Eine solche Laser-Schutzbrille schützt vor der direkten Laserstrahlung gemäß DIN EN 207:2017-05 „Persönlicher Augenschutz – Filter und Augenschutzgeräte gegen Laserstrahlung (Laserschutzbrillen)“ maximal 5 s.

Entsprechend der PSA-Verordnung (EU) 2016/425 können die Hersteller von PSA eine maximale Nutzungsdauer bzw. ein Verfallsdatum für die PSA bestimmen und anbringen. Dies ist bei der Verwendung von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen zu beachten. Weiteres zur Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen ist in der DGUV Information 203-042 „Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen, Laser-Justierbrillen und Laser-Schutzabschirmungen“ zu finden.

3.4.9 Sonstige Hinweise zu Schutzmaßnahmen

Bei unmittelbarer Betrachtung der Steckverbinder Endflächen (nach DIN EN 61300-3-35:2016-04 „Lichtwellenleiter Verbindungselemente und passive Bauteile – Grundlegende Prüf und Messverfahren – Teil 335: Untersuchungen und Messungen – Visuelle Inspektion von Lichtwellenleiter-Steckverbindern und Faser-Stub-Transceivern“, Abschnitt 4.2 Verfahren A) wird ein Lichtmikroskop (Direktsicht Mikroskop) verwendet, bei dem das Objektiv ein erstes Bild erzeugt, das dann durch ein Okular vergrößert und unmittelbar in das Auge des Bedieners projiziert wird. Diese Lichtmikroskope müssen mit geeigneten Laserschutz-Filtern im entsprechenden Infrarotbereich ausgestattet sein, um versehentliche Augenverletzungen zu verhindern. Dies ist vor allem wichtig während der Sichtprüfung von Endflächen installierter Steckverbinder in Übertragungs- oder Installationsstrecken, wenn das ferne Ende der Verkabelung nicht unter Kontrolle der prüfenden Person ist. Soweit möglich, sollten bei derartigen Tätigkeiten die Laser abgeschaltet werden. Dies gilt vor allem auch beim Wechseln von Komponenten.

In aktiven Übertragungsstrecken sind keine Direktsicht-Mikroskope zu verwenden. Alternativ kann ein Videomikroskop verwendet werden (nach DIN EN 61300-3-35:2016-04 „Lichtwellenleiter Verbindungselemente und passive Bauteile – Grundlegende Prüf und Messverfahren – Teil 335: Untersuchungen und Messungen – Visuelle Inspektion von Lichtwellenleiter-Steckverbindern und Faser-Stub-Transceivern“, Abs. 4.3 und 4.4 Verfahren B und C), bei dem das Bild auf einem Display angezeigt wird.

Nach Möglichkeit sollten LWLKS-Steckverbinder mit selbstschließenden Kappen und Kupplungen mit Klappfunktion im Strahlengang benutzt werden.



Abb. 11 Beispiel einer konstruktiven Schutzmaßnahme bei einer LWLKS-Steckverbindung in einem Patchfeld. Die Frontblende schützt u. a. gegen Strahlaustritt bei nicht belegten Ports.

Für Arbeiten an LWLKS oder Komponenten von LWLKS mit Strahlungsleistungen oberhalb der Expositionsgrenzwerte ist der Zutritt für Betriebsfremde (z. B. spielende Kinder) zu verhindern, bei Leistungen oberhalb der Laserklasse 1M dürfen nur unterwiesene Beschäftigte eingesetzt werden. Weiteres siehe Anhang 6.

Für Arbeitsplätze bzw. Tätigkeiten, bei denen Laserstrahlung zugänglich ist, muss eine Betriebsanweisung erstellt werden.

Im Laserbereich sollten sich nur Personen aufhalten, deren Aufenthalt dort nötig ist. Beim Einschalten eines Lasers der Laserklasse 3R, 3B oder 4 sind die im Laserbereich anwesenden Personen unmittelbar vorher zu verständigen.

Bei Entwicklungsarbeiten an Hochleistungssystemen (mit Einmodenfasern) mit Strahlungsleistungen größer als der Expositionsgrenzwert, ggf. unter Berücksichtigung von optisch sammelnden Instrumenten (siehe Abschnitt 2.2 und 2.3), ist ein Laserbereich zu definieren und einzurichten.

4 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Für Beschäftigte, die in Bereichen mit Laserstrahlung tätig sind, sieht die Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) in Bezug auf die Exposition gegenüber Laserstrahlung weder eine Pflicht- noch Angebotsvorsorge vor. Der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin hat jedoch den Beschäftigten nach § 11 ArbSchG bzw. § 5 a ArbMedVV eine arbeitsmedizinische Vorsorge (Wunschvorsorge) zu ermöglichen, sofern ein Gesundheitsschaden im Zusammenhang mit der Tätigkeit nicht ausgeschlossen werden kann.

Eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte durch inkohärente optische Strahlung könnte beim Einsatz von LEDs oder VLEDs in LWLKS in seltenen Fällen möglich sein.

Anmerkung:

Eine weitere Möglichkeit der Überschreitung der EGW durch inkohärente optische Strahlung könnten Arbeiten an LWLKS mit Geräten bzw. UV-Strahlern zum Härten von Klebern und Lacken sein.

Weitere arbeitsmedizinische Vorsorge kann aufgrund der Belastung durch z. B. Biostoffe (z. B. Kot von Nagetieren in Kabelkästen) oder Lärm (z. B. Arbeiten in der Nähe von Server-Lüftern) erforderlich sein (Pflichtvorsorge) oder ist vom Arbeitgeber bzw. der Arbeitgeberin anzubieten (Angebotsvorsorge). Die Notwendigkeiten und Festlegungen hierüber sollten in Zusammenarbeit mit dem Betriebsarzt bzw. der Betriebsärztin erfolgen.

5 Maßnahmen bei Unfällen

5.1 Allgemeines

Der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin hat entsprechend der Art der Arbeitsstätte und der Tätigkeit sowie der (siehe § 10 ArbSchG) Zahl der Beschäftigten Maßnahmen zu treffen, die zur Ersten Hilfe, Brandbekämpfung und Evakuierung der Beschäftigten erforderlich sind. Dabei hat der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin der Anwesenheit anderer Personen Rechnung zu tragen. Sie haben auch dafür zu sorgen, dass im Notfall die erforderlichen Verbindungen zu außerbetrieblichen Stellen, insbesondere in den Bereichen der Ersten Hilfe, der medizinischen Notversorgung, der Bergung und der Brandbekämpfung eingerichtet sind.

5.2 Organisation der betrieblichen Ersten Hilfe

Bei Tätigkeiten an LWLKS sollte der Unterpunkt „Erste Hilfe“ in der Betriebsanweisung beschrieben werden, damit bei Unfällen eine schnelle und kompetente Versorgung der verunfallten Person sichergestellt ist. Da insbesondere Augenverletzungen rasche Erste Hilfe erfordern, sollte im Betrieb neben dem D-Arzt bzw. der D-Ärztin (Durchgangsarzt bzw. Durchgangsärsztin) auch der nächste Augenarzt bzw. Augenärztin oder ggf. die nächste Augenklinik durch den Aushang sowie das hierfür erforderliche innerbetriebliche Meldewesen und das Verhalten der Beschäftigten und der betrieblichen Ersthelfer bzw. Ersthelferinnen bei der Einbeziehung dieser Ärzte/Kliniken im Falle eines (vermuteten) Unfallgeschehens bekannt gemacht werden.

Diese innerbetrieblichen Regelungen und Verhaltensweisen müssen zudem in den regelmäßigen Unterweisungen vermittelt werden. Die betrieblichen Ersthelfer bzw. Ersthelferinnen sollten über die regelmäßigen Wiederholungstrainings hinaus zum Verhalten im Falle eines (vermuteten) Laserunfalls innerbetrieblich geschult werden (z. B. Kühlungsmaßnahmen am Auge).

Im Folgenden werden Empfehlungen gegeben. Der Betriebsarzt bzw. die Betriebsärztin ist zu Fragen der betrieblichen Ersten Hilfe und der Rettungskette mit einzubeziehen.

Vor Aufnahme der Tätigkeiten an LWLKS sollten geeignete Augenärzte bzw. eine Augenklinik mit guter Erreichbarkeit ermittelt (siehe DGUV Information 204-001 „Erste Hilfe“ (Plakat, DIN A2)) werden. Entscheidend für die Beurteilung/Diagnose eines Augenarztes bzw. einer Augenärztin ist die Verfügbarkeit entsprechender Diagnoseverfahren und die Erfahrung mit Laserunfällen. Unter Mitwirkung des Betriebsarztes bzw. der Betriebsärztin sollten entsprechende organisatorische Vereinbarungen und fachliche Absprachen mit diesen Einrichtungen/Ärzten für deren konsiliarische Einbeziehung im Vorfeld getroffen werden.

In der Betriebsanweisung sollten – wenn möglich – die Kontaktdaten von Ärzten und Kliniken benannt und die innerbetrieblichen organisatorischen Maßnahmen zu deren Einbeziehung im Unfallgeschehen bekannt gemacht werden. Bei LWLKS sollte dieses nach Möglichkeit für jeden Einsatzort erfolgen.

Nähere Informationen zu möglichen Wirkungen von Laserstrahlung sind in der TROS Laserstrahlung gegeben.

Anhang 1 – Abkürzungen

α	Abstrahlwinkel des Lichtwellenleiters
ALS	Automatic Laser Shutdown
ALV	Automatische Leistungsverringerung
APR	Automatic Power Reduction
APSD	Automatic Power Shutdown
Baud	Einheit der Schrittgeschwindigkeit (1 Schritt ist z. B. 1 Bit oder 1 Zeichen), Abkürzung: Bd
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplex
dBm	Pegel in Dezibel bezogen auf 1mW
DFB	Distributed Feedback Laser Diode
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing (Wellenlängenmultiplex mit hoher Dichte)
EDFA	Erbium Doped Fibre Amplifier, Erbium-dotierte Faser-Verstärker
E_{EWG}	Bestrahlungsstärke bei maximal zulässiger Expositionsstärke
EGW	Expositionsgrenzwert, maximal zulässige Werte bei Exposition der Augen oder der Haut gegenüber Laserstrahlung
η	Teil der Laserleistung, die durch eine festgelegte Messblende in einem Abstand z von der scheinbaren Quelle auftrifft in %
f	Frequenz in Hz
FIT	Failure in Time, Fehler pro 10^9 Stunden (114 155 Jahre)
FP	Fabry-Perot (Laserdiode)
HCS	Hard Clad Silica (Hartmantel Silica Faser)
LAN	Local Area Network (Lokales Übertragungsnetz)
LED	Light Emitting Diode (Licht emittierende Diode, Leuchtdiode)
LSB	Laserschutzbeauftragter
LWL	Lichtwellenleiter
LWLKS	Lichtwellenleiter-Kommunikations-System
λ	griechisches Lambda, Wellenlänge in nm
MFD	Modenfeld-Durchmesser
MMF	Multi-Mode Fibre (Mehrmoden-Faser)
NA	Numerische Apertur
NOHD	Nominal Ocular Hazard Distance (Augensicherheitsabstand)
OFCS	optical fibre communication system
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer (Rückstreuemessgerät)
Φ	Divergenz des austretenden Strahls
PMMA-POF	Polymethylmethacrylat-Plastic Optical Fibre
POF	Plastic Optical Fibre (Polymer-optische Faser)
PONs	Passive Optical Networks (Passives optisches Übertragungsnetz)
SDH	Synchronous Digital Hierarchy Systems
SMF	Single-mode fibre (Einmodenfaser, Monomode-Faser)
SONET	Synchronous optical network (transport systems)
VCSEL	Vertical cavity surface emitting laser
WDM	Wavelength-division multiplexing (Wellenlängenmultiplex)

Anhang 2 – Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser DGUV Information werden folgende Begriffe bestimmt:

Für die Zwecke dieses Dokuments gelten die Begriffe und Definitionen der TROS Laserstrahlung genauso wie die nachfolgenden Definitionen.

	Seite
A2.1 Automatische Leistungsverringerung (ALV).....	28
A2.2 Baugruppe	28
A2.3 Befähigte Person nach Betriebs- sicherheitsverordnung zur Prüfung eines LWLKS	28
A2.4 Betreibendes Unternehmen	28
A2.5 dBm	28
A2.6 Endbenutzer oder Anwender	29
A2.7 Expositionsgrenzwert (EGW)	29
A2.8 Fachkundige Person	29
A2.9 Gauß'scher Strahl	29
A2.10 Gefährungsgrade	30
A2.10.1 Gefährungsgrad 1	31
A2.10.2 Gefährungsgrad 1M	31
A2.10.3 Gefährungsgrad 2	31
A2.10.4 Gefährungsgrad 2M	31
A2.10.5 Gefährungsgrad 3R	31
A2.10.6 Gefährungsgrad 3B	31
A2.10.7 Gefährungsgrad 4	31
A2.11 GZS	32
A2.12 Hersteller	32
A2.13 Installierendes Unternehmen	32
A2.14 Instandsetzendes Unternehmen	32
A2.15 LAN.....	32
A2.16 Laserschutzbeauftragte (LSB)	33
A2.17 Laserbereich	34
A2.18 Lichtwellenleiter	34
A2.19 Lichtwellenleiter-Kommunikations- System (LWLKS)	34
A2.20 Modenfeldradius und Modenfeld- durchmesser.....	34
A2.21 NOHD – Augensicherheitsabstand	34
A2.22 NOHD – Bereich.....	35
A2.23 Numerische Apertur.....	35
A2.24 Polymer Optical Fibre (POF)	36
A2.25 Standorte.....	36
A2.25.1 Standort mit kontrolliertem Zugang, kontrollierter Standort	36
A2.25.2 Standort mit eingeschränktem Zugang, eingeschränkter Standort.....	36
A2.25.3 Standort mit uneingeschränktem Zugang, uneingeschränkter Standort	37
A2.26 Vernünftigerweise vorhersehbares Ereignis	37
A2.27 Zugängliche Stelle	37

A2.1 Automatische Leistungsverringerung (ALV)

Eine Eigenschaft eines LWLKS, durch die z. B. bei einem Bruch des Lichtwellenleiters, die zugängliche Leistung innerhalb einer vorgegebenen Zeit (1 s bzw. 3 s) auf einen vorgegebenen Wert verringert wird.

Anmerkung:

Der in dieser DGUV Information verwendete Begriff „automatische Leistungsverringerung“ (ALV) umfasst die folgenden Begriffe, die in den Empfehlungen der Internationalen Fernmeldeunion verwendet werden:

- automatische Laserabschaltung (ALA);
- automatische Leistungsverringerung (ALV);
- automatische Energieabschaltung (AEA).

A2.2 Baugruppe

Jede einzelne Einheit, Untergruppe oder Modul eines LWLKS, das einen optischen Sender oder einen optischen Verstärker enthält.

A2.3 Befähigte Person nach Betriebssicherheitsverordnung zur Prüfung eines LWLKS

LWLKS müssen nach Betriebssicherheitsverordnung geprüft werden, in der Regel bei der Inbetriebnahme, Erweiterung, Wartung oder bei einem Fehler. Die Prüfung von LWLKS wird durch speziell geschultes, unterwiesenes und befähigtes Personal durchgeführt. (siehe TRBS 1203 „Zur Prüfung befähigte Personen“)

Befähigte Person zur Prüfung eines LWLKS ist eine Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung im Umgang mit LWLKS und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Prüfung von LWLKS verfügt.

Ferner muss sie auch mit den einschlägigen staatlichen Arbeitsschutzvorschriften, Unfallverhütungsvorschriften und allgemein anerkannten Regeln der Technik vertraut sein.

Anmerkung:

Eine Schulung zum Laserschutzbeauftragten (LSB) reicht im Allgemeinen nicht aus, da hier diese speziellen Fachkenntnisse über die Tätigkeit oft nicht vermittelt werden.

A2.4 Betreibendes Unternehmen

Ein Unternehmer bzw. Unternehmerin oder Einzelperson, die für den Betrieb eines LWLKS verantwortlich ist.

A2.5 dBm

Logarithmisches Maß für optische Leistung.

P' in dBm = $10 \cdot \log(P/P_0)$, mit P in mW und $P_0 = 1\text{ mW}$ (siehe Bild A2.1)

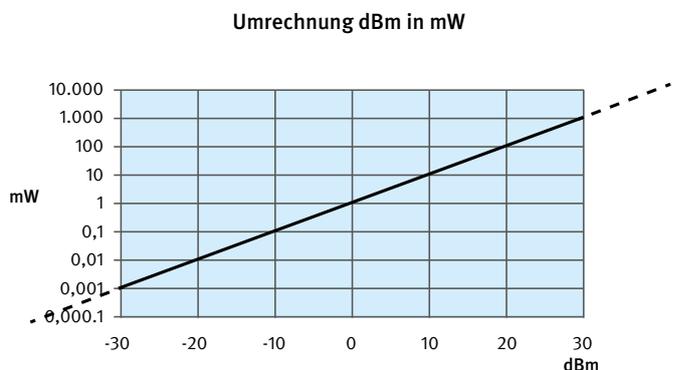


Abb. A2.1 Grafische Darstellung der Umrechnung von dBm in mW

A2.6 Endbenutzer oder Anwender

Die Person oder Organisation, die das LWLKS in der von den Herstellern (auf dem Markt Bereitstellern) vorgesehenen Weise nutzt.

Anmerkung 1:

Normalerweise besitzen die Endbenutzer keine Möglichkeit, die in einem LWLKS erzeugte und übertragene Leistung zu beeinflussen.

Anmerkung 2:

Wenn eine Person oder Organisation das LWLKS anders nutzt als von den Herstellern entwickelt, dann übernimmt diese Person oder diese Organisation die Verantwortung eines Herstellers oder einer installierenden Organisation.

A2.7 Expositionsgrenzwert (EGW)

Die Expositionsgrenzwerte nach § 2 Absatz 5 OStrV sind maximal zulässige Werte bei Exposition der Augen oder der Haut gegenüber Laserstrahlung. Diese sind im Anhang 4 Abschnitt A4.1 der TROS Laserstrahlung Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ (Ausgabe 2018) aufgeführt.



Hinweis 1

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



Hinweis 2

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



Hinweis 3

Auch bei täglichen Expositionsdauern von über 30 000 s (8 h 20 min) gilt der jeweilige Expositionsgrenzwert von 30 000 s (siehe TROS Laserstrahlung Teil 2, Anhang 4 Abschnitt A4.1, Tabellen A4.4 und A4.5, Ausgabe 2018).

A2.8 Fachkundige Person

Eine fachkundige Person hat die Fachkunde gemäß § 2 Absatz 10 der OStrV.

„Fachkundig ist, wer über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Ausübung einer in dieser Verordnung bestimmten Aufgabe verfügt. Die Anforderungen an die Fachkunde sind abhängig von der jeweiligen Art der Aufgabe. Zu den Anforderungen zählen eine entsprechende Berufsausbildung oder Berufserfahrung jeweils in Verbindung mit einer zeitnah ausgeübten einschlägigen beruflichen Tätigkeit sowie die Teilnahme an spezifischen Fortbildungsmaßnahmen.“

Weitere Erläuterungen zur Fachkunde, insbesondere für den Fall der fachkundigen Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber optischer Strahlung finden sich in den Technischen Regeln Laserstrahlung (TROS Laserstrahlung).

A2.9 Gauß'scher Strahl

Die Abstrahlung einer Einmodenfaser ist in den meisten Fällen einem Gauß'schen Strahl ähnlich, der im folgenden Bild A2.2 dargestellt ist. Charakteristika des Gauß'schen Strahls sind die nahezu parallel verlaufende Strahltaile (Strahltaillenradius r_0) und die nachfolgende Aufweitung zu einem Strahl mit konstanter Divergenz (Halbwinkel ϕ).

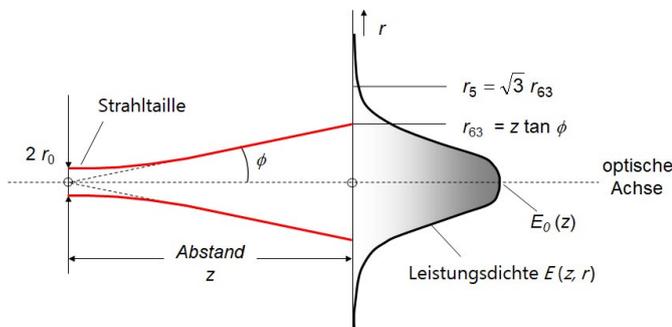


Abb. A 2.2 Gauß'scher Strahl im Querschnitt

Die Leistungsdichte $E(z, r)$ im Strahl hat die Form einer Glockenkurve und wird in jeder Entfernung z durch folgende Gleichung beschrieben:

$$E(z, r) = E_0(z) e^{-\pi(r/r_{63})^2}$$

Dabei ist z die Entfernung von der Strahltaille (auf der optischen Achse), r der radiale Abstand von der optischen Achse (im Abstand z), r_{63} der Strahlradius, an dem die Leistungsdichte E um 63 % (auf 37 %) vom Maximalwert $E_0(z)$ abgefallen ist (ebenfalls im Abstand z) und r_0 der Strahlradius an der Strahltaille, ebenfalls definiert durch den Abfall um 63 %.

Anmerkung:

r_{63} ist gleichzeitig der Strahlradius, der die Fläche definiert, die 63 % der Gesamtleistung umschließt.

Beim Gauß'schen Strahl hängt der Strahlradius wie folgt von der Entfernung von der Strahltaille ab:

$$r_{63}(z)^2 = r_0^2 + \left(\frac{\lambda z}{2\pi r_0} \right)^2$$

Für die hier in Frage kommenden Messabstände kann die Formel für den Strahlradius wie folgt vereinfacht werden:

$$r_{63}(z) = \frac{\lambda z}{2\pi r_0}$$

Man beachte, dass die numerische Apertur generell auf der Basis der 5 %-Leistungsdichte definiert ist. Beim Gauß'schen Strahl ist der Zusammenhang zwischen dem 5 %-Radius und dem 63 %-Radius gegeben durch:

$$r_5(z) = \sqrt{3} r_{63}(z)$$

Außerdem ist noch wichtig, dass bei einem Gauß'schen Strahl die maximale Leistungsdichte (auf der optischen Achse, im Abstand z) aus der insgesamt abgestrahlten Leistung berechnet werden kann:

$$E_0(z) = \frac{P_{\text{ges}}}{\pi r_{63}(z)^2}$$

Anmerkung:

Den Strahltaillenradius r_0 kann man aus dem Modenfeldradius (MFR) wie folgt berechnen:

$$r_0 = \frac{MFR}{\sqrt{2}}$$

Siehe auch \rightarrow Modenfeldradius.

A2.10 Gefährdungsgrade

Neben der Laserklasse, die ein Maß für die potentielle Schädigungsmöglichkeit durch „freie“ Laserstrahlung ist, werden speziell für die besonderen Bedingungen bei LWLKS Gefährdungsgrade zur Risikoeermittlung eingeführt, da die im LWL geführte Laserstrahlung nur unter bestimmten Umständen austritt.

Der Gefährdungsgrad beschreibt die mögliche Gefährdung an jeder zugänglichen Stelle innerhalb eines LWLKS. Der Gefährdungsgrad beruht auf dem optischen Strahlungspegel, der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen, z. B. bei einem Lichtwellenleiterbruch zugänglich werden kann.

Die Definitionen der Gefährdungsgrade entsprechen den von den Herstellern verwendeten Kennzeichnungen und Einteilung nach Gefährdungsgraden gemäß DIN EN 60825-2 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)“ und stehen in engem Zusammenhang mit der Laser-Klassifikation nach DIN EN 60825-1 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen“.

Die Schutzmaßnahmen ergeben sich jedoch nicht „automatisch“ (wie bei den Laserklassen) aus dem Gefährdungsgrad, sondern erst im Zusammenhang mit der kategorisierten Zugänglichkeit (siehe auch Punkt A2.25) des jeweiligen „Standorts“.

Ebenfalls anders als bei der Klassifizierung von Lasereinrichtungen, basiert die Zuordnung der Gefährungsgrade auf derjenigen Laserleistung, die nach einer gewissen Zeitspanne – z. B. nach dem Öffnen eines Steckverbinders – zugänglich wird. Vorhandene automatische Leistungsverringerungen werden also berücksichtigt.



Hinweis

Die folgenden Definitionen sind identisch mit den Definitionen der TROS Laserstrahlung Teil 1 und sind nicht immer identisch mit den Definitionen die die Hersteller entsprechend der jeweiligen Ausgabe der DIN EN 60825-2 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)“ vergeben haben.

A2.10.1 Gefährungsgrad 1

Gefährungsgrad 1 gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen kein menschlicher Zugang zu Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung der Laserklasse 1 für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer möglich ist.

A2.10.2 Gefährungsgrad 1M

Gefährungsgrad 1M gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen kein menschlicher Zugang zu Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung der Laserklasse 1 für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer möglich ist, wobei der Strahlungspegel mit den Messbedingungen für Laser-Einrichtungen der Laserklasse 1M gemessen wird (siehe DIN EN 60825-1:2008-05: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen).

A2.10.3 Gefährungsgrad 2

Gefährungsgrad 2 gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen keine zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Laserklasse 2 für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten wird.

A2.10.4 Gefährungsgrad 2M

Gefährungsgrad 2M gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen keine zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Laserklasse 2 für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten wird, wobei der Strahlungspegel mit den Messbedingungen für Laser-Einrichtungen der Laserklasse 2M gemessen wird (siehe DIN EN 60825-1:2008-05: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen).

A2.10.5 Gefährungsgrad 3R

Gefährungsgrad 3R gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen keine zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Laserklasse 3R für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten wird.

A2.10.6 Gefährungsgrad 3B

Gefährungsgrad 3B gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen keine zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Laserklasse 3B für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten wird.

A2.10.7 Gefährungsgrad 4

Gefährungsgrad 4 gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Laserklasse 3B für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten kann.



Hinweis

Um ein angemessenes Maß an Sicherheit für Personen zu gewährleisten, die möglicherweise mit dem optischen Übertragungspfad in Berührung kommen, ist der Gefährungsgrad 4 in der Regel nicht erlaubt. Es ist aber zulässig, Schutzsysteme zu verwenden, zum Beispiel automatische Leistungsverringerung, um den erforderlichen Gefährungsgrad zu erzielen, wobei die übertragene Leistung unter normalen Betriebsbedingungen (d. h. ohne Fehler auf der Lichtwellenleiterstrecke) die

für einen bestimmten Standort zulässige Leistung überschreitet. Zum Beispiel ist ein Gefährdungsgrad 1 für zugängliche Teile eines LWLKS möglich, obwohl die unter normalen Betriebsbedingungen im Lichtwellenleiter übertragene Leistung Laserklasse 4 ist.

A2.11 GZS

GZS (**G**renzwert **z**ugänglicher **S**trahlung, engl. AEL: accessible emission limit) ist der Maximalwerte zugänglicher Strahlung, der gemäß der jeweiligen DIN EN 60825-1 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen“ innerhalb bestimmter Laserklassen zugelassen ist. Es gilt jeweils der GZS der zum Zeitpunkt der Klassifizierung des Lasers gültige Norm.

Er kann je nach Laserklasse aus den Tabellen der jeweiligen DIN EN 60825-1 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen“ in Abhängigkeit von u. a. der Emissionsdauer und der Wellenlänge ermittelt werden und ist in Watt oder Joule angegeben. Anders als bei den Expositionsgrenzwerten (EGW) gemäß OStrV, die der situationsbezogenen Gefährdungsbeurteilung dienen, basiert die Ermittlung und die Messung dieser GZS auf einer Reihe von konservativen Randbedingungen (bzgl. Zeitbasis, Pupillenöffnung, Benutzung optischer Instrumente, minimaler Akkommodationsabstand), um die Gefährdung durch eine Laserklasse beschreiben zu können.

A2.12 Hersteller

Eine Organisation oder Einzelperson, die optische Geräte und andere Komponenten zusammenfügt, um ein LWLKS zu bauen oder zu verändern.

A2.13 Installierendes Unternehmen

Ein Unternehmen oder eine Einzelperson, die für die Installation eines LWLKS verantwortlich ist.

A2.14 Instandsetzendes Unternehmen

Ein Unternehmen oder eine Person, die für die Instandsetzung eines LWLKS verantwortlich ist.

A2.15 LAN

Englisch: Local area network; Kommunikationsnetzwerk, bestehend aus Sendern, Verstärkern, Empfängern und Datenleitungen mit begrenzter Ausdehnung meist innerhalb eines Gebäudes oder eines Unternehmens.

Die strukturierte Verkabelung ist ein Konzept für die Verkabelung mit anwendungsneutralen Kommunikationskabeln in und zwischen Gebäuden. Für die strukturierte Verkabelung gibt es die Europäische Normenreihe EN 50173 und international die ähnliche Normenreihe ISO/IEC 11801.

Die DIN EN 50173 „Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen“ ist eine sechsteilige Normenserie, deren einzelne Teile sich mit verschiedenen Anwendungsfällen befassen:

- DIN EN 50173-1: Allgemeine Anforderungen
- DIN EN 50173-2: Bürobereiche
- DIN EN 50173-3: Industriell genutzte Bereiche
- DIN EN 50173-4: Wohnungen
- DIN EN 50173-5: Rechenzentrumsbereiche
- DIN EN 50173-6: Verteilte Gebäudedienste

In DIN EN 50173-1:2018-10 „Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen“ Anhang F.3 sind die unterstützten Netzanwendungen für Lichtwellenleiterverkabelung tabellarisch mit Leitungslängen und optischen Parametern aufgeführt. Daraus ergibt sich u. a. die optische Leistung der Sender.

Anmerkung:

Auch bei komplexen LAN-Systemen mit kurzer Reichweite (Größenordnung einige 100 m) wird meist nur mit (kostengünstigen) MM-LWLKS basierend auf VCSEL und teilweise Infrarot-LED gearbeitet. Die nominelle Wellenlänge von LEDs kann eine wesentlich größere spektrale Bandbreite haben oder bis in den sichtbaren Spektralbereich emittieren. Aus geöffneten LWLKS-Steckverbindern oder optischen Ports ist dann unter Umständen ein schwaches rotes Leuchten wahrnehmbar, dass zwar eine gewisse Aufmerksamkeit erregt, aber keinerlei Gefährdung bei Betrachtung ohne optische Instrumente darstellt.

A2.16 Laserschutzbeauftragte (LSB)

Der LSB besitzt die notwendigen Erfahrungen und Fachkenntnisse zur Wahrnehmung seiner Aufgaben gemäß § 5 Absatz 2 der OStrV. Die konkreten Anforderungen an diese Erfahrungen und Fachkenntnisse hängen von der Anwendung und Komplexität der Laser-Einrichtung ab, für die er bestellt wird. Der LSB hat bereits eine praktische berufliche Tätigkeit ausgeübt.



Hinweis

Der LSB kann über die genannten Anforderungen hinaus zusätzlich nach § 2 Absatz 10 der OStrV fachkundig sein, vgl. auch Abschnitt 3.5 des Teils 1 der TROS Laserstrahlung.

Der LSB hat an einem entsprechenden Lehrgang teilgenommen, die Abschlussprüfung bestanden und besitzt einen Nachweis über die erfolgreiche Teilnahme. Er hält seine Fachkenntnisse durch regelmäßige Teilnahme an spezifischen Fortbildungsmaßnahmen auf aktuellem Stand.



Hinweis

Die zeitlichen Abstände zwischen den Fortbildungsmaßnahmen hängen davon ab, inwieweit sich der Stand der Technik im Hinblick auf die eingesetzten Laserprodukte oder die Vorschriften weiterentwickelt haben. Grundsätzlich wird eine eintägige Fortbildung in einem Zeitraum von fünf Jahren als angemessen erachtet.

Der LSB ist schriftlich zu bestellen. Mit der Bestellung überträgt der Arbeitgeber oder die Arbeitgeberin ihm konkrete Aufgaben, Befugnisse (z. B. zur Abschaltung der Laseranlage bei festgestellten Mängeln) und Pflichten im Hinblick auf den Schutz vor Laserstrahlung. Sind mehrere LSB bestellt, sind durch den Arbeitgeber bzw. Arbeitgeberin die Zuständigkeitsbereiche (z. B. zeitlich/räumlich) der einzelnen LSB klar abzugrenzen. Die Verantwortung für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und für

die Durchführung von Schutzmaßnahmen verbleibt beim Arbeitgeber bzw. Arbeitgeberin.

An Arbeitsplätzen mit Laser-Einrichtungen der Laserklasse 3R, 3B oder 4 unterstützt der LSB durch seine Fachkenntnisse den Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung sowie bei der Festlegung und Durchführung von Schutzmaßnahmen. Der LSB unterstützt den Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin bei der Überwachung des sicheren Betriebs der in seinem Zuständigkeitsbereich vorhandenen Laser-Einrichtungen durch regelmäßige Kontrollen der Schutzmaßnahmen. Art, Umfang und Häufigkeit der Kontrollen sowie die eventuelle Notwendigkeit einer dauerhaften Anwesenheit legt der Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin in Abstimmung mit dem LSB in Abhängigkeit vom Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung fest. Stellt der LSB Abweichungen vom sicheren Betrieb fest, hat er den Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin zu informieren und auf die Durchsetzung der erforderlichen Maßnahmen zum sicheren Betrieb hinzuwirken. Bei unmittelbarer Gefahr ist gemäß § 9 Absatz 2 Satz 2 ArbSchG zu handeln.

Der LSB arbeitet mit der Fachkraft für Arbeitssicherheit und dem Betriebsarzt bzw. der Betriebsärztin zusammen.

Der LSB kennt ggf. entsprechend der Tätigkeit bzw. eingeschränkt auf den entsprechenden Anwendungsbereich

- die grundlegenden Regelwerke des Arbeitsschutzes (ArbSchG, OStrV, Unfallverhütungsvorschriften, Technische Regeln, Normen und ggf. spezielle Regelungen zum Laserschutz),
- die Kenngrößen der Laserstrahlung,
- die direkten Gefährdungen (direkte und reflektierte Laserstrahlung) und deren unmittelbare biologische Wirkungen sowie die indirekten Gefährdungen (vorübergehende Blendung, Brand- und Explosionsgefährdung, Lärm, elektrische Gefährdung) bei Arbeitsplätzen mit Anwendung von Laserstrahlung,
- die grundlegenden Anforderungen an eine Gefährdungsbeurteilung,
- die Gefährdungsbeurteilungen für die Arbeitsplätze, für die er als LSB benannt ist,
- die Schutzmaßnahmen (technische, organisatorische und persönliche),

- seine Rechte und Pflichten als LSB,
- die Laserklassen gemäß der jeweiligen DIN EN 60825-1 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen“,
- die Bedeutung der Expositionsgrenzwerte der OStrV,
- die Inhalte der Unterweisung nach § 8 OStrV sowie
- den Ablauf des sicheren Betriebs der Laser-Einrichtungen, für die er bestellt ist und weiß, wie dieser zu überwachen ist.

Im Rahmen seiner Tätigkeit unterstützt der LSB den Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin bei der Unterweisung der Beschäftigten.



Hinweis

Die Aufgaben des und die Anforderungen an den Fachkundigen für die Gefährdungsbeurteilung sowie für Messung/Berechnung sind im Abschnitt 3.5 des Teils 1 der TROS Laserstrahlung (Stand 2018) beschrieben. Es ist möglich, dass die Funktionen des Fachkundigen für die Gefährdungsbeurteilung und des LSB von ein und derselben Person wahrgenommen werden.

A2.17 Laserbereich

Der Laserbereich ist der Bereich, in welchem die Expositionsgrenzwerte überschritten werden können.

Anmerkung:

Der Laserbereich wird in der Gefährdungsbeurteilung festgelegt. Hier wird in der Regel nicht der NOHD-Bereich (siehe Definition A2.22) festgelegt, sondern ein geeigneter größerer Bereich z. B. der ganze Wartungsraum.

A2.18 Lichtwellenleiter

Der Begriff Lichtwellenleiter ist in der DIN VDE V 0888-100-1-1:2017-10 „Lichtwellenleiterkabel – Teil 100-1-1: Fachgrundspezifikation – Allgemeines – Kennzeichnung, Transport und Lagerung“ genormt und definiert einen Leiter, in dem moduliertes Licht übertragen wird. Der Lichtwellenleiter kann aus Glasfaser oder Kunststoff bestehen. Näheres siehe Anhang 3, Pkt. A3.3.

A2.19 Lichtwellenleiter-Kommunikations-System (LWLKS)

Ein fertig konstruiertes, durchgehendes System zur Erzeugung, Übertragung und zum Empfang von optischer Strahlung aus Lasern, LED oder optischen Verstärkern, in der die Übertragung durch Lichtwellenleiter für Kommunikations- oder Steuerungszwecke geschieht.

A2.20 Modenfeldradius und Modenfelddurchmesser

Für Sicherheitsbetrachtungen darf man bei Einmodenfaseren davon ausgehen, dass die Abstrahlung am Faserende einem Gauß'schen Strahl sehr ähnlich ist. Das Faserende entspricht der Strahltaille des Gauß'schen Strahls. Der Strahlquerschnitt an dieser Stelle wird üblicherweise durch den Modenfeldradius MFR charakterisiert, wobei der Modenfelddurchmesser MFD gleich $2 \times \text{MFR}$ ist. Der Modenfeldradius wird üblicherweise dadurch definiert, dass beim Radius $r = \text{MFR}$ die Leistungsdichte auf $1/e^2$ vom Maximum abgefallen ist.

Eine Definition des Modenfelddurchmessers, die die Annahme einer Gaußverteilung nicht benötigt, ist in ITU-T G.650.2 angegeben.

A2.21 NOHD – Augensicherheitsabstand

Unter dem Augensicherheitsabstand NOHD (englisch: Nominal Ocular Hazard Distance) versteht man die Entfernung, bei der die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung gleich dem entsprechenden Expositionsgrenzwert der Hornhaut des Auges ist. Schließt man beim Augensicherheitsabstand auch die Möglichkeit der Betrachtung mit optischen Hilfsmitteln ein, so wird vom erweiterten Augensicherheitsabstand (ENOHD) gesprochen.

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

A2.22 NOHD – Bereich

Der NOHD-Bereich ist ein Bereich, in dem die Expositionsgrenzwerte für die Augen überschritten werden.

Anmerkung:

Der NOHD-Bereich definiert den Raum zwischen dem Faserausgang und der durch den NOHD-Abstand (bzw. Abstände) gegebenen Grenzfläche.

Gemeint ist der kleinste „Laserbereich“, z. B. NOHD = 0,5 m. Nur in diesem Bereich < 0,5 m wird der Expositionsgrenzwert überschritten.

In der Regel wird ein größerer Bereich als Laserbereich festgelegt, z. B. der ganze Raum oder 3 m um die Quelle.

A2.23 Numerische Apertur

Mit dem Brechungsgesetz an der Stirnfläche und dem Grenzwinkel der Totalreflexion in der Faser ergibt sich ein maximaler Einstrahlwinkel ϕ_{\max} , bei dem die Lichtstrahlen im Kern geführt werden können. Dieser Winkel wird als Akzeptanzwinkel θ bezeichnet.

Unter der numerischen Apertur NA versteht man den Sinus des maximalen Akzeptanzwinkels θ . Je größer die NA, desto mehr Leistung kann in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt werden. Für MM-Stufenindexfasern gilt:

$$NA_{MM} = n_0 \cdot \sin \theta = n_0 \cdot \sqrt{n_K^2 - n_M^2}$$

wobei:

- n_K = Brechzahl des Lichtwellenleiterkerns
(bei Gradientenfasern die Brechzahl in der Mitte des Lichtwellenleiterkerns)
- n_M = Brechzahl des Lichtwellenleitermantels
- n_0 = Brechzahl der Luft (außerhalb der Faser)
- θ_{\max} = maximaler Akzeptanzwinkel ϕ_{\max}

Typische Werte liegen im Bereich von 0,1 bis 0,5.

Für diese DGUV Information wichtiger als der Akzeptanzwinkel eines Lichtwellenleiters ist der maximale Austrittswinkel der Strahlung. Dieser ist theoretisch gleich dem eingangsseitigen Akzeptanzwinkel. Ausgangsseitig ist die NA definiert als der Sinus des halben Winkels, bei dem bei voller eingangsseitiger Anregung und relativ kurzer Faserlänge die Leistungsdichte der Abstrahlung auf 5 % des Maximums abgefallen ist.

Ein Sonderfall ist die Einmodenfaser, bei der die Abstrahlung durch die Beugung am Faseraustritt dominiert wird. In guter Näherung entsteht ein Gauß'scher Strahl.

Die numerische Apertur von Einmodenfasern, d. h. der Sinus des 5 % Winkels der Abstrahlung, ergibt sich aus dem Modenfeldradius MFR mittels:

$$NA_{SM} = \frac{0,39 \cdot \lambda}{MFR}$$

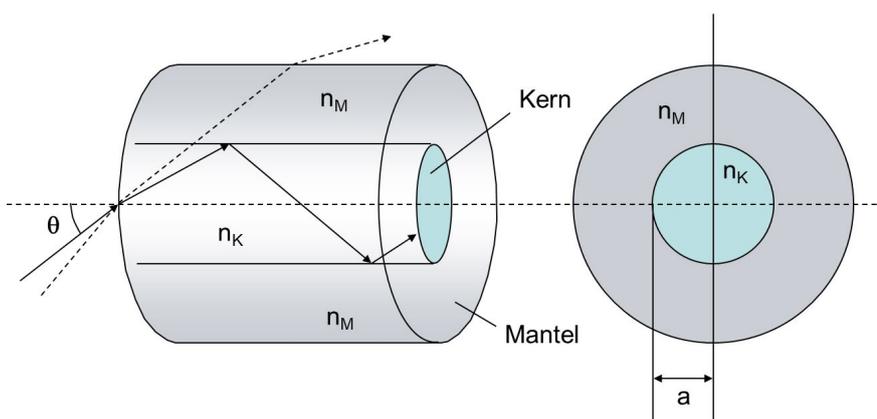


Bild A2.3 Ausbreitung von Lichtstrahlen durch Totalreflexion in einer Lichtwellenleiter

Bei Einmodenfasern kann man die maximale Leistungsdichte (auf der Strahlachse) wie folgt aus der insgesamt abgestrahlten Leistung P berechnen:

$$E_{\max} = \frac{P}{1,05 \cdot NA_{SM}^2 \cdot z^2}$$

Dabei ist z der Abstand vom Faserende (auf der Strahlachse gemessen). Bei der Standard-Einmodenfaser (nach ITU-T G.652) gilt $NA = 0,1$ als typischer Wert.

A2.24 Polymer Optical Fibre (POF)

Die optische Polymerfaser (POF) ist eine reine Plastikfaser, die aus einem transparenten Kern und einem Mantel besteht, der einen geringeren Brechungsindex aufweist als das Kernmaterial. Als Kernmaterial werden Polymere wie Polymethylmethacrylat oder Polycarbonat eingesetzt. Gegenüber der Glaserfaser hat die POF wesentlich höhere Dämpfungswerte. Die Polymerfaser arbeitet mit sichtbarem Licht bei Wellenlängen von 520 nm (grün), 560 nm (gelb) und 650 nm (rot), wobei meistens das optische Fenster bei der längsten Wellenlänge benutzt wird.

A2.25 Standorte

Bei der Übersetzung des englischen Originals „location“ wurde in der deutschen Norm der Begriff „Standort“ gewählt. Dies und die folgenden Beispiele legen nahe, dass mit den einzelnen Standorttypen lediglich unterschiedlich zugängliche (begehbare) Räume gemeint sein könnten. Dies ist nicht der Fall.

Der Typ eines Standorts wird ausschließlich durch den Grad der lokal realisierten technischen und organisatorischen Maßnahmen oder vorgefundenen Gegebenheiten bestimmt, die seine Zugänglichkeit entsprechend der drei Kategorien, wie sie in den Abschnitten A2.25.1 bis A2.25.3 definiert sind, festlegen.

Im Einzelfall kann sich also der Standorttyp z. B. auch innerhalb eines Raumes oder auch eines Systemschranks ändern. Im Folgenden sind Beispiele für diese Standorttypen aufgeführt (siehe Abschnitte A2.25.1 bis A2.25.3).

A2.25.1 Standort mit kontrolliertem Zugang, kontrollierter Standort

Ein Standort, bei dem der Zugang nur für befugte Personen mit einer ausreichenden Lasersicherheitsunterweisung möglich ist.

Dies kann durch technische oder organisatorische Maßnahmen realisiert werden.

Typische Standorte mit kontrolliertem Zugang sind:

- Kabelkanäle
- Kabelverzweigergehäuse auf Straßen
- ausgewiesene und abgegrenzte Bereiche von Verteilern
- Prüfräume auf Kabelverlegeschiffen

Anmerkung:

Wo der Zugang zu Kabelkanälen und Kabelverzweigergehäusen auf Straßen bei Instandsetzungsarbeiten dazu führen könnte, dass die Öffentlichkeit einer Strahlung oberhalb der Grenzwerte zugänglicher Strahlung der Laserklasse 1 ausgesetzt wird, sollen geeignete Einhausungen (z. B. Baracke, Bauzelt) bereitgestellt werden.

A2.25.2 Standort mit eingeschränktem Zugang, eingeschränkter Standort

Ein Standort, bei dem der Zugang für die Öffentlichkeit durch organisatorische oder konstruktive Maßnahmen verhindert wird, bei dem aber der Zugang durch befugte Personen möglich ist, die unter Umständen nicht in Lasersicherheit unterwiesen wurden.

Dies können z. B. Bereiche in Firmen sein, in denen LWLKS betrieben werden.

Typische Standorte mit eingeschränktem Zugang sind:

- gesicherte Bereiche auf Industriegeländen, die für die Öffentlichkeit nicht zugänglich sind
- gesicherte Bereiche in Gewerbegebieten/Firmengeländen, die für die Öffentlichkeit nicht zugänglich sind (zum Beispiel Räume mit Telefon-Nebenstellenanlagen, Räume mit Computersystemen usw.)
- gewöhnliche Bereiche in Fernmeldezentralen
- abgegrenzte Bereiche in Zügen, auf Schiffen und auf anderen Fahrzeugen, die für die Öffentlichkeit nicht zugänglich sind.

A2.25.3 Standort mit uneingeschränktem Zugang, uneingeschränkter Standort

Ein Standort, bei dem der Zugang zum LWLKS und zum offenen Strahl für jeden, auch für nicht unterwiesene Personen möglich ist.

Typische Standorte mit uneingeschränktem Zugang sind:

- Privatgelände (uneingeschränkter Zugang durch Laien möglich)
- Dienstleistungsbetriebe, die für die Öffentlichkeit zugänglich sind (z. B. Geschäfte und Hotels)
- öffentliche Bereiche in Zügen, auf Schiffen oder anderen Fahrzeugen
- öffentliche Bereiche wie Parks, Straßen usw.
- ungesicherte Bereiche innerhalb von Gewerbe-, Industrie- und Firmengeländen, wo öffentlicher Zugang erlaubt ist, wie zum Beispiel manche Bürobereiche.

Lichtwellenleiternetze können sowohl durch öffentlich zugängliche Bereiche führen (zum Beispiel durch Wohnungen), durch Bereiche mit eingeschränktem Zugang innerhalb von Industriegeländen, als auch durch kontrollierte Bereiche wie Kabelkanäle und Kabelverzweigergehäuse auf Straßen.

A2.26 Vernünftigerweise vorhersehbares Ereignis

Ein Ereignis, dessen Auftreten unter bestimmten Voraussetzungen ziemlich sicher vorhergesagt werden kann und dessen Eintrittswahrscheinlichkeit nicht klein ist.

Anmerkung:

Beispiele für vernünftigerweise vorhersehbare Ereignisse könnten einschließen:

- *Bruch des Lichtwellenleiters,*
- *Öffnen des Steckverbinders,*
- *Irrtum oder Nichtbeachten der Sicherheitsrichtlinien durch den Betreiber.*

Rücksichtsloser Umgang oder Verwendung für völlig ungeeignete Zwecke gehören nicht zu den vernünftigerweise vorhersehbaren Ereignissen.

A2.27 Zugängliche Stelle

Jeder Teil oder Bereich eines LWLKS, zu dem unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen Zugang zu Laserstrahlung ohne Benutzung eines Werkzeugs möglich ist.

Anhang 3 – Beispiele für Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systeme und deren Sendeelemente in verschiedenen Wellenlängenbereichen

A3.1 Wellenlängenbereiche

520 nm bis 670 nm:

Sendeelemente für Polymer-optische Fasern sind hauptsächlich LEDs im sichtbaren Wellenlängenbereich da die kleinsten Dämpfungen bei 520 nm (grün), 560 nm (gelb) und 650 nm (rot) erreicht werden. Meistens wird das optische Fenster im roten Wellenlängenbereich benutzt.

Beispiele für Systeme mit POF in der Datenkommunikation sind:

- Ethernet (100 MBaud über 50 m)
- ATM (155 MBd über 50 m)
- IEEE1394b (100 MBd über 70 m, 400 MBd über 100 m)

Die hier verwendeten Sender fallen meistens in die Laserklasse 1, 2 oder 2M.

844 nm bis 948 nm:

In diesem Wellenlängenbereich wird üblicherweise auf Multimode-Fasern der Kategorie OM3, 4 oder 5 übertragen. Die verwendeten Laser sind mehrmodige Laser vom Typ VCSEL (vertical cavity surface emitting laser). Die nominelle Wellenlänge beträgt 850 nm. Beim Einsatz von SWDM (Short Wavelength Division Multiplexing) koppeln 4 VCSEL im Kanalabstand von 30 nm im Bereich von 850 nm bis 940 nm ein.

Beispiele für Übertragungsprotokolle sind:

- Ethernet,
- Fibre Channel,
- Infiniband

980 nm:

Pumplaser für optische Faserverstärker (EDFA, Erbium doped fibre amplifier) oder Faser-Laser emittieren bei 980 nm im Gleichlichtbetrieb. Diese werden nur im Zusammenhang mit einer Datenübertragung bei 1550 nm verwendet.

Pumplaser bei 980 nm emittieren meistens Leistungen, die in die Laserklasse 3B fallen.

1260 nm bis 1380 nm:

In diesem Wellenlängenbereich gibt es sowohl Systeme auf Multimode-Fasern als auch auf Einmodenfasern. Es kommen sowohl mehrmodige Laser (FP-Laser) als auch einmodige Laser (DFB-Laser, distributed feedback laser) als Sender zum Einsatz.

Beispiele für Anwendungen über kürzere Strecken sind lokale Netze (DIN EN 50173-x) in Gebäuden, zwischen Gebäuden, Industrieanlagen und Flughäfen. Im Telekommunikationsbereich sind das Zugangsnetze für Private- (FTTH) und Geschäftsanschlüsse, Anbindung an Mobilfunkstationen und Anlagen z. B. der kommunalen Versorgungsbetriebe (Energie, Wasser, Abwasser usw.)

Die Sender für diese Übertragungssysteme fallen meistens in Laserklasse 1 oder 1M.

1440 nm bis 1530 nm (S-Band):

Pumplaser für Raman-Verstärker werden im Bereich von 1440 nm bis 1510 nm eingesetzt. Diese fallen meist in die Laserklasse 3B oder 4.

Optische Überwachungskanäle, die bei einer Wellenlänge unterhalb des Übertragungsbereichs von 1550 nm Systemen liegen, fallen ebenfalls in diesen Wellenlängenbereich. Die verwendeten Sender werden im Allgemeinen mit einer Leistung bis zur Laserklasse 3B betrieben.

CWDM-Systeme (coarse wavelength division multiplex) mit bis zu 16 Wellenlängen im Abstand von 20 nm reichen vom üblichen Wellenlängenbereich um 1550 nm bis in dieses Wellenlängenfenster hinein. Die Sender für CWDM-Systeme fallen einzeln meist in die Laserklasse 1, aber alle Kanäle zusammen können bis in die Laserklasse 3B fallen.

1480 nm:

Eine zweite Variante von Pumplasern für optische Faserverstärker (EDFA) liegt bei einer Wellenlänge von 1480 nm. Diese werden ebenso wie die Pumplaser bei 980 nm nur im Zusammenhang mit einer Datenübertragung bei 1550 nm verwendet. Diese Pumplaser fallen meist in die Laserklasse 3B.

1530 nm bis 1565 nm (C-Band):

Im Wellenlängenbereich um 1550 nm wird nur auf Einmodenfasern übertragen. Es kommen einmodige Laser (DFB-Laser) oder extern modulierte Laser (EML: elektroabsorption modulated laser, MZM: Mach-Zehnder-Modulator) zum Einsatz für hochbitratige Übertragungssysteme und lange Strecken.

Bei den Systemen kann man zwischen Ein-Kanal-Systemen und Wellenlängen-Multiplex-Systemen (WDM-Systeme: CWDM, DWDM) unterscheiden. Für lange Strecken

(mehr als 100 km) werden optische Verstärker eingesetzt, so dass hier Leistungen in der Faser auftreten können, die in die Laserklasse 3B oder 4 fallen.

1565 nm bis 1625 nm (L-Band):

Im Bereich von 1565 nm bis 1625 nm arbeiten Wellenlängen-Multiplex-Systeme (WDM-Systeme) für sehr lange Strecken (mehrere hundert Kilometer), die optische Verstärker verwenden. Es kommen sowohl EDFA-Verstärker als auch Raman-Verstärker zum Einsatz. Wie auch bei Systemen, die im sog. „C-Band“ arbeiten, treten hier Leistungen in der Faser auf, die in Laserklasse 3B oder 4 fallen. Es können auch beide Arten optischer Verstärker in derselben Übertragungsstrecke vorkommen. Die höchsten Leistungen werden derzeit mit Raman-Verstärkern erzielt.

Beispiele für Anwendungen der Laser-Wellenlängen im C- und L-Band sind Backbone-Verbindungen zwischen Netzknoten, Anbindung der Rechenzentren, Glasfaserstrecken entlang von Bahngleisen, Schifffahrtswegen, Hochspannungsleitungen, Pipelines usw.

A3.2 Optische Verstärker

A3.2.1 EDFA-Verstärker (Erbium doped fibre amplifier)

Ein EDFA-Verstärker ist eine Komponente zur Verstärkung von Lichtsignalen. Das Kernelement des Verstärkers ist eine mit dem Element Erbium dotierte Glasfaser, die sich wie ein Laser verhält. Sie wird durch Pumplicht bei 980 nm oder 1480 nm angeregt und verstärkt dann Signale im 1550 nm Band. EDFAs sind breitbandige optische Verstärker, die im Wellenlängenbereich von 1530 nm bis 1565 nm oder 1565 nm bis 1625 nm arbeiten. Sie finden weite Verbreitung in WDM-Systemen, werden aber auch eingesetzt um in einem Ein-Kanal-Systemen die zu überbrückende Lichtwellenleiterstreckenlänge zu vergrößern.

Bei einem kompletten EDFA-Verstärker ist die Pumpwellenlänge normalerweise nicht zugänglich, sondern am Ausgang nur die im Bereich um 1550 nm oder 1600 nm verstärkte Signalleistung, die am Eingang eingespeist wurde. Diese verstärkte Signalleistung fällt bis in die Laserklasse 3B.

A3.2.2 Raman-Verstärker

Ein Raman-Verstärker ist ein optischer Verstärker, der den so genannten Raman-Effekt ausnutzt, einen nichtlinearen Effekt in optischen Glasfasern. Es wird

Pumplicht mit sehr hoher Leistung (bis zu 1,5 W) in die Faser eingekoppelt und damit das optische Signal bei einer Wellenlänge, die etwa 100 nm oberhalb des Pumplichtes liegt, verstärkt. Raman-Verstärker arbeiten sowohl im „C-Band“ als auch im „L-Band“. Einen breitbandigen Verstärker erzielt man, indem man Pumpquellen bei verschiedenen Wellenlängen unterhalb des Signalbandes überlagert.

Typischerweise wird als Verstärkungsmedium die Übertragungsfaser verwendet, sodass ein verteilter Raman-Verstärker entsteht. Benutzt man eine eigene Faserspule für die Raman-Verstärkung im Endgerät oder Regenerator, erhält man einen „konzentrierten“ Raman-Verstärker.

Die Ausgangsleistung eines Raman-Verstärkers und auch die verstärkte Signalleistung fallen meist in die Laserklasse 3B oder 4.

A3.3 Erläuterungen zu Lichtwellenleiter

Lichtwellenleiter (LWL) sind meistens Glasfasern (außer POF) und ähnlich wie Koaxialkabel aufgebaut. Die Glasfaser besteht aus einem Kern und einem Mantel mit anderen optischen Eigenschaften (einem kleineren Brechungsindex im Mantel), vgl. auch Anhang 2, Pkt. 2.23, numerische Apertur. Die in den Lichtwellenleiter eingekoppelten Lichtstrahlen werden beim Auftreffen auf die Grenzschicht zwischen Kern und Mantel in den Kern total reflektiert. Bei stumpferen Auftreffwinkeln auf die Grenzschicht kann es auch zu einer Brechung des Strahls in den Mantel hineinkommen. Dies ist z. B. bei sehr kleinen Biegeradien der Faser der Fall und führt zu höheren Transportverlusten (Dämpfung) bis hin zum Strahlaustritt.

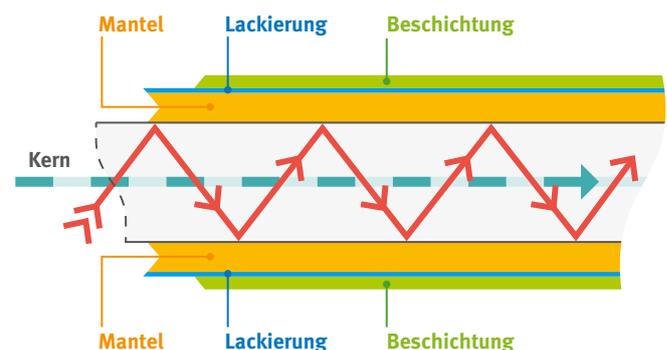


Abb. A3.1 Lichtstrahlführung in einem Lichtwellenleiter

Die Glasfaser wird von einer Primärbeschichtung umgeben, die zum Schutz vor mechanischen und optischen Einflüssen dient und meist aus einem Kunststoffmaterial besteht. Insbesondere für die Verlegung als Kabel werden die Lichtwellenleiter mit weiteren Schutzhüllen umgeben, von denen jede eine spezielle Funktion ausübt.

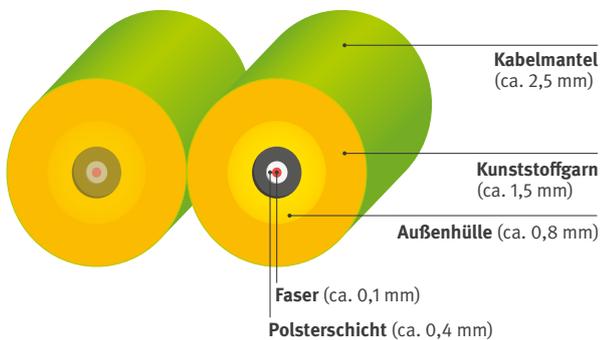


Abb. A3.2 Aufbau eines Glasfaserkabels

Die übertragbaren Bandbreiten und überbrückbaren Streckenlängen werden wesentlich durch die Dämpfung und die Dispersion des Lichtwellenleiters mitbestimmt. Ursache für die Dämpfung sind vorwiegend Streuung, Absorption im LWL und Verluste in Steck- und Spleißverbindungen. Die Dämpfung ist vom Fasertyp und von der Wellenlänge abhängig und wird in Dezibel [dB] angegeben: Eine Dämpfung von 3 dB entspricht einer Halbierung der Lichtleistung.

Glasfaserdämpfung und faseroptische Wellenlängen

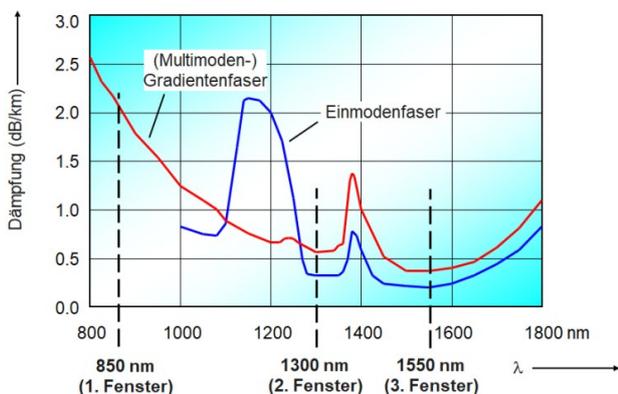


Abb. A3.3 Dämpfungsverlauf bei Glasfasern für LWL

Die chromatische Dispersion ist eine Eigenschaft des Lichtwellenleiters, die zu einer Laufzeitstreuung führt. Sie entsteht dadurch, dass die Sendeelemente eine endliche spektrale Bandbreite aufweisen und die Brechzahl des Lichtwellenleiters wellenlängenabhängig ist. Dieser Effekt

führt zu einer Pulsverbreiterung, die die Bandbreite und die Bitrate der Übertragung je nach Fasertyp begrenzt.

A3.3.1 Einmodenfaser (Single-mode fibre, SMF)

Einmodenfasern haben einen sehr kleinen Kerndurchmesser (im Bereich von 10 μm), der bewirkt, dass nur eine Mode (der Grundmode) geführt wird. Es gibt verschiedene Typen von Einmodenfasern, die sich in ihren Eigenschaften bzgl. der Dispersion unterscheiden. Einmodenfasern ITU G.652 C/D haben typischerweise eine Dämpfung von 0,4 dB/km bei 1310 nm bzw. 0,3 dB/km bei 1550 nm.

- Standard-Einmodenfaser (ITU-T G.652)
- Dispersionsverschobene Einmodenfaser (ITU-T G.653, ITU-T G.655)
- Einmodenfasern nach ITU-T G.654

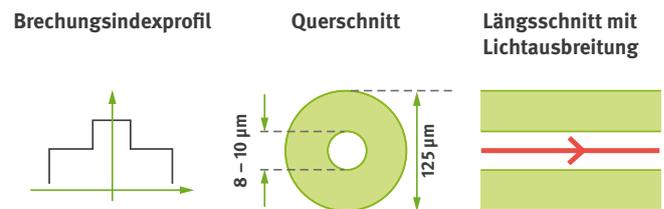


Abb. A3.4 Brechzahlprofil der Einmodenfaser

A3.3.2 Mehrmodenfaser (Multi-mode fibre, MMF)

In Mehrmodenfasern sind mehrere Moden ausbreitungsfähig, was zu einer Modendispersion mit entsprechender Pulsverbreiterung und damit zu einer Bandbreitenbegrenzung führt.

A3.3.2.1 Gradientenindex-Faser

Die Gradientenindex-Faser (siehe auch ITU-T G.651, OM3/4/5) hat einen gradientenförmigen Verlauf des Kern-Brechungsindex, wodurch Laufzeitunterschiede der einzelnen Moden weitgehend kompensiert werden. Verglichen mit der Einmodenfaser ist die Bandbreite jedoch geringer und die Dämpfung höher. Der Kerndurchmesser beträgt 50 μm oder 62,5 μm . Die Dämpfung liegt typischerweise bei 3,5 dB/km bei 850 nm und 0,6 dB/km bei 1300 nm.

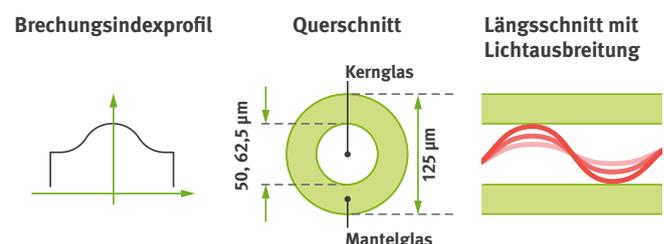


Abb. A3.5 Brechzahlprofil der Gradientenindex-Faser

A3.3.2.2 Stufenindex-Faser

Die Stufenindex-Faser hat ein stufenförmiges Brechzahlprofil. Der Kerndurchmesser ist wesentlich größer als bei der Einmodenfaser (im Bereich von 50 µm bis 200 µm). Die Übertragung wird begrenzt durch die hohe Dispersion (geringe Basisbandbreite und Bitrate) und hohe Dämpfung auf kurzen Strecken. Die Stufenindex-Faser hat eine Dämpfung von 5 – 12 dB/km bei 850 nm.

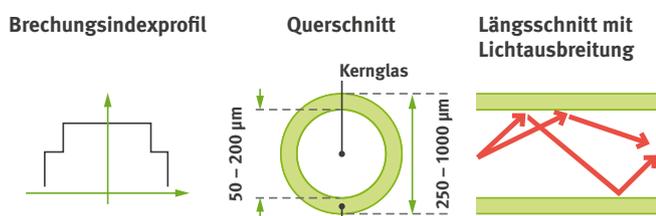


Abb. A3.6 Brechzahlprofil der Stufenindex-Faser

A3.3.3 Polymer-Optische Faser (POF)

Ein Kern aus PMMA (Polymethylmethacrylat) mit einem Durchmesser von 1 mm ist von einem dünnen Mantel (10 µm) aus fluoriertem Polymer umgeben. Durch Totalreflexion wird das Licht im Kern geführt. Die POF ist eine Mehrmoden-Faser, die mit verschiedenen Brechzahlprofilen hergestellt wird (Stufenindex-Profil, Doppel-Stufenindex-Profil, Multi-Stufenindex-Profil, Multi-Kern-Profil, Gradienten-Index-Profil). Wie bei anderen Mehrmodenfasern auch kommt es durch die Modendispersion (unterschiedliche Laufzeit verschiedener Lichtstrahlen) zu einer Pulsverbreiterung, sodass die möglichen Bitraten auf etwa 100 Mbit/s über 100 m beschränkt sind. Gegenüber der Glasfaser hat die POF wesentlich höhere Dämpfungswerte.

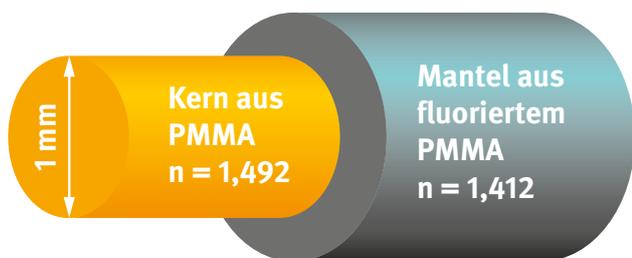


Abb. A3.7 Brechzahl der Polymer-Optischen-Faser (Quelle: POF-AC)

Bei den polymeren optischen Fasern gibt es neben den rein polymeren Fasern hybride Fasern, die eine Kombination aus Glasfaser und Plastikummantelung enthalten, wie die Plastic Cladding Silica Fibre (PCF).

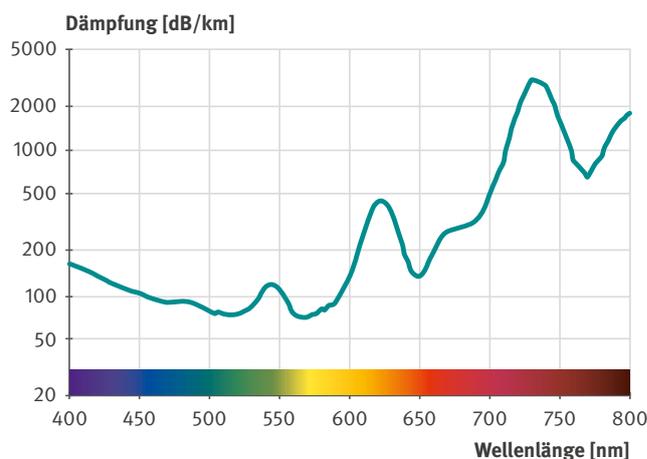


Abb. A3.8 Dämpfungsverlauf der Polymer-Optischen-Faser (Quelle: POF-AC)

Polymerfasern werden für Kurzstreckenübertragungen z. B. in Kraftfahrzeugen und Flugzeugen, der Unterhaltungselektronik, auf Rechnerplatinen oder in der Gebäudeautomation eingesetzt.

A3.3.4 Verbindung von Lichtwellenleitern

Lichtwellenleiter können mittels lösbarer Steckverbindungen (siehe Tabelle A3.1) oder dauerhaft durch Spleiße miteinander verbunden werden. Spleiße werden bevorzugt beim Aufbau von LWLKS-Netzen verwendet, Steckverbindungen kommen beim Anschluss so genannter Leitungsendgeräte (optische Sender/Empfänger) und Zwischenregeneratoren zum Einsatz. Zwischenregeneratoren regenerieren die optischen Signale auf längeren Übertragungsstrecken.

A3.3.4.1 Optische Steckverbinder

Bei einer optischen Steckverbindung kommt es darauf an, dass die Steckerstirnflächen präzise zueinander ausgerichtet und sauber sind, damit die Steckerstirnflächen beim Verbinden ohne störenden Luftspalt aufeinandergepresst werden können. Daneben ist für eine verlustarme Verbindung eine exakte Justierung der beiden Faserkerne erforderlich, was mit Hilfe einer Präzisionshülse im Steckeradapter geschieht. Optische Steckverbinder sind empfindlich gegenüber äußeren Einflüssen, wie Verschmutzung oder mechanischer Belastung. Die Einfügedämpfung von Steckverbindungen ist nach DIN EN 61755-2-2: in Leistungsklassen von A bis D unterteilt.

Eine Verschmutzung der Steckerstirnfläche kann bei hoher Laserleistung dazu führen, dass die Glasfaser zerstört wird. Der Staub wird durch die hohe Leistung erhitzt, wobei eine so hohe Temperatur entsteht, dass auch die Glasfaser an der Stirnfläche schmilzt.

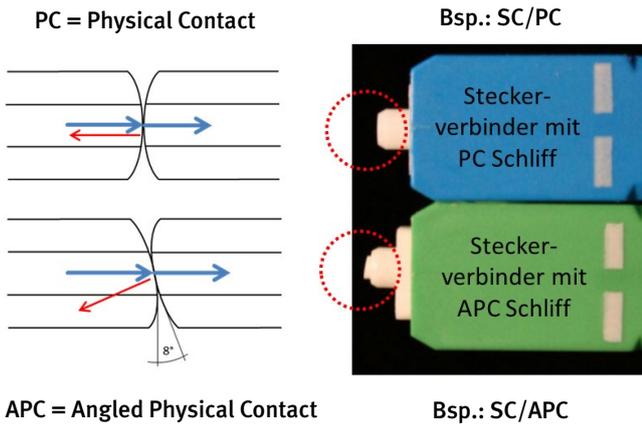


Abb. A3.9 schematische Darstellung der Kontaktflächen bei Steckverbindungen

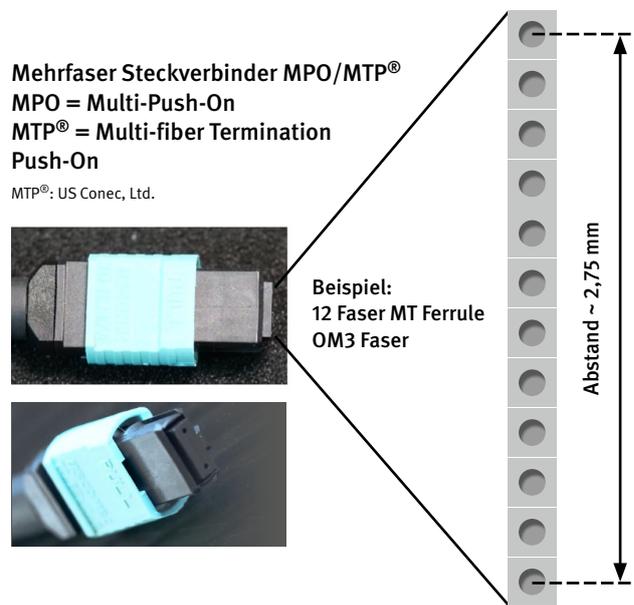


Abb. A3.11 Darstellung eines Mehrfaser-Steckers

In der Tabelle A3.1 auf folgender Seite sind einige Beispiele für optische Steckverbinder aufgeführt.

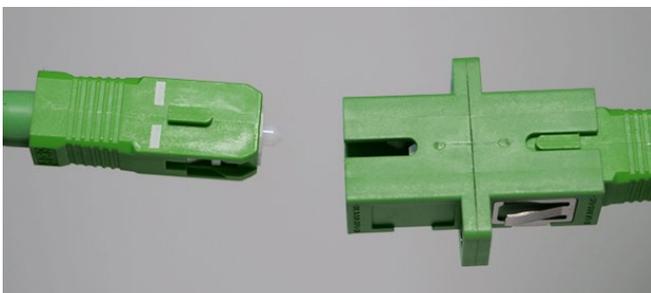
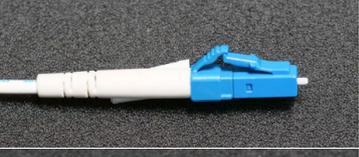
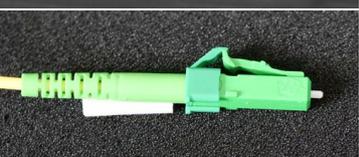
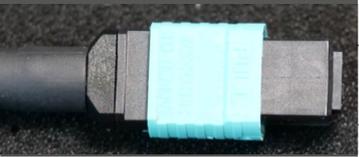


Abb. A3.10 Beispiel einer Lichtwellenleiter Steckverbindung mit Adapter SC/APC zu SC/APC

Tabelle A3.1 Beispiele für optische Steckverbinder

Steckverbinder mit PC (Physical Contact; 0° Schliff)	
SC/PC Push-Pull 2,5 mm Ferrulen- bzw. Stiftdurchmesser	
LC/PC Push-Pull 1,25 mm Ferrulen- bzw. Stiftdurchmesser	
ST/PC Bajonettverschluss und Führung gegen Verdrehen 2,5 mm Ferrulen- bzw. Stiftdurchmesser	
Steckverbinder mit APC (Angled Physical Contact; 8° Schliff)	
SC/APC Push-Pull 2,5 mm Ferrulen- bzw. Stiftdurchmesser	
FC/APC Verschraubung mit Führung gegen Verdrehen 2,5 mm Ferrulen- bzw. Stiftdurchmesser	
DIN APC Verschraubung mit Führung gegen Verdrehen 2,5 mm Ferrulen- bzw. Stiftdurchmesser	
LSH/APC E2000/APC Push-Pull mit Verriegelung und Schutzkappe 2,5 mm Ferrulen- bzw. Stiftdurchmesser	
LC/APC Push-Pull 1,25 mm Ferrulen- bzw. Stiftdurchmesser	
Mehrfaser Steckverbinder mit PC (Physical Contact)	
MPO/PC Mehrfaser Steckverbinder mit MT Ferrule bzw. Stift	

A3.3.4.2 Spleißverbindung

Ein Spleiß ist eine nicht lösbare Verbindung zwischen zwei Lichtwellenleitern, die sich durch geringste Dämpfungswerte auszeichnet. Spleißverbindungen können mechanisch (z. B. in einer V-Nut oder in einem eng tolerierten Röhrchen, Crimp-Spleiß), durch Kleben oder durch Schmelzen mittels eines Lichtbogens (Fusions-Spleiß) hergestellt werden. Ziel ist es dabei, die Stirnflächen beider Faserkerne möglichst präzise und dauerhaft voreinander zu fixieren.

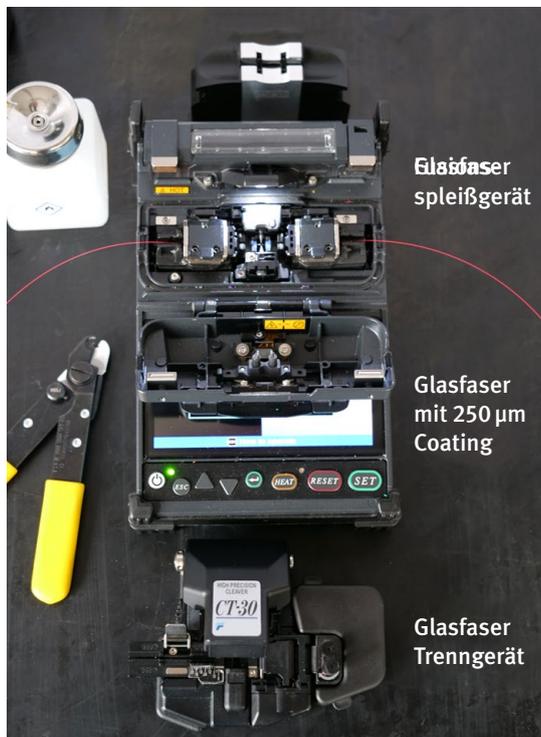


Abb. A3.12 Fusions-Spleißgerät

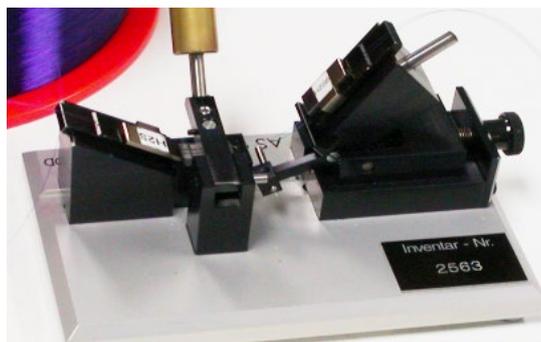


Abb. A3.13 Vorrichtung zur Herstellung eines mechanischen Spleißes

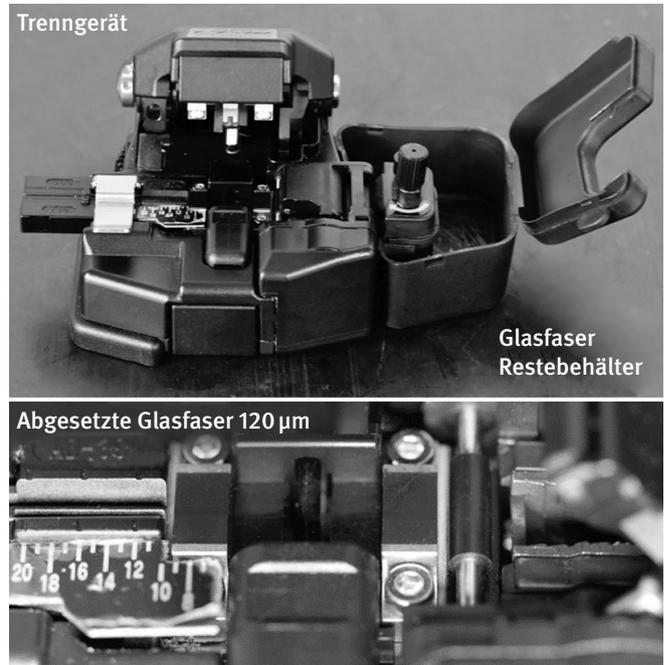


Abb. A3.14 Glasfaser-trenngerät

Generell werden bei der Schmelz-Spleißtechnik (Fusions-Spleiß) zwei Faserenden mittels eines Lichtbogens miteinander verschweißt. Bevor ein Spleiß ausgeführt werden kann, muss die Beschichtung, die aus Primär- und Sekundärschichtung besteht, vom Lichtwellenleiter entfernt werden. Anschließend werden die Faserenden planparallel gebrochen und für den Spleiß axial justiert. Das eigentliche Verschmelzen der beiden Fasern erfolgt durch einen Lichtbogen, der zwischen zwei Elektroden erzeugt wird. Der Fusions-Spleiß zeichnet sich durch niedrige Dämpfungswerte im Bereich von 0,1 dB aus und hat eine hohe Langzeitstabilität.



Abb. A3.15 Arbeitsplatz zum Herstellen eines mechanischen Spleißes (tragbarer Tisch für Außendienstmonteure)

A3.3.4.3 Steckbuchten, „Receptacles“

Neuere optische Sende- und Empfangsbauteile (Transceiver) sind in einem Gehäuse mit Steckbuchten („receptacle“) integriert, sodass diese Bauteile keine Glasfasern mit Stecker mehr als Anschluss enthalten. Stattdessen werden die Verbindungskabel des LWLKS zur bzw. von der Übertragungsstrecke oder zum bzw. vom Lichtwellenleiterverteiler direkt in die Steckbuchten des sog. Transceivers gesteckt. Diese kann man sich wie ein halbe Stecker-Kupplung vorstellen.

Die Dämpfung vom Sender zur Glasfaser oder von der Glasfaser zum Empfänger kann dabei höher sein als bei einer Steckverbindung mit zwei optischen Steckern und einer Kupplung, da oft der freie Strahl aus dem Sender in den Stecker der Glasfaser eingekoppelt wird.

Optische Transceiver Module (SFP)

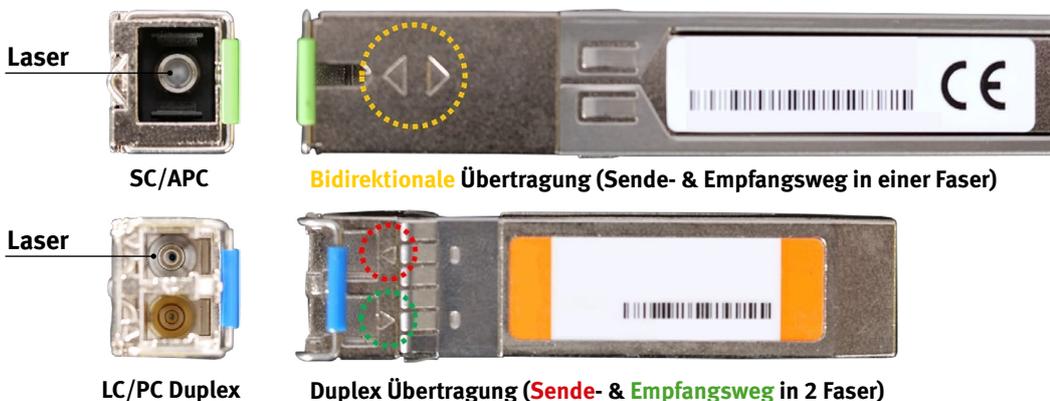


Abb. A3.16 Beispiel für ein Optisches Transceiver Modul (SFP)

Anhang 4 – Biologische Wirkungen von Laserstrahlung

Die Wirkungen der Laserstrahlung auf den Menschen werden in direkte und sekundäre (mittelbare, indirekte) Wirkungen unterschieden.

Eine direkte Wirkung tritt ein, wenn ein Laserstrahl direkt, gespiegelt oder bei hohen Leistungsdichten auch gestreut auf menschliches Gewebe trifft. Die Wirkung ist sowohl

- von den Parametern des Laserstrahls abhängig, wie Bestrahlungsstärke, Bestrahlungsdauer und Impuls-wiederholfrequenz

als auch

- von den optischen Eigenschaften des Gewebes (wie Absorption, Reflexion und Streuung) abhängig.

Dies kann zu starken Temperaturerhöhungen, die mit Gewebe-Koagulationen (biochemische Umwandlung von Körperproteinen) bis hin zum Auftreten von Mikroplasmen verbunden sind, führen.

In der Tabelle A4.1 werden die Wirkungen bei den unterschiedlichen Wellenlängenbereichen grob dargestellt. In der Telekommunikation wird hauptsächlich der Bereich zwischen 700 nm und 1650 nm genutzt. Dabei tritt der Strahl in der Haut allenfalls wenige Millimeter tief in das Gewebe ein und wird gut absorbiert. Das Auge ist gegenüber der Strahlung besonders empfindlich, da es optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm fokussieren kann.

Durch die Augenlinse kann parallel einfallende Strahlung auf der Netzhaut zu einem Brennpunkt mit einem Durchmesser von etwa 10 µm gebündelt werden. Dadurch kann die vorhandene Bestrahlungsstärke bis auf das 500.000fache vergrößert werden. Bei unsichtbarer Infrarotstrahlung ($\lambda > 700$ nm) werden keinerlei optische Warnreize wahrgenommen, und beim Erkennen einer Gefährdung kann es bereits zu spät sein.

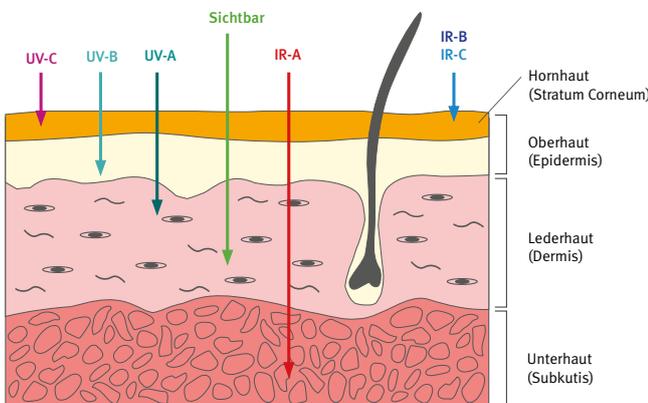


Abb. A4.1 Eindringvermögen verschiedener Wellenlängen in die Haut

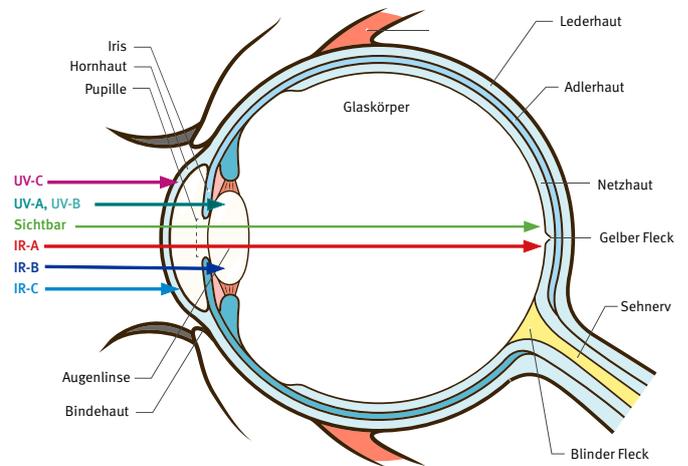


Abb. A4.2 Eindringvermögen verschiedener Wellenlängen in das Auge

Unter einer sekundären Gefährdung wird das Gefahrenpotential verstanden, das erst durch Einwirkung des Laserstrahls entsteht, wenn beispielsweise ein Laser-

strahl zur Zündquelle für explosionsfähige Atmosphären oder brennbare Stoffe wird oder durch die entstehenden hohen Temperaturen toxische Stoffe freigesetzt werden.

Tabelle A4.1 Wirkungen der Laserstrahlung auf Auge und Haut

Wellenlängenbereich	Auge	Haut
UV-C	Fotokeratitis Fotokonjunktivitis	Erythem Präkanzerosen Karzinome
UV-B	Fotokeratitis Fotokonjunktivitis Katarakt	Verstärkte Pigmentierung (Spätpigmentierung) Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Erythem Präkanzerosen Karzinome
UV-A	Katarakt	Bräunung (Sofortpigmentierung) Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Verbrennung der Haut Karzinome
Sichtbare Strahlung	Fotochemische und fotothermische Schädigung der Netzhaut	Fotosensitive Reaktionen Thermische Schädigung der Haut
IR-A	Katarakt Thermische Schädigung der Netzhaut	Thermische Schädigung der Haut
IR-B	Katarakt Thermische Schädigung der Hornhaut	Thermische Schädigung der Haut Blasenbildung auf der Haut
IR-C	Katarakt Thermische Schädigung der Hornhaut	Thermische Schädigung der Haut

Anhang 5 – Beispiele und Informationen zur Berechnung von Laserbereichen und entsprechenden NOHD-Bereichen

A5.1 Beispiel für die Bestimmung der maximalen Laserleistung beim Betrieb eines CWDM-Lichtwellenleiter-Kommunikationssystems für einen NOHD von 100 mm

Als CWDM-System (CWDM für coarse wavelength division multiplexing) wird ein WDM-System mit vergleichsweise grober Aufteilung der Wellenlängen bezeichnet.

Im Beispielfall soll das System nur vier Wellenlängen beinhalten: 1470, 1490, 1510 und 1530 nm. Alle vier Wellenlängen sollen in einer Einmodenfasern mit einem Modenfelddurchmesser von 11 µm transportiert werden, und alle vier Einzelleistungen sollen gleich groß sein.

Wie groß darf die Leistung pro Kanal für die Einhaltung des EGW im Abstand von 100 mm vom Strahlaustritt sein? Es wird angenommen, dass dieser Abstand mit den Augen erreicht werden kann.

Die dem EGW entsprechende Bestrahlungsstärke für die Augen liegt für alle genannten Wellenlängen bei $E_{EGW} = 1000 \text{ Wm}^{-2}$.

In dem vorgegebenen Abstand von 100 mm kommt nur ein Teil der abstrahlten Leistung in der Blende an. Gemessen wird mit einem Blendendurchmesser von 3,5 mm. Bei Annahme einer Gauß'schen Abstrahlung ergibt sich der Blendenwirkungsgrad η aus dem Verhältnis zwischen eingefangener und abgestrahlter Leistung:

$$\eta = \frac{P_{\text{Blende}}}{P_{\text{Kanal}}} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{d_a}{d_{63}}\right)^2\right]$$

wobei: P_{Blende} = die von der Blende aufgefangene Leistung
 P_{Kanal} = die geführte Leistung für eine Wellenlänge
 d_a = Blendendurchmesser; $d = 3,5 \text{ mm}$
 d_{63} = Strahldurchmesser auf Basis der 63%-Definition

$$d_{63} = \frac{2\sqrt{2} r \lambda}{\pi \omega_0}$$

wobei: r = Messabstand = 100 mm
 λ = Wellenlänge, siehe oben
 ω_0 = Modenfelddurchmesser = 11 µm

Tabelle A5.1 Strahldurchmesser und Blendenwirkungsgrade bei den verschiedenen Wellenlängen

λ in nm	1470	1490	1510	1530
d_{63} in m	0,0120	0,0122	0,0124	0,0125
η	8,11 %	7,91 %	7,71 %	7,51 %

Die jeweilige Bestrahlungsstärke (pro Wellenlänge) ergibt sich aus:

$$E = \frac{P_{\text{Blende}}}{A_{\text{Blende}}} = \frac{P_{\text{Kanal}} \cdot \eta}{A_{\text{Blende}}}$$

wobei: A_{Blende} = die Fläche der Blende mit 3,5 mm Durchmesser = $9,62 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

Die Wirkung dieser vier Wellenlängen ist additiv. Das heißt, dass in diesem Fall alle Strahlungsanteile sich auf der Hornhaut des Auges addieren. Deshalb darf die Summe aller Bestrahlungsstärken den EGW nicht überschreiten:

$$(E_1 + E_2 + E_3 + E_4) \leq E_{EGW}$$

$$\frac{P_{\text{Kanal}} (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4)}{A_{\text{Blende}}} \leq E_{EGW}$$

Daraus ergibt sich für unseren Beispielfall diesen CWDM-Fall die maximal zulässige, geführte Leistung pro Wellenlänge:

$$P_{\text{Kanal}} = \frac{E_{EGW} A_{\text{Blende}}}{(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4)} = \frac{1000 \cdot 9,62 \cdot 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^2}{0,0781 \cdot 4} = 30,8 \text{ mW}$$

Alternativ könnte man auch mit einem mittleren Blendenwirkungsgrad $\eta_{\text{mittel}} = 7,81 \%$ (aus Tabelle A5.1) rechnen:

$$P_{\text{Kanal}} = \frac{E_{EGW} A_{\text{Blende}}}{4 \cdot \eta_{\text{mittel}}} = 30,8 \text{ mW}$$

Also darf bei jeder der vier Wellenlängen eine maximale Leistung von 30,8 mW, also insgesamt 132 mW in der Faser geführt werden, um in Abständen von 100 mm und mehr vom Strahlaustritt die Expositionsgrenzwerte für die Augen einzuhalten.

A5.2 Strahlungsleistungen von Faserbündchen

Eine begrenzte Zahl von Lichtwellenleitern und Übertragungswellenlängen sind in den Tabellen A5.2 (nach DIN EN 60825-2:2011-06 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)“) und A5.2a (IEC 60825-2 (2021) “Safety of laserproducts – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCSs)“) angegeben. Die dort angegebenen Grenzwerte basieren auf der Annahme des ungünstigsten Falls und gelten jeweils für einen einzelnen Lichtwellenleiter. Bei Faserbündchen oder Multifasersteckverbindern müssen sich mehrere Fasern den angegebenen Grenzwert „teilen“, entsprechend geringer ist die zulässige Strahlungsleistung in der einzelnen Faser.

A5.3 Maximale Ausgangsleistung während der Abschaltung

Die Tabellen A5.2 (nach DIN EN 60825-2:2011-06 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)“) und A5.2a (IEC 60825-2 (2021) “Safety of laserproducts – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCSs)“) zeigen die maximalen Ausgangsleistungen (in mW) während der Abschaltzeit für LWLKS mit Einmodenfasern, die auf die Grenzen eines niedrigeren Gefährdungsgrads in 1 s an uneingeschränkten Standorten und in 3 s an eingeschränkten und kontrollierten Standorten abschalten. Entsprechend dem niedrigeren Gefährdungsgrad sollten die Konstruktionsanforderungen nach Anhang B der jeweils gültigen DIN EN 60825-2 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)“, umgesetzt werden.

Die Gleichung, aus der die Tabellenwerte der maximalen Ausgangsleistungen abgeleitet wurden, wurde aus der Bedingung berechnet, dass die EGW-Werte während der Abschaltung eingehalten werden müssen und lautet:

$$P_{\max} = \frac{\pi d^2 \text{EGW}}{4t} = \frac{1}{1 - \exp\left[-0,125\left(\frac{\pi \text{MFD} d}{\lambda z_{\text{mess}}}\right)^2\right]}$$

- MFD Modenfeld-Durchmesser bei $1/e^2$ Bestrahlungsstärke (m);
- P gesamte Leistung in der Faser (W);
- d Durchmesser der Messblende (m);
- EGW Expositionsgrenzwert (Jm^{-2});
- z_{mess} vorgeschriebener Messabstand;
- t Abschaltdauer (s);
- λ Wellenlänge (m).

Für die hier in Betracht kommenden Abstände darf man davon ausgehen, dass die Leistungsdichte über der Blende nahezu konstant ist. Unter dieser Voraussetzung kann die obige Formel vereinfacht werden zu:

$$P_{\max} = 1,46 \cdot \text{NA}_{\text{SM}}^2 \cdot z_{\text{mess}}^2 \cdot \frac{\text{EGW}}{t},$$

wobei außerdem der Modenfelddurchmesser durch die numerische Apertur NA ersetzt wurde.

Tabelle A 5.2 Leistungsgrenzwerte für 11- μ m-Einmodenfasern (SM) und Mehrmodenfasern (MM) mit numerischer Apertur von 0,18 (Kerndurchmesser < 150 μ m) gemäß DIN EN 60825-2 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS) – Ausgabe 2011“

Wellenlänge und Fasertyp	Gefährdungsgrad					
	1	1M	2	2M	3R	3B
633 nm (MM)	0,39 mW (-4,1 dBm)	3,9 mW (+5,9 dBm)	1 mW (0 dBm)	10 mW (+10 dBm)	–	500 mW (+27 dBm)
780 nm (MM)	0,57 mW (-2,5 dBm)	5,6 mW (+7,5 dBm)	–	–	siehe Anmerkung	500 mW (+27 dBm)
850 nm (MM)	0,78 mW (-1,1 dBm)	7,8 mW (+8,9 dBm)	–	–	siehe Anmerkung	500 mW (+27 dBm)
980 nm (MM)	1,42 mW (+1,53 dBm)	14,1 mW (+11,5 dBm)	–	–	siehe Anmerkung	500 mW (+27 dBm)
980 nm (SM)	1,42 mW (+1,53 dBm)	2,66 mW (+4,2 dBm)	–	–	7,26 mW (+8,6 dBm)	500 mW (+27 dBm)
1310 nm (MM)	15,6 mW (+ 12 dBm)	156 mW (+21,9 dBm)	–	–	siehe Anmerkung	500 mW (+27 dBm)
1310 nm (SM)	15,6 mW (+ 12 dBm)	42,8 mW (+16,3 dBm)	–	–	88 mW (+19 dBm)	500 mW (+27 dBm)
1400 bis 1600 nm (MM)	10 mW (+10 dBm)	384 mW (+25,8 dBm)	–	–	siehe Anmerkung	500 mW (+27 dBm)
1420 nm (SM)	10 mW (+10 dBm)	115 mW (+20,6 dBm)	–	–	siehe Anmerkung	500 mW (+27 dBm)
1500 nm (SM)	10 mW (+10 dBm)	136 mW (+21,3 dBm)	–	–	siehe Anmerkung	500 mW (+27 dBm)

Anmerkung 1 Gefährdungsgrade 1M und 2M

Die maximale Leistung, die in der Tabelle für 11- μ m-Einmodenfasern aufgeführt ist, ist durch die Bestrahlungsstärke begrenzt. Der genaue Leistungsgrenzwert für Glasfasern wird deshalb durch die kleinste zu erwartende Strahldivergenz bestimmt, die wiederum vom Modenfelddurchmesser (MFD) der Einmodenfaser abhängig ist. Dies kann sich bei unterschiedlichen Werten des MFD ändern und zu bedeutenden Unterschieden bei den Grenzwerten der Laserklassen bei sich änderndem Modenfelddurchmesser führen. In manchen Hochleistungs-Steckverbindern werden vergrößerte MFD verwendet, wobei die Fernfeld-Divergenz geringer ist. Diese Steckverbinder können einen höheren Gefährdungsgrad zur Folge haben. Bei Benutzung solcher Steckverbinder wird die Bestimmung des Gefährdungsgrads dringend empfohlen.

Anmerkung 2 1300-nm-Werte

Die 1310-nm-Werte sind für 1270 nm berechnet, dies ist die kürzeste Wellenlänge im 1310 nm-Übertragungsfenster.

Anmerkung 3 Faserparameter

Die verwendeten Faserparameter decken den jeweils schlimmsten Fall ab. Die Werte für die Einmodenfaser sind für eine Faser mit 11 μ m Modenfelddurchmesser berechnet und die Werte für die Mehrmodenfaser für eine Faser mit einer numerischen Apertur von 0,18. Viele Systeme, die bei 980 nm und 1550 nm arbeiten, benutzen Fasern mit kleinerem Modenfelddurchmesser. Zum Beispiel gilt ein Grenzwert von 197 mW für den Gefährdungsgrad 1M, wenn ein dispersionsverschobenes Glasfaserkabel bei 1550 nm betrieben wird, die einen oberen Grenzwert für den Modenfelddurchmesser von 9,1 μ m aufweist.

Anmerkung 4 Grenzwerte für den Gefährdungsgrad 1M für Wellenlängen < 1310 nm

Für 900 nm und kürzere Wellenlängen und Einmodenfasern werden hier keine Grenzwerte für den Gefährdungsgrad 1M angegeben, weil die bei diesen Wellenlängen auftretende Divergenz ziemlich variiert. Der Grund dafür ist, dass sich diese Wellenlängen in Wirklichkeit in mehreren Moden in einer Standard-1310-nm Einmodenfaser ausbreiten und die genau Divergenz vom eher unvorhersehbaren Grad der Modenmischung abhängig ist. Die veränderliche Modenmischung ist ebenfalls ein großes Problem, wenn man versucht, diese Wellenlängen in einer echten Mehrmodenfaser zu bewerten. Wenn notwendig, kann man in diesen Fällen einen Wert mit der Annahme berechnen, dass die gesamte Leistung in der Faser im Grundmodus geführt wird. Mit den Gleichungen für Einmodenfasern erhält man einen konservativen Wert.

Anmerkung 5 Mehrmodenfasern mit Kerndurchmessern von mehr als 150 µm

Diese Lichtwellenleiter (z. B. Hartmantel-Silicafasern (HCS) mit 200 µm Kerndurchmesser oder Plastikfasern mit 1000 µm Kerndurchmesser) müssen als mittelgroße ausgedehnte Quellen angesehen werden. Die anwendbare Quellengröße kann vom Grad der Modenfüllung abhängen und sollte genau bestimmt werden, bevor man die Grenzwerte berechnet.

Anmerkung 6 Grenzwerte für den Gefährdungsgrad 2

Man kann zeigen, dass für scheinbare Quellengrößen von weniger als 33 µm (das gilt in der Lichtwellenleiter-Übertragungstechnik in den meisten Fällen) die Grenzwerte für den Gefährdungsgrad 2 immer niedriger sind als die entsprechenden Grenzwerte des Gefährdungsgrads 1M: sicher für das unbewaffnete Auge, aber möglicherweise unsicher bei Benutzung optischer Instrumente.

Anmerkung 7 Bündeladerfasern und Flachbandkabel

Die Grenzwerte in der Tabelle wurden nur für Einzelfasern berechnet. Wenn Bündeladerfasern oder Flachbandkabel mit Einzelfasern in dichter Nachbarschaft beurteilt werden müssen, dann muss jede Einzelfaser und jede mögliche Gruppe dieser Fasern untersucht werden.

Anmerkung 8 1420-nm-Wert

Die 1420-nm-Werte wurden für den Raman-Bereich von 1420 bis 1500 nm berechnet.

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser DGUV Information lag eine neue Norm IEC 60825-2 (2021) "Safety of laser products - Part 2: Safety of optical fibre communication

systems (OFCSs)" vor, die noch harmonisiert und übersetzt werden muss. Die nachfolgende Tabelle ist dieser Norm entnommen.

Tabelle A 5.2a Leistungsgrenzwerte für 11-µm-Einmodenfasern (SM) und Mehrmodenfasern (MM) mit numerischer Apertur von 0,18 (Kerndurchmesser < 150 µm) gemäß IEC 60825-2 (2021) „Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCSs)“

Wellenlänge und Fasertyp	Gefährdungsgrad					
	1	1M	2	2M	3R	3B
633 nm (MM)	1,95 mW (+2,9 dBm)	3,77 mW (+5,8 dBm)	5,00 mW (+7,0 dBm)	9,66 mW (+9,9 dBm)	25,0 mW (+14,0 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)
780 nm (MM)	2,82 mW (+4,5 dBm)	5,45 mW (+7,4 dBm)	–	–	14,5 mW (+11,6 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)
850 nm (MM)	3,89 mW (+5,9 dBm)	7,52 mW (+8,8 dBm)	–	–	20,0 mW (+13,0 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)
980 nm (MM)	7,08 mW (+8,5 dBm)	13,7 mW (+11,4 dBm)	–	–	36,3 mW (+15,6 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)
980 nm (SM)	1,80 mW (+2,5 dBm)	2,66 mW (+4,2 dBm)	–	–	9,21 mW (+9,6 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)
1270 nm (MM)	140 mW (+21,4 dBm)	270 mW (+24,3 dBm)	–	–	500 mW (+27,0 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)
1270 nm (SM)	46,2 mW (+16,6 dBm)	76,5 mW (+18,8 dBm)	–	–	237 mW (+23,7 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)
1310 nm (MM)	481 mW (+26,8 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)	–	–	500 mW (+27,0 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)
1310 nm (SM)	166 mW (+22,2 dBm)	277 mW (+24,4 dBm)	–	–	500 mW (+27,0 dBm)	500 mW (+27,0 dBm)
1400 nm bis 1600 nm (MM)	13,3 mW (+11,2 dBm)	371 mW (+25,7 dBm)	–	–	Siehe Anmerkung	500 mW (+27,0 dBm)
1420 nm (SM)	10,1 mW (+10,0 dBm)	115 mW (+20,6 dBm)	–	–	Siehe Anmerkung	500 mW (+27,0 dBm)
1550 nm (SM)	10,2 mW (+10,1 dBm)	136 mW (+21,3 dBm)	–	–	Siehe Anmerkung	500 mW (+27,0 dBm)

Anmerkung 1 Gefährungsgrade 1M und 2M

Die maximale Leistung, die in der Tabelle für 11- μm -Einmodenfasern aufgeführt ist, ist durch die Leistungsdichte begrenzt. Der genaue Leistungsgrenzwert für Lichtwellenleiter wird deshalb durch die kleinste zu erwartende Strahldivergenz bestimmt, die wiederum vom Modenfelddurchmesser (MFD) des Einmodenfasern abhängig ist. Dies kann sich bei unterschiedlichen Werten des MFD ändern und zu bedeutenden Unterschieden bei den Grenzwerten der Laserklassen bei sich änderndem Modenfelddurchmesser führen. In manchen Steckverbindern werden vergrößerte MFD verwendet, wobei die Fernfeld-Divergenz geringer ist. Diese Steckverbinder können einen höheren Gefährungsgrad zur Folge haben.

Anmerkung 2 1310-nm-Werte

Die 1270-nm-Wellenlänge entspricht der kürzesten Wellenlänge in Datenverkehrsanwendungen, zum Beispiel LAN-WDM 8.

Anmerkung 3 Lichtwellenleiter-Parameter

Die verwendeten Lichtwellenleiter-Parameter decken den jeweils schlimmsten Fall ab. Die Werte für die Einmodenfasern sind für einen Lichtwellenleiter mit 11 μm Modenfelddurchmesser berechnet und die Werte für die Mehrmoden-Lichtwellenleiter für einen Lichtwellenleiter mit einer numerischen Apertur von 0,18. Viele Systeme, die bei 980 nm und 1550 nm arbeiten, benutzen Lichtwellenleiter mit kleinerem Modenfelddurchmesser. Zum Beispiel gilt ein Grenzwert von 197 mW für den Gefährungsgrad 1M, wenn ein dispersionsverschobenes Lichtwellenleiterkabel bei 1550 nm betrieben wird, das einen oberen Grenzwert für den Modenfelddurchmesser von 9,1 μm aufweist.

Anmerkung 4 Grenzwerte für den Gefährungsgrad 1M für Wellenlängen < 1310 nm

Für Einmodenfasern und Wellenlängen von 900 nm und weniger werden hier keine Grenzwerte für den Gefährungsgrad 1M angegeben, weil die bei diesen Wellenlängen auftretende Divergenz ziemlich variiert. Der Grund dafür ist, dass sich diese Wellenlängen in Wirklichkeit in mehreren Moden in einem Standard-1310-nm-Lichtwellenleiter ausbreiten und die genaue Divergenz vom eher unvorhersehbaren Grad der Modenmischung abhängig ist. Die veränderliche Modenmischung ist ebenfalls ein großes Problem, wenn man versucht, diese Wellenlängen in einem echten Mehrmoden-Lichtwellenleiter zu bewerten. Wenn notwendig, kann man in diesen Fällen einen Wert

mit der Annahme berechnen, dass der Lichtwellenleiter die gesamte Leistung im Grundmodus führt. Mit den Gleichungen für Einmodenfasern erhält man einen konservativen Wert.

Anmerkung 5 Mehrmoden-Lichtwellenleiterkabel mit Einzelkern

Für Wellenlängen zwischen 400 nm und 1400 nm wird der GZS der Laserklasse 1 auf der Basis der Winkelausdehnung des Kerndurchmessers auch für schwach vergrößernde optische Instrumente berechnet. Wenn die Winkelausdehnung 1,5 mrad übersteigt, dann werden diese Fasern als ausgedehnte Quellen angesehen. Unter Bedingungen 3, d.h. in einem Abstand von 100 mm gemessen, ist eine Faser mit einem Kerndurchmesser von mehr als 150 μm eine ausgedehnte Quelle. Zum Beispiel gelten Hartmantel-Silica-Lichtwellenleiter (HCS) mit 200 μm Kerndurchmesser oder Plastik-Lichtwellenleiter mit 1000 μm Kerndurchmesser) als mittelgroße ausgedehnte Quellen. Die anwendbare Quellengröße kann vom Grad der Modenfüllung abhängen und sollte genau bestimmt werden, bevor man die Grenzwerte berechnet. Auch unter Bedingung 2, entsprechend einem Messabstand von 35 mm, wird eine Faser mit einem Kerndurchmesser von mehr als 52,5 μm als ausgedehnte Quelle angesehen. Die in dieser Tabelle gezeigten GI 50 Fasern gelten daher unter Bedingung 2 als Punktquellen, wohingegen GI 62,5 Fasern als ausgedehnte Quellen gelten.

Anmerkung 6 Bündelader-Lichtwellenleiter und Flachbandkabel

Die Grenzwerte in der Tabelle wurden nur für Einzel-Lichtwellenleiter berechnet. Wenn Bündelader-Lichtwellenleiter oder Flachbandkabel mit Einzel-Lichtwellenleitern in dichter Nachbarschaft zueinander beurteilt werden müssen, dann muss jeder einzelne Lichtwellenleiter und jede mögliche Gruppe dieser Lichtwellenleiter untersucht werden.

Anmerkung 7 1420-nm-Leistungsgrenze

Die 1420-nm-Leistungsgrenzen wurden für den Raman-Bereich von 1420 nm (Pumpe) bis 1500 nm (Signal) berechnet.

Anmerkung 8 Grenzwerte für 3R

In diesen Fällen ist der Grenzwert für den Gefährungsgrad 1M größer als der Grenzwert für den Gefährungsgrad 3B.

Anhang 6 – Anforderungen an Standorttypen eines LWLKS

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Zusammenfassung der Anforderungen an die Standorttypen eines LWLKS nach DIN EN 60825-2:2011-06 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)“.

Gefährdungsgrad	Standorttyp		
	Uneingeschränkt	Eingeschränkt	Kontrolliert
1	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen
1M	Gefährdungsgrad 1 aus Steckverbindern, die vom Endnutzer geöffnet werden können. Keine Anforderungen bezüglich Aufklebern oder Kennzeichnungen	Aufkleber oder Kennzeichnung nicht erforderlich, wenn Steckverbinder, die vom Endnutzer geöffnet werden können, Gefährdungsgrad 1 abstrahlen. Wenn Gefährdungsgrad 1M abgestrahlt wird, sind Aufkleber oder Kennzeichnung erforderlich	Keine Anforderungen
2	Aufkleber oder Kennzeichnungen	Aufkleber oder Kennzeichnungen	Aufkleber oder Kennzeichnungen
2M	a) Aufkleber oder Kennzeichnungen, und b) Gefährdungsgrad 2 aus Steckverbindern	Aufkleber oder Kennzeichnungen	Aufkleber oder Kennzeichnungen
3R	Nicht zulässig	a) Aufkleber oder Kennzeichnungen, und b) Gefährdungsgrad 1M aus Steckverbindern	a) Aufkleber oder Kennzeichnungen, und b) Gefährdungsgrad 1M aus Steckverbindern
3B	Nicht zulässig	Nicht zulässig	a) Aufkleber oder Kennzeichnungen, und b) Gefährdungsgrad 1M oder 2M aus Steckverbindern
4	Nicht zulässig	Nicht zulässig	Nicht zulässig

Anhang 7 – Anleitungen für Instandsetzung und Wartung

A7.1 Prüfungen und Messungen

Prüfungen, Messungen und sonstige Arbeiten in Kabelschächten und Schaltzentralen sollten als Instandsetzungs- und Wartungsarbeiten angesehen werden. Wo immer möglich, sollten diagnostische Prüfungen so durchgeführt werden, dass der Gefährdungsgrad am jeweiligen Standort nicht erhöht wird. Organisatorische Einschränkungen können notwendig sein, die in manchen Fällen Arbeitserlaubnisse beinhalten können. Wenn Prüfeinrichtungen angeschlossen werden, sollte darauf geachtet werden, dass die tatsächlichen Leistungspegel eingestellt werden, die bei der Feststellung des Gefährdungsgrad benutzt wurden.

Die Betreiberorganisation sollte klar definierte Bedingungen entwickeln und den Betrieb pflegen, unter denen die automatische Leistungsverringerung außer Kraft gesetzt werden kann.

Wenn die automatische Leistungsverringerung außer Kraft gesetzt wurde, muss der Betrieb den Gefährdungsgrad neu bestimmen. Die dem neu bestimmten Gefährdungsgrad entsprechenden, in Kapitel 3 und den dazugehörigen Unterabschnitten beschriebenen Schutzmaßnahmen müssen angewendet werden.

Alle Betrachtungsoptiken für die Untersuchung von Fasern und Spleißen sollten so ausgesucht werden, dass sie die Bestrahlung unter die entsprechende Expositionsgrenzwerte senken, und sie sollten von der Betreiberorganisation zugelassen werden.

Anmerkung:

Eine brauchbare Lösung könnte sein, dass die Betreiberorganisation die Betrachtungsoptik mit einem Klebeschild kennzeichnet.

Wo immer vernünftigerweise möglich, sollten Instandsetzung, Wartung und Reparatur so durchgeführt werden, dass keine Leistung in der Faser geführt wird. Wo das nicht vernünftigerweise machbar ist, sollte das System mit der niedrigsten Leistung betrieben werden, die für die Funktionstüchtigkeit benötigt wird.

Die Betreiberorganisation sollte Arbeitsverfahren festlegen, die den Zugang von Personen zu Strahlung oberhalb der maßgeblichen EGW verhindert.

A7.2 Schutzmaßnahmen

An Standorten, wo während der Instandsetzung oder Wartung optische oder Laserstrahlung oberhalb der EGW entstehen kann (z. B. beim Schalten oder an kontrollierten Standorten), sollte geeigneter Augenschutz zur Verfügung gestellt werden.

Vor der Arbeit an irgendeinem faseroptischen Kabel oder System sollten die Endbenutzer den Gefährdungsgrad an den zugänglichen Stellen prüfen. Im Fall von installierten und aktivierten Systemen sollte der Gefährdungsgrad an zugänglichen Stellen mit Hilfe der Warnaufkleber identifiziert werden. Entsprechend dem Gefährdungsgrad sollten Vorsichtsmaßnahmen bei Systemen ergriffen werden, die bekannter Weise in Betrieb sind oder in Betrieb gehen könnten. Während der Installation sind Warnaufkleber möglicherweise noch nicht angebracht. In diesem Fall sollten Vorsichtsmaßnahmen entsprechend der Klassifizierung der Sender oder Prüfeinrichtungen mit an die Faser angeschlossenen optischen Quellen ergriffen werden.

Es wird empfohlen, während der Installation oder Prüfung eines faseroptischen Kabels oder Netzwerks nur Prüfeinrichtungen zu verwenden, für deren Ausgang der Gefährdungsgrad 1, 1M, 2 oder 2M entsprechend der jeweiligen DIN EN 60825-2 oder Laserklasse 1, 1M, 2 oder 2M entsprechend der jeweiligen DIN EN 60825-1 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen“ festgestellt wurde.

An LWLKS an eingeschränkten oder kontrollierten Standorten dürfen Prüfeinrichtungen mit höherer Ausgangsleistung benutzt werden, vorausgesetzt, dass die zugänglichen Faserenden und Steckverbinder an allen Standorten gesichert und mit Klebeschildern mit dem zutreffenden Gefährdungsgrad versehen sind, bevor die Prüfung beginnt.

Eingänge zu kontrollierten Bereichen mit dem Gefährdungsgrad 3B sollten ausgestattet sein mit:

- einem Schild mit dem Warnzeichen entsprechend Bild 14 und dem Hinweisschild nach Bild 15 der DIN EN 60825-1:2008-11 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen“, das die Worte „Gefährdungsgrad 3B“ trägt;
- einem Schild, das den Zugang auf autorisierte Personen einschränkt und auf das Vorhandensein einer möglichen Gefährdung hinweist.

Jede Person, die mit dem Betrieb, der Installation oder der Wartung eines LWLKS betraut ist, sollte

- alle Regeln, Verfahren und Vorgehensweisen beachten, die zum sicheren Betrieb des LWLKS aufgestellt wurden
- sofort ihre Führungskraft über Umstände oder Vorgehensweisen in Kenntnis setzen, die möglicherweise Personen- oder Sachschaden verursachen könnten
- sofort ihre Führungskraft über bekannte oder vermutete ungewöhnliche Einwirkung von optischer Strahlung in Kenntnis setzen.

A7.3 Vorsichtsmaßnahmen an Standorten mit Gefährdungsgraden 1M, 2M, 3R und 3B

Wo möglich, sollten optische Übertragungsanlagen oder Prüfmittel abgeschaltet, auf einen Zustand niedriger Leistung geschaltet oder abgetrennt werden, bevor an offenen Fasern gearbeitet wird, und das Einschalten durch eine Fernbedienung oder eines anderes passendes Verfahren verhindert werden. Der Leitungszustand (Leistung ein oder aus) sollte klar erkennbar sein.

Personen, die Zugang zu einem strahlenden Faserende oder Steckverbinderende haben, sollten unterrichtet sein, nicht direkt auf solche Punkte zu blicken. Unter allen Umständen sollten nur solche Sehhilfen benutzt werden, die mit einer angemessenen Dämpfung ausgestattet sind.

Nur Beschäftigten, die an einer Unterweisung für faseroptische Sicherheit teilgenommen haben, sollte die es erlaubt sein, an LWLKS an einem Standort mit dem Gefährdungsgrad 3B, 3R, oder 4 zu arbeiten.

Beschäftigte, die LWLKS und zugehörige Prüfeinrichtungen an Standorten mit dem Gefährdungsgrad 3B installieren, betreiben und warten, sollten sicherstellen, dass nicht unterwiesene Personen hinreichend geschützt sind.

Es ist möglich, dass an Systemstellen mit hoher Dämpfung eine hohe Temperatur durch die absorbierte Leistung entsteht. Dadurch kann es zu Schäden kommen, wenn extrem hohe Leistungen (hunderte von mW bis mehrere W) in die Faser eingekoppelt werden.

Anmerkung:

Ein Beispiel dafür ist ein System, das verteilte Raman-Verstärkung benutzt.

Deshalb wird für Systeme, die normalerweise extrem hohe Leistung übertragen, folgendes empfohlen:

Steckverbinder sollten sehr sorgfältig gereinigt werden.

Die Reinigung darf nur bei deutlich verringerter oder abgeschalteter Leistung erfolgen, da bereits durch Verdampfen des Reinigungsmittels oder von Staub die Glasfaser beschädigt werden kann. Die Dämpfung durch Spleiße oder Biegungen sollten an allen Punkten soweit wie möglich verringert werden.

Anhang 8 – Muster Bestellung zum/zur Laserschutzbeauftragten für LWLKS

ACHTUNG: Beispiele und wichtige Punkte müssen betriebsspezifisch angepasst werden

gemäß § 5 Abs. 2 der Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Laserstrahlung (OStrV)

Herr/Frau _____
wird ab dem _____ (TT.MM.JJJJ)
für den Betrieb / Bereich der LWLKS _____ (Ortsangabe)

gemäß § 5 Abs. 2 der (OStrV) zum/zur Laserschutzbeauftragten bestellt.

Aufgaben (Beispiele / wichtige Punkte müssen angepasst und ergänzt werden)

Überwachung des sicheren Betriebs bezüglich des Personenschutzes
der folgenden LWLKS/Betriebsstätten _____

- Mitwirkung bei der Inbetriebnahme, Service, Wartung der genannten Laser-Einrichtungen
- Motivation von Beschäftigten (Namensliste XX) bezüglich der Einhaltung der Schutzmaßnahmen
- Regelmäßige Überwachung bei Servicearbeiten
(z. B. 1x pro Quartal mit jedem Serviceteam 1/2/3)
- Weisungsbefugnis gegenüber allen Personen in den Laserlaborräumen, an den Laseranlagen bezüglich der Schutzmaßnahmen beim Betrieb der Laser
- Festlegung der Prüffinterwalle der Laser gemäß Betriebssicherheitsverordnung zusammen mit der Fachkraft für Arbeitssicherheit und dem/der Abteilungsleiter/in Herr / Frau _____
- Unterstützung bei der Erarbeitung oder Änderung der Gefährdungsbeurteilung in den Arbeitsbereichen __xy

- Durchführung der Unterweisung bezüglich der Arbeitsplätze (siehe Liste der Beschäftigten)
- Mitwirkung bei der Erstellung von Betriebsanweisungen im Bereich _____
- Unterstützung des Betriebsarztes/der Betriebsärztin
Herr/Frau _____ / Tel.: _____
bei der Organisation der arbeitsmedizinischen Vorsorge, Ersten Hilfe und Beratung
zur medizinischen Versorgung bei Augenunfällen gemäß Gefährdungsbeurteilung XXX

Dokumentation der Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen:

- Melden von Mängeln und ggf. Stillsetzen der Laser-Einrichtung an den/die Abteilungsleiter/in und Geschäftsführer/in Herr/Frau _____
- Mitwirkung bei der Prüfung der Laser-Einrichtungen und persönlicher Schutzausrüstung
- Organisation von Wartungsarbeiten – Zusammenarbeit mit Fremdfirmen
- Regelmäßige Überprüfung vor Ort (z. B. min. einmal pro Woche/ einmal pro Monat/Arbeitstäglich) – Anlass bezogene Begehungen

Enge Zusammenarbeit mit Sicherheitsfachkraft und Betriebsarzt/Betriebsärztin

- Unterweisung der Mitarbeiter im Laserbereich gem. Liste XX
- Absprache mit dem/der Abteilungsleiter/in Herrn/Frau _____ bezüglich elektrischer Gefährdung; Brandschutz; Absaugung, usw.

Ort, Datum

Unterschrift des/der Laserschutzbeauftragten

Ort, Datum

Unterschrift Arbeitgebers/Arbeitgeberin

Anhang 9 – Muster für die Dokumentation der Unterweisung

Bestätigung der Unterweisung nach § 8 OStrV

Name und Anschrift des Betriebs: _____

Betriebsteil, Arbeitsbereich: _____

Durchgeführt von: _____

Durchgeführt am: _____

Unterweisungsinhalte (insbesondere Gefahrenquellen, Maßnahmen zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz, Erste Hilfe):

Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich an der Unterweisung teilgenommen und den Inhalt verstanden habe.

Name, Vorname, Unterschrift

Bemerkungen:

Unterschrift des/der Unterweisenden

Geschäftsleitung z. K.

Anhang 10 – Beispiel für eine Betriebsanweisung

Firma:

Anschrift:

Telefon:

Arbeitsbereich:

Verantwortlich:

Unterschrift:

Betriebsanweisung

Laserschutzbeauftragter

1. Anwendungsbereich

Lasereinrichtungen in leitergebundenen Kommunikationslagen

Schutzkonzept für den Umgang mit Lasereinrichtungen in leitergebundenen Kommunikationsanlagen

2. Gefahren für Mensch und Umwelt

Laser erzeugen eine äußerst intensive, stark gebündelte, sichtbare oder unsichtbare Lichtstrahlung, die eine Schädigung des Auges und Verbrennungen der Haut hervorrufen kann. Die Schädigung kann ohne Wahrnehmung oder Schmerzempfinden eintreten.

Die betriebenen Lasereinrichtungen sind dem Gefährdungsgrad 1M zugeordnet. Die aus der Laserquelle austretende Strahlung kann gefährlich sein, insbesondere, wenn sie mit optischen Instrumenten (z. B. Mikroskop) betrachtet wird.

Laserquellen können sein:

Geöffnete Stecker, Faserbruchstellen, zu spleißende Faserenden und Strahlaustrittsfläche von Laserdioden (LD) und Licht emittierenden Dioden (LED).

3. Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Laserquellen dürfen nicht an die Haut gehalten werden und sind immer etwa eine Armlänge vom Auge entfernt zu halten.

Stecker sind immer geschlossen zu halten oder mit einer Schutzkappe zu versehen.

Eine Betrachtung mit bloßem Auge aus kürzerer Entfernung oder mit Mikroskop ist nur zulässig, wenn

- der betreffende Laser außer Betrieb ist und
- gegen Wiedereinschalten gesichert ist und
- mit einem optischen Leistungsmesser festgestellt wurde, dass Leistungsfreiheit herrscht.

Räume, in denen Lasereinrichtungen des Gefährdungsgrades „3B“ betrieben werden, sind mit dem dreieckigen Warnzeichen „Warnung vor Laserstrahl“ und dem Zusatzzeichen zu kennzeichnen:



4. Verhalten bei Unfällen – Erste Hilfe



Bei Verbrennungen der Haut ist für ausreichende Kühlung zu sorgen und der Arzt aufzusuchen. Wenn eine versehentliche Augenbestrahlung vermutet wird oder Nachbilder auftreten, ist sofort die nächstgelegene Augenklinik bzw. Augenarztpraxis aufzusuchen

Anmerkung:

Die Betriebsanweisung ist gemäß Anhang 5 TROS Laserstrahlung Teil 3 zu gestalten.

Anhang 11 – Relevante Literatur

EU-Richtlinie 2006/25/EG vom April 2006

Die EU-Richtlinie 2006/25/EG regelt den Arbeitsschutz für künstliche optische Strahlung in der Europäischen Union. In diesem Dokument wurden die Expositions-Grenzwerte (EGW) für Laserstrahlung festgelegt. Unter anderem wird die Einhaltung der EGW für Arbeitnehmer gefordert, dazu Risikobewertung und entsprechende Schutzmaßnahmen.

Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV)

Die OStrV ist die deutsche Umsetzung der EU-Richtlinie. Sie basiert auf den EGW der EU-Richtlinie. Als deutsche Besonderheit werden Fachkundige und Laserschutzbeauftragte (Sachkundige) unterschieden. Der Fachkundige ist verantwortlich für Gefährdungsbeurteilung; der/die Laserschutzbeauftragte soll den Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin bei der Durchführung der Maßnahmen unterstützen und den sicheren Betrieb überwachen.

Technische Regel zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – TROS Laserstrahlung

In der TROS Laserstrahlung werden die Anforderungen der OStrV bezüglich Laserstrahlung konkretisiert und detailliert. Sie besteht aus vier Teilen:

- Teil: Allgemeines
- Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung
- Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung
- Teil 3: Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung

DIN EN 60825-1 Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen

Das ist die Grundnorm der Laser-Produktsicherheit, mit der die Anforderungen der EU-Niederspannungsrichtlinie erfüllt werden sollen. Der wichtigste Teil ist die Klassifizierung von Lasern. In Zusammenhang mit LWLKS müssen Laser und Laserkomponenten, die auch außerhalb des LWLKS betrieben werden können, klassifiziert werden. Die Hersteller von Lasereinrichtungen müssen je nach Laserklasse bestimmte Konstruktionsanforderungen erfüllen. Die EGW der TROS Laserstrahlung werden allerdings nur von der Laserklasse 1 der (inzwischen nicht mehr gültigen) Ausgabe 2008 der DIN EN 60825-1 eingehalten.

DIN EN 60825-2 Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)

Im Normalbetrieb ist ein LWLKS vollkommen geschlossen, so dass keine Gefährdung durch Laserstrahlung besteht. Gefährdungen durch Laserstrahlung entstehen insbesondere im Service- und Wartungsfall. Deshalb werden in der DIN EN 60825-2 hauptsächlich Gefährdungen durch Laserstrahlung behandelt, die bei Öffnung eines LWLKS entstehen. Entsprechend müssen für die zugänglichen Komponenten eines LWLKS Gefährdungsgrade (im Gegensatz zu Laserklassen) festgelegt werden. Da die Messbedingungen zur Bestimmung des Gefährdungsgrads unterschiedlich zu denen der Klassifizierung sind, können Laserklasse und Gefährdungsgrad derselben Quelle oder Komponente unterschiedlich sein. Falls ein solches Bauteil sowohl unabhängig als auch im LWLKS betrieben werden kann, kann es doppelt gekennzeichnet sein, mit einer Laserklasse und einem Gefährdungsgrad. Der Gefährdungsgrad kann mit Hilfe von automatischen Abschaltungen oder Leistungsreduzierungen reduziert werden. Zum Beispiel ist es möglich, für eine im Lichtwellenleiter geführte Leistung entsprechend der Laserklasse 3B mit Hilfe einer automatischen Abschaltung den Gefährdungsgrad 1 zu erreichen. Die Betreiber eines LWLKS müssen abhängig vom Gefährdungsgrad und vom Einsatzort bestimmte Maßnahmen ergreifen.

Anhang 12 – Literaturverzeichnis

A12.1 Gesetze, Verordnungen

Bezugsquellen:

Buchhandel und Internet:

z. B www.gesetze-im-internet.de

- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
- Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) und zugehörige Verordnungen
- Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV)
- Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)
- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)
- Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR)
- Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)
- Biostoffverordnung (BioStoffV)
- Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (Arb-MedVV)
- TROS Laserstrahlung Teil Allgemeines
- TROS Laserstrahlung Teil 1 Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung
- TROS Laserstrahlung Teil 2 Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung
- TROS Laserstrahlung Teil 3 Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung
- TRGS 723 Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische

A12.2 Vorschriften, Regeln, Informationen und Grundsätze für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

Bezugsquellen:

Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger und unter www.dguv.de/publikationen

Vorschriften

- DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“
- DGUV Vorschrift 3 und 4 „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“

Regeln

- DGUV Regel 100-001 „Grundsätze der Prävention“
- DGUV Regel 113-001 „Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)“

Informationen

- DGUV Information 203-042 Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen, Laser-Justierbrillen und Laser-Schutzabschirmungen
- DGUV Information 204-001 „Erste Hilfe“ (Plakat, DIN A2)
- DGUV Information 204-006 „Anleitung zur Ersten Hilfe“
- DGUV Information 204-022 „Erste Hilfe im Betrieb“
- DGUV Information 211-005 „Unterweisung – Bestandteil des betrieblichen Arbeitsschutzes“
- DGUV Information 211-010 „Sicherheit durch Betriebsanweisungen“
- DGUV Information 212-515 „Persönliche Schutzausrüstungen“

A12.3 Normen/VDI- und VDE-Richtlinien

Bezugsquellen der aktuellen Ausgaben:

Beuth Verlag GmbH,

Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin,

www.beuth.de

- DIN EN 207:2017-05
Persönlicher Augenschutz, Filter und Augenschutzgeräte gegen Laserstrahlung (Laserschutzbrillen),
- DIN EN 208:2010-04
Persönlicher Augenschutz – Augenschutzgeräte für Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justierbrillen),
- DIN EN 12254:2012-04
Abschirmungen an Laserarbeitsplätzen; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung,
- DIN EN 50173-1:2018-10;
VDE 0800-173-1 Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 50173-1:2018
- DIN EN 50173-2:2018-10; VDE 0800-173-2
Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen – Teil 2: Bürobereiche; Deutsche Fassung EN 50173-2:2018
- DIN EN 50173-3:2018-10; VDE 0800-173-3
Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen – Teil 3: Industriell genutzte Bereiche; Deutsche Fassung EN 50173-3:2018

- DIN EN 50173-4:2018-10; VDE 0800-173-4
Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen – Teil 4: Wohnungen; Deutsche Fassung EN 50173-4:2018
- DIN EN 50173-5:2018-10; VDE 0800-173-5
Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen – Teil 5: Rechenzentrumsbereiche; Deutsche Fassung EN 50173-5:2018
- DIN EN 50173-6:2018-10; VDE 0800-173-6
Informationstechnik – Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen – Teil 6: Verteilte Gebäudedienste; Deutsche Fassung EN 50173-6:2018
- DIN EN 60825-1 (VDE 0837 Teil1)
Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien,
- DIN EN 60825-2 (VDE 0837 Teil 2)
Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen
- DIN EN 61300-3-35:2016-04
Lichtwellenleiter – Verbindungselemente und passive Bauteile – Grundlegende Prüf- und Messverfahren – Teil 3-35: Untersuchungen und Messungen – Visuelle Inspektion von Lichtwellenleiter-Steckverbindern und Faser Stub-Transceivern (IEC 61300-3-35:2015); Deutsche Fassung EN 61300-3-35:2015
- DIN EN 61280-1-1:2014-04; VDE 0885-801-1:2014-04
Lichtwellenleiter-Kommunikationsuntersysteme – Grundlegende Prüfverfahren – Teil 1-1: Prüfverfahren für allgemeine Kommunikationsuntersysteme – Messung der Senderausgangsleistung für Einmoden-LWL-Kabel (IEC 61280-1-1:2013); Deutsche Fassung EN 61280-1-1:2013
- DIN 61755-1:2019-07
Lichtwellenleiter – Verbindungselemente und passive Bauteile – Optische Schnittstellen für Lichtwellenleiter-Steckverbinder – Teil 2-2: Verbindungsparameter von nicht-dispersionsverschobenen Einmodenfasern mit physikalischem Kontakt – angeschrägt

A12.4 Sonstiges – ITU-Empfehlungen

Bezugsquelle:

ITU

Place des Nations

CH-1211 Geneva 20

Switzerland

<http://www.itu.int/ITU-T/>

- ITU-T G.650.2 „Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single mode optical fibre and cable“
- ITU-T G.651 „Characteristics of a 50/125 um multimode graded index optical fibre cable“
- ITU-T G.652 „Characteristics of a single-mode optical fibre and cable“
- ITU-T G.653 „Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable“
- ITU-T G.654 „Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable“
- ITU-T G.655 „Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable“
- ITU-T G.664 „Optical safety procedures and requirements for optical transport systems“

Erläuterung zur Anwendung der Normen und Regeln:

Entsprechend dem Produktsicherheitsgesetz (PSG) ist die mögliche (Augen-) Gefährdung von Personen durch Laserstrahlung generell – also auch durch LWLKS – zu bewerten.

Wichtige Normen sind hierbei die jeweiligen Ausgaben der DIN EN 60825-1 „Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien“, und der DIN EN 60825-2 „Sicherheit von Laser Einrichtungen; Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen“.

Die Hersteller von gebrauchsfertigen LWLKS sollten diese Normen in ihrer Herstellererklärung CE nach Niederspannungsrichtlinie aufgeführt haben.

Sämtliche Stellen eines LWLKS, bei denen unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen Strahlung zugänglich werden kann, sind bezüglich ihres Gefährdungspotenzials zu bewerten. Derartige „Standorte“ sind in erster Linie Schalt-, Mess-, Anschluss- und Verteilerstellen mit lösbaren LWL-Verbindern. Dort ist je nach Zutrittsmöglichkeit die entsprechende „Art des Standortes“ („uneingeschränkt, eingeschränkt oder kontrolliert“) festzulegen. „Standorte mit kontrolliertem und eingeschränktem Zugang“ sind z. B. der Allgemeinheit aufgrund administrativer oder technischer Maßnahmen unzugänglich. Dort darf grundsätzlich nur autorisiertes Personal arbeiten, das im Falle kontrollierten Zugangs zusätzlich über eine Lasersicherheitsausbildung verfügt. Nur „Standorte mit uneingeschränktem Zugang“ sind allgemein zugänglich.

Entsprechend der an den jeweiligen Standorten unter Umständen zugänglichen Strahlungsleistungen ergibt sich der jeweilige „Gefährdungsgrad“ (die Nummerierung entspricht den Laserklassen, siehe Kapitel 4). Standorttyp und Gefährdungsgrad bestimmen zusammen die im Einzelfall zu ergreifenden Sicherheitsmaßnahmen.

Eigenständige Sende- oder Messgeräte, die auch ohne angeschlossenes LWLKS betrieben werden können, sind wie jedes andere Lasergerät zu klassifizieren.

Eine Klassifizierung ist nicht notwendig, wenn z. B. das Sendegerät ausschließlich mit angeschlossenem LWLKS betrieben und sichergestellt werden kann, dass keine Strahlung einer höheren Laserklasse als derjenigen von Laserklasse 1 zugänglich werden kann.

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de