

Strahlungssicherheit von Laser-EinrichtungenKlassifizierung von Anlagen, Anforderungen, Benutzer-Richtlinien
Identisch mit IEC 825 Ausgabe 1984**DIN****VDE 0837**Diese Norm enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm **IEC 825**

Diese auch vom Vorstand des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V. genehmigte Norm ist damit zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter obenstehender Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.

Radiation safety of laser products;
equipment classification, requirements, user's guide;
Identical with IEC 825 edition 1984

Sécurité du rayonnement des appareils laser;
classement des matériels, règles, guide de l'utilisateur;
Identique à CEI 825 édition 1984

Die Internationale Norm IEC 825, 1. Ausgabe, 1984, „Radiation safety of laser products, equipment classification, requirements and user's guide“, ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm (VDE-Bestimmung) gilt ab 1. Februar 1986.

Entwurf war veröffentlicht als DIN IEC 76(CO)6/VDE 0837/05.81.

Nationales Vorwort

Diese Norm ist die deutsche Übersetzung der von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC), Technisches Komitee (TC) 76, herausgegebenen Publikation IEC 825.

Der Inhalt der Publikation IEC 825 wurde ohne Abweichungen, sachlich und redaktionell unverändert, in die vorliegende Norm übernommen. Die Norm enthält demgemäß Aussagen und Formulierungen, die sich aus dem Aufbau und dem Charakter des IEC-Schriftstückes ergeben und die möglicherweise nicht in allen Einzelheiten den für das DIN-Normenwerk und das VDE-Vorschriftenwerk geltenden Regeln entsprechen.

Zu der Fußnote ¹⁾ auf Seite 4 sowie zu dem Hauptabschnitt 3 wird darauf hingewiesen, daß in der Bundesrepublik Deutschland für das Betreiben von Lasereinrichtungen die Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (VBG 93) gilt. International ist das Betreiben von Lasereinrichtungen in Hauptabschnitt 3 als Richtlinie festgelegt.

Da die in Tabelle V aufgeführte Additivität zur Ermittlung der Grenzwerte für die zugängliche Strahlung, die durch den Hersteller für die Klassifizierung zu erfolgen hat, notwendig ist, wurde diese im Hauptabschnitt 2, „Anforderungen für die Herstellung“, ebenfalls aufgenommen.

Für die elektrische Sicherheit von Lasergeräten und -anlagen gilt DIN VDE 0836. Da in der englischen Originalfassung die Begriffe in Abschnitt 3 alphabetisch geordnet sind, und diese Reihenfolge wegen der formgetreuen Übernahme beibehalten werden mußte, ist im folgenden zur leichteren Anwendbarkeit der (deutsche) Querverweis aufgeführt.

Fortsetzung Seite 2 bis 48

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)

Begriffe		Seite			Seite
Abdeckung	Abschnitt 3.1	5	Laserschutzbeauftragter	Abschnitt 3.36	6
Alpha min ($\alpha_{\min}$)	Abschnitt 3.5	5	Laserstrahlung	Abschnitt 3.35	6
Anschluß für fernbediente Sicherheitsverriegelung	Abschnitt 3.59	8	Meßapertur (Meßblende)	Abschnitt 3.7	5
Ausfallsicher	Abschnitt 3.23	6	Maximale Ausgangsstrahlung	Abschnitt 3.42	7
Ausgedehnte Quelle	Abschnitt 3.22	6	Maximal zulässige Bestrahlung		
Austrittsöffnung (Apertur)	Abschnitt 3.6	5	MZB (Maximum Permissible Exposure (MPE))	Abschnitt 3.43	7
Begleitstrahlung	Abschnitt 3.14	5	Modenkopplung	Abschnitt 3.45	7
Bestrahlung	Abschnitt 3.56	8	Nivellier-Laser	Abschnitt 3.38	7
Bestrahlungsstärke	Abschnitt 3.28	6	Normalbetrieb	Abschnitt 3.48	7
Dauerstrich-Laser (continuous wave: CW)	Abschnitt 3.16	6	Optische Dichte	Abschnitt 3.49	7
Diffuse Reflexion	Abschnitt 3.18	7	Organisatorische Sicherheitsmaßnahmen	Abschnitt 3.3	5
Direkter Blick in den Strahl (Punktquellenbetrachtung)	Abschnitt 3.27	6	Positionierlaser	Abschnitt 3.66	8
Emissionsdauer	Abschnitt 3.20	6	Reflexionsgrad	Abschnitt 3.58	8
Expositionsdauer	Abschnitt 3.21	6	Richtungsveränderliche Laserstrahlung (scanning)	Abschnitt 3.61	8
Gebündelter Strahl	Abschnitt 3.15	5	Schutzabdeckung	Abschnitt 3.50	7
Gekapselte Laser-Einrichtung	Abschnitt 3.19	6	Schutzgehäuse	Abschnitt 3.51	7
Grenzapertur (Grenzblende)	Abschnitt 3.40	7	Service	Abschnitt 3.62	8
Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS)	Abschnitt 3.2	5	Service-Abdeckung	Abschnitt 3.64	8
Grenzwinkel ($\alpha_{\min}$)	Abschnitt 3.39	7	Service-Verbindung	Abschnitt 3.63	8
Impulsdauer	Abschnitt 3.52	7	Sicherheitsabstand (Nominal Ocular Hazard Distance: NOHD)	Abschnitt 3.47	7
Impulslaser	Abschnitt 3.53	7	Sicherheitsverriegelung	Abschnitt 3.60	8
Laser	Abschnitt 3.29	6	Sicherheitsverriegelung (ausfallsicher)	Abschnitt 3.24	6
Laserbereich (Nominal Ocular Hazard Area: NOHA)	Abschnitt 3.46	7	Sichtbare Strahlung (Licht)	Abschnitt 3.69	8
Laser-Einrichtung	Abschnitt 3.34	6	Spiegelnde Reflexion	Abschnitt 3.65	8
Laser-Einrichtung der Klasse 1	Abschnitt 3.10	5	Strahlaufweiter	Abschnitt 3.9	5
Laser-Einrichtung der Klasse 2	Abschnitt 3.11	5	Strahldichte	Abschnitt 3.54	7
Laser-Einrichtung der Klassen 3A und 3B	Abschnitt 3.12	5	Strahldivergenz (Gaußsches Strahlenbündel)	Abschnitt 3.8	5
Laser-Einrichtung der Klasse 4	Abschnitt 3.13	5	Strahlungsenergie	Abschnitt 3.55	8
Laser-Einrichtungen für medizinische Zwecke	Abschnitt 3.44	7	Strahlungsleistung	Abschnitt 3.57	8
Laser-Einrichtungen für Vorführzwecke	Abschnitt 3.17	5	Transmissionsgrad	Abschnitt 3.68	8
Laser-Energieversorgung	Abschnitt 3.31	6	Vermessungslaser	Abschnitt 3.4	5
Lasergefährlicher Bereich	Abschnitt 3.32	6	Wartung durch den Benutzer	Abschnitt 3.41	7
Lasergerät	Abschnitt 3.37	7	Werkzeug	Abschnitt 3.67	8
Laser-Überwachungsbereich	Abschnitt 3.30	6	Zeitliches Integral der Strahldichte	Abschnitt 3.26	6
Laser-Lichtleiter-Übertragungssystem	Abschnitt 3.33	6	Zugängliche Strahlung (Human access)	Abschnitt 3.25	6

Deutsche Übersetzung
Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC)
Strahlungssicherheit von Laser-Einrichtungen
Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien

Abschnitt	Inhalt	Seite
	Hauptabschnitt 1 – Allgemeines	
1	Anwendungsbereich	4
2	Zweck	4
3	Begriffe	5
	Hauptabschnitt 2 – Anforderungen für die Herstellung	
4	Konstruktions-Merkmale	8
4.1	Allgemeine Bemerkungen	8
4.2	Schutzgehäuse	8
4.3	Sicherheitsverriegelungen	9
4.4	Anschluß für fernbediente Sicherheitsverriegelung	9
4.5	Schlüsselschalter	9
4.6	Emissions-Warneinrichtung	9
4.7	Strahlfänger oder -abschwächer	9
4.8	Steuer- und Bedieneinrichtungen	9
4.9	Beobachtungsoptiken	10
4.10	Sicherheitsvorrichtung bei richtungsveränderlicher Strahlung	10
5	Beschilderung	10
5.1	Allgemeines	10
5.2	Klasse 1	10
5.3	Klasse 2	10
5.4	Klasse 3A	10
5.5	Klasse 3B	10
5.6	Klasse 4	10
5.7	Schild an der Strahlaustrittsöffnung	10
5.8	Kennzeichnung der abgegebenen Strahlung	10
5.9	Schilder für Abdeckungen	10
5.10	Warnung vor unsichtbarer Laserstrahlung ..	11
6	Weitere erforderliche Angaben	11
6.1	Information für den Benutzer	11
6.2	Kauf- und Service-Unterlagen	11
7	Zusätzliche Anforderungen an besondere Laser-Einrichtungen	11
7.1	Laser-Einrichtungen für medizinische Zwecke	11
7.2	Laser-Lichtleiter-Übertragungssystem	12
8	Prüfungen	12
8.1	Allgemeines	12
8.2	Messungen der Laserstrahlung zur Klassenbestimmung	12
9	Klassifizierung	13
9.1	Einführung	13
9.2	Definition der Laser-Klassen	13
9.3	Vorgehensweise bei der Klassifizierung	13
9.4	Wiederholt gepulste oder modulierte Laser ..	13
	Hauptabschnitt 3 – Richtlinien für den Benutzer	
10	Sicherheitsvorkehrung	19
10.1	Allgemeines	19
10.2	Benutzung des Anschlusses für fernbediente Sicherheitsverriegelung	19
10.3	Schlüsselschalter	19
10.4	Strahlfänger oder -abschwächer	19
10.5	Warnzeichen	19
10.6	Strahlwege	19
10.7	Spiegelnde Reflexion	19
10.8	Augenschutz	19
10.9	Schutzkleidung	20
10.10	Ausbildung	20
10.11	Medizinische Überwachung	20
11	Gefahren, die mit dem Betrieb von Lasern verbunden sein können	20
11.1	Luftverschmutzung	20
11.2	Gefahren durch Begleitstrahlung	21
11.3	Elektrische Gefahren	21
11.4	Kryogene Kühlmittel	21
11.5	Andere Gefahrenquellen	21
12	Vorgehensweise zur Abwendung von Gefahren	21
12.1	Allgemeines	21
12.2	Gefahrenabschätzung bei Lasern der Klasse 3B und Klasse 4 bei Benutzung im Freien	21
12.3	Persönliche Schutzvorkehrungen	21
12.4	Laser-Einrichtungen für Vorführzwecke, Anzeigezwecke und Ausstellungen	22
12.5	Laser-Einrichtungen in Labors und Arbeitsstätten	22
12.6	Laser-Einrichtungen auf Baustellen und zur Benutzung im Freien	22
13	Maximal zulässige Bestrahlung	23
13.1	Allgemeine Bemerkungen	23
13.2	Grenzaperturen	24
13.3	Wiederholt gepulste oder modulierte Laser ..	24
	Bilder	28
Anhang A	Berechnungsbeispiele	36
Anhang B	Medizinische Betrachtungen	41
Anhang C	Literaturverzeichnis	44
Anhang D	Zusammenfassende Tabellen	45

Vorwort

1. Die offiziellen Beschlüsse oder Vereinbarungen der IEC über technische Fragen, die in Technischen Komitees von Vertretern aller an dem behandelten Thema besonders interessierten nationalen Komitees erarbeitet werden, bringen das höchstmögliche Maß internationaler Übereinstimmung für das behandelte Sachgebiet zum Ausdruck.
2. Sie stellen Empfehlungen zur internationalen Anwendung dar und sind als solche von den nationalen Komitees angenommen.
3. Um die internationale Vereinheitlichung zu fördern, wünscht die IEC, daß alle nationalen Komitees den Text der IEC-Empfehlungen so weit in ihre nationale Regeln übernehmen, wie es die Gegebenheiten im jeweiligen Land gestatten. Jede Abweichung zwischen der IEC-Empfehlung und der entsprechenden nationalen Regel sollte in dieser, soweit möglich, deutlich gekennzeichnet werden.

Einleitung

Diese Norm wurde vom Technischen Komitee Nr 76 der IEC: „Laser-Einrichtungen“ ausgearbeitet.

Der Text dieser Norm beruht auf folgenden Schriftstücken:

6-Monats-Regel 76(CO)6	Abstimmungsbericht 76(CO)7	2-Monats-Verfahren 76(CO)8	Abstimmungsbericht 76(CO)11
---------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------

Weitere Informationen können aus den entsprechenden Abstimmungsberichten entnommen werden, die in der obigen Tabelle angegeben sind.

Die folgenden IEC-Publikationen werden in dieser Norm genannt:

Publikation IEC 27-1 (1971): EC 50(45) (1970):	Formelzeichen für die Elektrotechnik, Teil 1: Allgemeines Internationales Wörterbuch (IEV), Kapitel 45: Beleuchtung
---	--

Weitere genannte Publikation:

ISO 1000 (1981):	SI-Einheiten und Empfehlungen zum Gebrauch ihres Vielfachen und bestimmter anderer Einheiten
------------------	--

Hauptabschnitt 1 – Allgemeines

1 Anwendungsbereich

Diese Norm ist anzuwenden auf die von Laser-Einrichtungen ausgehende Strahlung. Die Anforderungen an die elektrische Sicherheit sind in einer anderen, in Vorbereitung befindlichen IEC-Norm ausführlich beschrieben. Zur Erleichterung wurde diese Norm in drei getrennte Hauptabschnitte gegliedert:

- Hauptabschnitt 1 und die Anhänge (für alle Beteiligten von Interesse)
- Hauptabschnitt 2 („Anforderungen an die Herstellung“) und
- Hauptabschnitt 3 („Richtlinien für den Benutzer“)¹⁾

Eine Laser-Einrichtung kann aus einem einzigen Laser – mit oder ohne getrenntem Versorgungsgerät – bestehen, oder kann einen oder mehrere Laser in einem komplexen optischen, elektrischen oder mechanischen System umfassen. Laser-Einrichtungen werden typischerweise zur Demonstration physikalischer und optischer Erscheinungen, zur Materialbearbeitung, zum Lesen von Daten und deren Speicherung, zur Übertragung und Anzeige von Informationen usw. eingesetzt. Solche Einrichtungen werden in der Industrie, im kaufmännischen Bereich, im Unterhaltungssektor, in der Forschung, Ausbildung und in der Medizin benutzt.

Laser-Einrichtungen, die an andere Hersteller als Komponenten für beliebige Systeme zum Weiterverkauf geliefert werden, sind nicht Gegenstand dieser Norm, weil das Endprodukt selbst Gegenstand dieser Norm sein wird.

¹⁾ In einigen Ländern bestehen von dieser Norm abweichende Anforderungen. Daher sollte bezüglich dieser Anforderungen Verbindung mit den zuständigen nationalen Stellen aufgenommen werden.

Die MZB (MPE)-Werte (maximal zulässige Bestrahlung) dieser Norm wurden für Laserstrahlung festgelegt und schließen Begleitstrahlung nicht ein. Die MZB (MPE)-Werte gelten nicht für Patienten, welche zum Zweck medizinischer Behandlung der Laserstrahlung ausgesetzt werden.

Anmerkung: Die Anhänge A bis D sind zur allgemeinen Anleitung und Erläuterung zahlreicher typischer Fälle aufgenommen worden. Die Anhänge dürfen nicht als endgültig oder vollständig betrachtet werden und es sollte stets auf die entsprechenden Abschnitte in den Hauptabschnitten 1 bis 3 Bezug genommen werden.

2 Zweck

2.1 Der Schutz von Personen vor Laserstrahlung im Wellenlängenbereich von 200 nm bis 1 mm²⁾ durch Angabe sicherer Arbeitsgrenzwerte für Laserstrahlung und durch Einführung eines auf den Grad der Gefährdung bezogenen Klassifizierungsschemas für Laser-Einrichtungen.

2.2 Die Festschreibung von Anforderungen an Benutzer und Hersteller, Vorgehensweisen festzulegen und Angaben zu liefern, damit angemessene Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden können.

2.3 Sicherstellung der angemessenen Warnung von Personen durch Zeichen, Aufschriften und Anweisungen über die Gefährdung, welche mit der zugänglichen Strahlung von Laser-Einrichtungen verbunden sind.

2.4 Die Herabsetzung der Verletzungsmöglichkeiten durch Verringerung von unnötiger zugänglicher Strah-

²⁾ In dieser Norm bedeutet der Wellenlängenbereich λ_1 bis λ_2 , der Bereich $\lambda, \leq \lambda_1 < \lambda_2$ (z. B. 200 nm bis 1 nm bedeutet $200 \text{ nm} \leq \lambda < 1 \text{ nm}$).

lung und durch verbesserte Kontrolle der Laserstrahlung, durch Schutzvorrichtungen und Vorsorge für sichere Benutzung durch Angabe von Kontrollmaßnahmen für den Benutzer.

3 Begriffe³⁾

Im Sinne dieser Norm gelten die folgenden Definitionen.

3.1 Abdeckung

Ein Teil des Schutzgehäuses oder einer Umschließung, das den Zugang zu Laserstrahlung ermöglicht, wenn es abgenommen oder verschoben wird.

3.2 Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS)

Der Maximalwert zugänglicher Strahlung, der innerhalb einer bestimmten Klasse zugelassen ist (engl. AEL: Accessible emission limit).

3.3 Organisatorische Sicherheitsmaßnahmen

Sicherheitsmaßnahmen nicht konstruktiver Art, wie z. B. Schlüsselberechtigung, Sicherheitsschulung des Personals, Warnhinweise, Betriebsvorbereitungsabläufe (count down) und bereichsbezogene Sicherheitskontrollen.

3.4 Vermessungslaser

Eine Laser-Einrichtung, die zu einem der folgenden Zwecke konstruiert, hergestellt, vorgesehen oder in diesem Sinne vorgeschlagen wird:

- Bestimmen oder Zeichnen der Form, der Ausdehnung oder Lage eines Punktes, eines Körpers oder einer Fläche durch Winkelmessungen.
- Positionieren oder Justieren von Teilen in richtige Beziehung zueinander.
- Festlegen einer Ebene, eines Niveaus, einer Elevation oder einer geraden Linie.

3.5 Alpha min ($\alpha_{\min}$)

Siehe Grenzwinkel (Abschnitt 3.39).

3.6 Austrittsöffnung (Apertur)

Jede Öffnung im Schutzgehäuse oder einer anderen Umschließung einer Laser-Einrichtung, durch welche Laserstrahlung austritt, wodurch die Strahlung für Personen zugänglich wird.

3.7 Meßapertur (Meßblende)

Eine Öffnung, die dazu dient, die Fläche zu definieren, über welche Strahlung gemessen wird.

3.8 Strahldivergenz (Gaußsches Strahlenbündel)

Zur Abschätzung der Gefährdung durch Strahlung ist der Flächenwinkel des mittleren Strahlenkegels, der in jedem Querschnitt 63 % der gesamten Bestrahlungsleistung (oder -energie) umfaßt. Der Durchmesser des Kreises in jedem Querschnitt ist der Strahldurchmesser an diesem Punkt. Der Kreis ist die Trennung der Punkte, wo die Leistungs-(oder Energie-)dichte auf $1/e$ ihres

zentralen Spitzenwertes fällt. Sind die Strahldurchmesser d_1 und d_2 in Metern an den Stellen, die x Meter auseinanderliegen, dann errechnet sich die Strahldivergenz in Radianten aus:

$$(d_2 - d_1)/x$$

3.9 Strahlaufweiter

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

3.10 Laser-Einrichtung der Klasse 1

Jede Laser-Einrichtung, deren zugängliche Strahlung die Strahlungsgrenzwerte (GZS) der Klasse 1 für die zutreffenden Wellenlängen und Emissionszeiten nicht überschreitet (siehe Abschnitt 9.2).

3.11 Laser-Einrichtung der Klasse 2

Jede Laser-Einrichtung, deren

- zugängliche Strahlung die Strahlungsgrenzwerte (GZS) der Klasse 1 übersteigt, aber im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm die Strahlungsgrenzwerte (GZS) der Klasse 2 nicht überschreitet,
- zugängliche Strahlung die Strahlungsgrenzwerte (GZS) für Klasse 1 bei anderen Wellenlängen nicht überschreitet (siehe Abschnitt 9.2).

3.12 Laser-Einrichtung der Klassen 3A und 3B

Jede Laser-Einrichtung, deren zugängliche Strahlung die Strahlungsgrenzwerte (GZS) der Klasse 1 bzw. Klasse 2 übersteigt, aber deren zugängliche Strahlung die Strahlungsgrenzwerte (GZS) der Klasse 3A bzw. Klasse 3B für beliebige Emissionsdauern und Wellenlängen nicht überschreitet (siehe Abschnitt 9.2).

3.13 Laser-Einrichtung der Klasse 4

Jede Laser-Einrichtung, deren zugängliche Strahlung die Strahlungsgrenzwerte (GZS) der Klasse 3B übersteigt (siehe Abschnitt 9.2).

3.14 Begleitstrahlung

Jede elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 200 nm und 1 mm, mit Ausnahme von Laserstrahlung, die von Laser-Einrichtungen als Ergebnis oder aufgrund physikalischer Notwendigkeit für den Betrieb eines Lasers ausgeht.

3.15 Gebündelter Strahl

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

3.16 Dauerstrich-Laser (continuous wave: CW)

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

3.17 Laser-Einrichtungen für Vorführzwecke

Jede Laser-Einrichtung, welche zum Zwecke der Vorführung, Unterhaltung, Werbung, Anzeige oder der künstlerischen Darstellung hergestellt, konstruiert oder vorgesehen ist, oder die für diesen Zweck vorgeschlagen wird. Der Begriff „Laser-Einrichtungen für Vorführzwecke“ ist nicht anwendbar auf Laser-Einrichtungen, die für andere Anwendungen konstruiert oder vorgesehen sind, obwohl sie zur Vorführung dieser Anwendung benutzt werden können.

³⁾ Angeordnet in der alphabetischen Reihenfolge der englischen Begriffe. Abweichungen von Publikation IEC 50(45) Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch (IEV), Kapitel 45: Beleuchtung, sind beabsichtigt und angegeben.

3.18 Diffuse Reflexion

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

Anmerkung: Diese Definition ist abweichend von IEC 45-20-015.

3.19 Gekapselte Laser-Einrichtung

Im Sinne dieser Norm eine Laser-Einrichtung, welche aufgrund von Konstruktionsmerkmalen, die die zugängliche Strahlung begrenzt, einer niedrigeren Klasse zugeordnet ist, als es den eigentlichen Werten des eingebauten Lasers entspricht.

3.20 Emissionsdauer

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

3.21 Expositionsdauer

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

3.22 Ausgedehnte Quelle

Eine Laserstrahlungsquelle, deren Ausdehnung vom Auge unter einem Winkel gesehen wird, der größer als der Grenzwinkel ($\alpha_{\min}$) ist.

Anmerkung: Die Quelle des Laserstrahles kann direkt oder indirekt über spiegelnde oder diffuse Reflexion erblickt werden.

3.23 Ausfallsicher

Die Konstruktionsmaßnahme, bei welcher das Versagen eines Bauteils die Gefährdung nicht erhöht. Im gestörten Betrieb muß die Einrichtung abgeschaltet werden oder ungefährlich bleiben.

3.24 Sicherheitsverriegelung (ausfallsicher)

Verriegelung, die im gestörten Betrieb die beabsichtigte Wirkung nicht aufhebt, z. B. eine Verriegelung, die zwangsläufig in die AUS-Stellung geht, sobald eine klappbare Abdeckung sich zu öffnen beginnt oder bevor eine abnehmbare Abdeckung entfernt worden ist und die zwangsläufig in der AUS-Stellung gehalten wird, bis die klappbare Abdeckung geschlossen oder die abnehmbare Abdeckung in der geschlossenen Stellung verriegelt ist.

3.25 Zugängliche Strahlung (Human access)

Laserstrahlung, die in der Lage ist, einen Teil des menschlichen Körpers zu treffen und zu gefährden. Diese Strahlung kann entweder durch eine Apertur, infolge Ablenkung mittels eines Reflektors bzw. eines Lichtleiters austreten. Die Exposition kann auch durch Hineinbringen von Teilen des Körpers durch Öffnungen im Gehäuse erfolgen oder im gestörten Betrieb der Laser-Einrichtung auftreten.

3.26 Zeitliches Integral der Strahldichte

Das Integral der Strahldichte über eine gegebene Expositionsdauer ausgedrückt als Strahlungsenergie je Einheit einer strahlenden Oberfläche und je Raumwinkeleinheit

der Strahlung (üblicherweise angegeben in $\text{J} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sr}^{-1}$).

3.27 Direkter Blick in den Strahl (Punktquellenbe-trachtung)

Alle Sehbedingungen, unter denen das Auge der Laserstrahlung ausgesetzt ist, ausgenommen Betrachtung ausgedehnter Quellen.

3.28 Bestrahlungsstärke

An einem Punkt der Oberfläche der Quotient der Strahlungsleistung, die auf ein Oberflächenelement trifft, das diesen Punkt enthält, geteilt durch die Fläche dieses Elements.

$$\text{Symbol } E_e, E \quad E = \frac{d\Phi_e}{dA}$$

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

3.29 Laser

Jedes Gerät, welches dazu benutzt werden kann, elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 200 nm bis 1 mm, primär durch den Vorgang der kontrollierten stimulierten Emission zu erzeugen oder zu verstärken.

3.30 Laser-Überwachungsbereich

Ein Bereich, in dem das Betreten und die Tätigkeit von Personen zum Zwecke des Schutzes vor Laserstrahlungsgefährdung überwacht und kontrolliert wird.

3.31 Laser-Energieversorgung

Jedes Gerät, welches in Verbindung mit einem Laser dafür vorgesehen ist, die Energie für die Anregung von Elektronen, Ionen oder Molekülen zu liefern. Allgemeine Energiequellen, wie elektrische Netzversorgung oder Batterien, sind keine Laser-Energieversorgung im Sinne dieser Norm.

3.32 Lasergefährlicher Bereich

Siehe Laserbereich (NOHA) (Abschnitt 3.46).

3.33 Laser-Lichtleiter-Übertragungssystem

Eine Einrichtung, die aus einer oder mehreren Laserquellen und einem zugehörigen optischen Faserkabel besteht.

3.34 Laser-Einrichtung

Jede Einrichtung oder jede Zusammenstellung von Bauteilen, die einen Laser oder ein Lasergerät darstellen, enthalten oder später enthalten sollen, die nicht an einen anderen Hersteller zur Nutzung als Bauteil (oder als Ersatz eines solchen Bauteils) einer Einrichtung verkauft werden.

3.35 Laserstrahlung

Jede elektromagnetische Strahlung zwischen 200 nm und 1 mm, welche von einer Laser-Einrichtung emittiert wird und als Ergebnis kontrollierter stimulierter Emission entsteht.

3.36 Laserschutzbeauftragter

Eine Person, welche das Fachwissen hat, Gefährdungen durch Laser abzuschätzen und zu beherrschen, sowie die Verantwortung für die Überwachung der Schutzmaßnahmen gegen Lasergefährdung trägt.

3.37 Lasergerät

Ein Laser in Kombination mit einer passenden Laser-Energieversorgung, mit oder ohne weitere eingebaute Bauteile.

3.38 Nivellier-Laser

Siehe Vermessungslaser (Abschnitt 3.4).

3.39 Grenzwinkel ($\alpha_{\min}$)

Der Sehwinkel, unter welchem eine Laserquelle oder ein diffuser Reflex vom Auge des Betrachters aus erscheint. Er wird benutzt, um zwischen der Punktquellenbetrachtung und der Betrachtung einer ausgedehnten Quelle zu unterscheiden (siehe Bild 8). Dieses Konzept wird in Anhang B erläutert.

3.40 Grenzapertur (Grenzblende)

Die maximale kreisförmige Fläche, über welcher Bestrahlungsstärke und Bestrahlung gemittelt werden.

3.41 Wartung durch den Benutzer

Die Durchführung jener Justierungen oder Vorgänge, die in den vom Hersteller mit der Laser-Einrichtung gelieferten Informationen für den Benutzer beschrieben sind und vom Benutzer ausgeführt werden, um die vorgesehene Funktion der Einrichtung sicherzustellen. Betrieb oder Instandsetzung sind darin nicht enthalten.

3.42 Maximale Ausgangsstrahlung

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

3.43 Maximal zulässige Bestrahlung MZB (Maximum Permissible Exposure (MPE))

Der Grenzwert von Laserstrahlung, dem Personen unter üblichen Umständen ausgesetzt werden dürfen, ohne daß schädliche Folgen eintreten. Die MZB-Werte stellen die maximalen Grenzwerte dar, welchen das Auge oder die Haut ausgesetzt werden kann, ohne daß damit Verletzungen unmittelbar oder nach einer langen Zeit verbunden sind. Die MZB ist verknüpft mit:

- der Wellenlänge der Strahlung,
- der Impulsdauer oder der Expositionszeit,
- der Art der exponierten Organe und
- der Größe des Bildes auf der Netzhaut bei Strahlung im sichtbaren und im nahen Infrarot-Bereich (400 bis 1400 nm).

Die MZB-Werte sind in Abschnitt 13 (entsprechend dem derzeitigen Erkenntnisstand) angegeben. Anhang A gibt Beispiele für die Berechnung von MZB-Werten.

3.44 Laser-Einrichtungen für medizinische Zwecke

Jede Laser-Einrichtung, die zu dem Zweck der diagnostischen, chirurgischen oder therapeutischen Laserbestrahlung von Teilen des menschlichen Körpers *in vivo* hergestellt oder konstruiert, oder deren Einsatz für diesen Zweck beabsichtigt oder vorgeschlagen wird.

3.45 Modenkopplung

Ein Mechanismus oder eine Erscheinung innerhalb eines Laserresonators, welcher zur Erzeugung einer Folge sehr kurzer Impulse führt. Diese Erscheinung kann absichtlich herbeigeführt werden oder auch spontan als „selbständige Modenkopplung“ vorkommen. Die dabei

auftretenden Spitzenleistungen können beträchtlich höher sein als die mittlere Leistung.

3.46 Laserbereich (Nominal Ocular Hazard Area: NOHA)

Der Bereich, in welchem die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung die geltende maximal zulässige Bestrahlung der Hornhaut des Auges (MZB) übertreffen, einschließlich der Möglichkeit einer zufälligen Ablenkung des Laserstrahles. Schließt man die Möglichkeit der Betrachtung mittels optischer Hilfsmittel ein, so wird der entsprechende Bereich „Erweiterter Laserbereich“ genannt.

3.47 Sicherheitsabstand (Nominal Ocular Hazard Distance: NOHD)

Die Entfernung, bei welcher die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung unter den entsprechenden Grenzwert der maximal zulässigen Bestrahlung der Hornhaut des Auges (MZB) abgefallen ist. Schließt man beim Sicherheitsabstand auch die Möglichkeit der Betrachtung mit optischen Hilfsmitteln ein, so wird vom „Erweiterten Sicherheitsabstand“ gesprochen.

3.48 Normalbetrieb

Der Betrieb einer Laser-Einrichtung im gesamten vorgesehenen Funktionsbereich. Wartung durch den Benutzer und Service sind darin nicht enthalten.

3.49 Optische Dichte

Logarithmus zur Basis 10 des Kehrwertes des Transmissionsgrades (IEV 45-20-100).

Symbol D $D = -\log_{10} \tau$

3.50 Schutzabdeckung

Eine Vorrichtung, die die Exposition von Menschen durch Laserstrahlung verhindert, ausgenommen in Fällen, in welchen der Zugang zur Strahlung für die vorgesehene Funktion der Anlage notwendig ist.

3.51 Schutzgehäuse

Jene Teile einer Laser-Einrichtung (einschließlich Einrichtungen mit gekapselten Lasern), die dafür vorgesehen sind, zugängliche Strahlung zu verhindern, welche die vorgeschriebenen Strahlungsgrenzwerte (GZS) übersteigt (gewöhnlich vom Hersteller angebracht).

3.52 Impulsdauer

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

3.53 Impulslaser

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

3.54 Strahldichte

Die Strahlungsleistung je Flächeneinheit der strahlenden Oberfläche und je Raumwinkелеinheit der Strahlung.

Symbol L
$$L = \frac{d^2 \Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos \theta}$$

Einheit: Watt je Steradian und Quadratmeter
 $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

Anmerkung: Diese Definition ist eine vereinfachte Abwandlung von IEC 45-02-150, die für Zwecke die-

ser Norm ausreichend ist. In Zweifelsfällen gilt die IEV-Definition.

3.55 Strahlungsenergie

Energie, welche in Form von Strahlung ausgesandt, übertragen oder empfangen wird (IEV 45-05-130).

Symbol Q

Einheit: Joule (J)

3.56 Bestrahlung

An einem Punkt der Oberfläche der Quotient aus Strahlungsenergie, die auf ein Flächenelement trifft, das diesen Punkt enthält, und der Fläche dieses Elements (üblicherweise $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$).

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

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

3.57 Strahlungsleistung

Leistung, die in Form von Strahlung emittiert übertragen oder empfangen wird (IEV 45-05-135).

Symbol Φ_e, Φ, P $\Phi_e = \frac{dQ}{dt}$

Einheit: Watt W

3.58 Reflexionsgrad

Der Quotient aus gesamter reflektierter Strahlungsleistung und gesamter einfallender Strahlungsleistung (IEV 45-20-040).

Symbol ρ

3.59 Anschluß für fernbediente Sicherheitsverriegelung

Ein Anschluß, welcher es ermöglicht, externe Steuerelemente anzuschließen, die von anderen Bauteilen der Laser-Einrichtung getrennt aufgestellt sind (siehe Abschnitt 4.4).

3.60 Sicherheitsverriegelung

Eine selbsttätige Vorrichtung, die mit dem Schutzgehäuse einer Laser-Einrichtung verbunden ist, mit dem Ziel, den Zugang zur Laserstrahlung der Klasse 3 oder 4 zu verhindern, wenn dieser Teil des Gehäuses entfernt ist.

3.61 Richtungsveränderliche Laserstrahlung (scanning)

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

3.62 Service

Die Durchführung der Tätigkeiten oder Justierarbeiten, die in den Service-Unterlagen des Herstellers beschrieben sind, die irgendwelche Teile der Funktion der Einrichtung beeinflussen können. Wartung durch den Benutzer und Betrieb der Einrichtung sind darin nicht eingeschlossen.

3.63 Service-Verbindung

Eine Zugangsstelle in einem Laser-Lichtleiter-Übertragungssystem, welche für den Service vorgesehen ist und zu deren Trennung ein Werkzeug benötigt wird.

3.64 Service-Abdeckung

Eine Abdeckplatte, die beim Service entfernt oder verschoben wird.

3.65 Spiegelnde Reflexion

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

3.66 Positionierlaser

Siehe Vermessungslaser (Abschnitt 3.4).

3.67 Werkzeug

Beinhaltet einen Schraubendreher, eine Münze oder einen anderen Gegenstand, der benutzt werden kann, um eine Schraube oder ähnliche Befestigungsmittel zu betätigen.

3.68 Transmissionsgrad

Der Quotient aus gesamter durchgelassener Strahlungsleistung und gesamter einfallender Strahlungsleistung (IEV 45-20-085).

Symbol τ

3.69 Sichtbare Strahlung (Licht)

Jede Strahlung, die direkte Lichtempfindungen im Auge hervorrufen kann (IEV 45-05-25).

Anmerkung: In dieser Norm bedeutet dies die elektromagnetische Strahlung, deren monochromatische Komponente im Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 700 nm liegt.

Hauptabschnitt 2 – Anforderungen für die Herstellung

4 Konstruktions-Merkmale

4.1 Allgemeine Bemerkungen

Laser-Einrichtungen benötigen bestimmte eingebaute Sicherheitseinrichtungen, abhängig von der Klasse, der sie vom Hersteller zugeordnet worden sind. Die Anforderungen für diese sind in den Abschnitten 4.2 bis 4.10 festgelegt. Der Hersteller hat sicherzustellen, daß diejenigen Personen, die für die Klassifizierung der Laseranlagen und -geräte verantwortlich sind, die Kenntnisse besitzen, die für das Verständnis der Zusammenhänge des Klassifikations-Schemas notwendig sind.

4.1.1 Modifizierung

Für den Fall, daß die Modifizierung einer im Rahmen dieser Norm bereits klassifizierten Laser-Einrichtung in irgendeiner Hinsicht die Daten oder die vorgesehene Funktionsweise der Einrichtung berührt, so ist diejenige Person bzw. Organisation, die eine solche Änderung vornimmt, dafür verantwortlich, daß die erneute Klassifikation und neue Beschilderung der Laser-Einrichtung sichergestellt ist.

4.2 Schutzgehäuse

4.2.1 Allgemeines

Jede Laser-Einrichtung (einschließlich gekapselter Laser) muß ohne Rücksicht auf ihre Klasse ein Schutzgehäuse oder eine Schutzabdeckung haben, die durch ihre Funktion verhindert, daß sich Personen während des Betriebes:

- a) einer stärkeren Laserstrahlung aussetzen, als sie den Strahlungsgrenzwerten (GZS) für die Klasse 1 entspricht, wo und wann immer die zugängliche Strahlung, die die Grenzwerte der Klasse 1 überschreitet, für die Erfüllung der Funktion der Einrichtung nicht erforderlich ist; und
- b) einer stärkeren Laserstrahlung aussetzen, als sie den Strahlungsgrenzwerten (GZS) für die Klasse 2 oder 3 entspricht, wo und wann immer die zugängliche Strahlung, die die Grenzwerte der Klasse 2 bzw. Klasse 3 überschreitet, für die Erfüllung der Funktion der Einrichtung nicht erforderlich ist.

4.2.2 Service

Jeder Teil des Gehäuses oder der Abdeckung einer Laser-Einrichtung (einschließlich gekapselter Laser-Einrichtung), der zum Zwecke des Service abgenommen oder in seiner Lage verändert werden kann, und der einen Zugang zu Laserstrahlung, die die zugeordneten Strahlungsgrenzwerte (GZS) überschreitet, gestatten würde und der keine Sicherheitsverriegelung besitzt (siehe Abschnitt 4.3), muß so gesichert werden, daß zu dessen Abnahme oder Verlagerung Werkzeug benutzt werden muß.

4.2.3 Herausnehmbares Lasergerät

Wenn eine gekapselte Laser-Einrichtung oder ein Lasergerät aus ihrem/seinem Schutzgehäuse oder der Schutzabdeckung herausgenommen und ohne Modifizierung betrieben werden kann, dann muß der Laser den Anforderungen für die Herstellung nach den Abschnitten 4 und 5, die für seine Klasse gelten, genügen. Ausgenommen davon sind Laser-Einrichtungen, die an andere Hersteller als Bauteile für beliebige Systeme zum Weiterverkauf geliefert werden, die nicht Gegenstand dieser Norm sind, weil das Endprodukt selbst Gegenstand dieser Norm sein wird.

4.3 Sicherheitsverriegelungen

4.3.1 Abdeckplatten von Schutzgehäusen, deren Abnahme oder Lageveränderung während der Wartung durch den Benutzer oder des Betriebs vorgesehen ist und dem Benutzer Zugang zu Laser-Strahlung aus dem gekapselten Laser erlaubt, die über den Strahlungsgrenzwerten (GZS) der Klasse 1 oder der Klasse 2 **und** den Strahlungsgrenzwerten (GZS) der zugeordneten Klasse liegen, müssen mit Sicherheitsverriegelungen versehen sein. Die Sicherheitsverriegelung muß so konstruiert sein, daß die betreffende Abdeckplatte nicht abgenommen werden kann, solange die Werte der maximal zugänglichen Strahlung nicht niedriger liegen als die Grenzwerte der zulässigen Strahlung für die zugeordnete Klasse; unabsichtliches Zurücksetzen der Sicherheitsverriegelung darf nicht allein schon die Strahlungsgrenzwerte (GZS) über die für die zugeordnete Klasse steigen lassen.

4.3.2 Falls ein Überbrückungsmechanismus vorgesehen ist, muß der Hersteller auch angemessene Vorschriften über sichere Arbeitsmethoden liefern. Es darf nicht möglich sein, den Überbrückungsmechanismus funktionsfähig zu halten, wenn die Abdeckplatte in ihre übliche Stellung zurückgebracht ist. Die Sicherheitsverriegelung soll klar mit einem Schild nach Abschnitt 5.9.2 in Verbindung stehen. Die Benutzung der Überbrückung muß eine gut unterscheidbare sichtbare oder hörbare Warnung verursachen, immer dann, wenn der Laser mit Energie versorgt bzw. die Kondensatorbänke nicht voll-

kommen entladen sind, unabhängig davon, ob die Abdeckplatte entfernt oder verschoben ist, oder nicht. Sichtbare Warnungen müssen durch Augenschutzmittel, die zweckentsprechend konstruiert und für die Wellenlänge(n) der zugänglichen Laser-Strahlung spezifiziert sind, deutlich erkennbar sein.

4.4 Anschluß für fernbediente Sicherheitsverriegelung

Jede Laser-Einrichtung der Klasse 3B oder Klasse 4 muß einen eingebauten Anschluß für fernbediente Sicherheitsverriegelung besitzen. Wenn die Kontakte des Anschlusses der anzuschließenden Endgeräte offen sind, darf die zugängliche Strahlung des Lasers die Strahlungsgrenzwerte (GZS) für Klasse 1 und für Klasse 2 nicht überschreiten.

4.5 Schlüsselschalter

Jede Laser-Einrichtung der Klassen 3A, 3B und 4 muß einen Schlüsselschalter besitzen. Der Schlüssel muß abziehbar sein und der Laser darf nicht in Betrieb genommen werden können, wenn der Schlüssel abgezogen ist. In dieser Norm schließt der Begriff „Schlüssel“ jede andere Steuer- und Bedieneinrichtung, wie Magnetkarten, verschlüsselte Kombinationen usw. ein.

4.6 Emissions-Warneinrichtung

Jede Laser-Einrichtung der Klassen 3A, 3B oder 4 muß eine hörbare oder sichtbare Warnung abgeben, wenn sie eingeschaltet ist oder wenn die Kondensatorbänke gepulster Laser geladen werden oder nicht vollständig entladen wurden. Jede sichtbare Warnvorrichtung muß durch Augenschutzmittel, die spezifisch für die Wellenlänge(n) der abgegebenen Laser-Strahlung ausgelegt sind, deutlich sichtbar sein. Wenn der Laser und seine Energieversorgung getrennte Gehäuse besitzen und wenn die beiden Teile mit einem Abstand von mehr als 2 m betrieben werden können, dann müssen beide mit hörbaren oder sichtbaren Warnvorrichtungen ausgerüstet sein. Die sichtbare(n) Warnvorrichtung(en) müssen so angebracht sein, daß man sie sehen kann, ohne sich einer Laserstrahlung über den Strahlungsgrenzwerten (GZS) für Klasse 1 und Klasse 2 auszusetzen.

Deutlich unterscheidbar und erkennbare Töne, die von Hilfseinrichtungen (wie Pumpen oder Lüftern) ausgehen und eindeutig nur der Emission der Laserstrahlung zugeordnet sind, können als hörbare Warnungen akzeptiert werden.

4.7 Strahlfänger oder -abschwächer

Jede Laser-Einrichtung der Klassen 3A, 3B oder 4 muß eine oder mehrere dauernd befestigte Vorrichtungen enthalten (andere als der Schalter für die Laser-Energieversorgung, den Hauptsteckverbinder oder den Schlüsselschalter), die in der Lage sind, Personen den Zugang zu Laserstrahlung über den Strahlungsgrenzwerten (GZS) für die Klassen 1 und 2 zu verhindern. Falls Laserstrahlung der Klasse 2 einen Strahlabschwächer durchläuft, siehe Abschnitt 6.1, Aufzählung a).

4.8 Steuer- und Bedieneinrichtungen

Die Steuer- und Bedienelemente einer jeden Laser-Einrichtung müssen so angebracht sein, daß Tätigkeiten des Einstellens und des Betriebens durchgeführt werden können, ohne sich Laserstrahlung über den Strahlungsgrenzwerten (GZS) für Klasse 1 und Klasse 2 auszusetzen.

4.9 Beobachtungsoptiken

Jede Beobachtungsoptik, Beobachtungsöffnung oder Anzeigeschirm, die in einer Laser-Einrichtung eingebaut sind, müssen eine Strahldämpfung enthalten, die ausreicht, um Personen den Zugang zu Laserstrahlung über den Strahlungsgrenzwerten (GZS) für Klasse 1 zu verwehren; für Strahlunterbrecher oder verstellbare Strahlabschwächer in der Beobachtungsoptik, Beobachtungsöffnung oder in dem Anzeigeschirm, müssen gerätetechnische Vorkehrungen getroffen sein, die

- a) Personen den Zugang zu Laserstrahlung über den Strahlungsgrenzwerten (GZS) für Klasse 1 zu verwehren, wenn der Strahlunterbrecher geöffnet ist oder der Strahlabschwächer verstellt ist;
- b) das Öffnen des Strahlunterbrechers oder das Verstellen des Strahlabschwächers verhindern, wenn für Personen der Zugang zu Laserstrahlung über den Strahlungsgrenzwerten (GZS) für Klasse 1 möglich ist.

4.10 Sicherheitsvorrichtung bei richtungsveränderlicher Strahlung

Laser-Einrichtungen, die richtungsveränderliche Strahlung aussenden und auf dieser Grundlage klassifiziert sind, dürfen, infolge Versagens der Ablenkung oder durch Änderung entweder der Ablenkgeschwindigkeit oder der Amplitude, Personen den Zugang zu keiner stärkeren Laserstrahlung erlauben, als den Strahlungsgrenzwerten (GZS) der zugeordneten Klasse entspricht.

5 Beschilderung

5.1 Allgemeines

Jede Laser-Einrichtung muß Schilder tragen, die entsprechend den Anforderungen der folgenden Abschnitte beschriftet sind. Die Schilder müssen ihrem Zweck entsprechend dauerhaft angebracht, lesbar und während des Betriebes und der Service- und Wartungsarbeiten deutlich sichtbar sein. Die Schilder müssen so angebracht sein, daß man sie lesen kann, ohne sich notwendig einer Laserstrahlung über dem Strahlungsgrenzwert (GZS) für Klasse 1 auszusetzen. Text, Umrandung und Symbole müssen schwarz auf gelbem Untergrund erscheinen.

Sollte wegen Größe und Aufbau der Einrichtung eine Beschilderung praktisch nicht möglich sein, dann soll das Schild den Benutzerunterlagen beigelegt oder an der Verpackung angebracht werden.

5.2 Klasse 1

Jede Laser-Einrichtung der Klasse 1 muß mit einem Hinweisschild (siehe Bild 15) versehen sein, mit der Aufschrift

LASER KLASSE 1

5.3 Klasse 2

An jeder Laser-Einrichtung der Klasse 2 muß ein Laser-Warnzeichen (siehe Bild 14) und ein Hinweisschild (siehe Bild 15) angebracht sein, mit der Aufschrift

LASERSTRAHLUNG
NICHT IN DEN STRAHL BLICKEN
LASER KLASSE 2

5.4 Klasse 3A

An jeder Laser-Einrichtung der Klasse 3A muß ein La-

ser-Warnzeichen (siehe Bild 14) und ein Hinweisschild (siehe Bild 15) angebracht sein, mit der Aufschrift

LASERSTRAHLUNG
NICHT IN DEN STRAHL BLICKEN
AUCH NICHT MIT OPTISCHEN INSTRUMENTEN
LASER KLASSE 3A

5.5 Klasse 3B

An jeder Laser-Einrichtung der Klasse 3B muß ein Laser-Warnzeichen (siehe Bild 14) und ein Hinweisschild (siehe Bild 15) angebracht sein, mit der Aufschrift

LASERSTRAHLUNG
NICHT DEM STRAHL AUSSETZEN
LASER KLASSE 3B

5.6 Klasse 4

An jeder Laser-Einrichtung der Klasse 4 muß ein Laser-Warnzeichen (siehe Bild 14) und ein Hinweisschild (siehe Bild 15) angebracht sein, mit der Aufschrift

LASERSTRAHLUNG
BESTRAHLUNG VON AUGE ODER HAUT DURCH
DIREKTE ODER STREUSTRAHLUNG VERMEIDEN
LASER KLASSE 4

5.7 Schild an der Strahlaustrittsöffnung

An jeder Laser-Einrichtung der Klasse 3B und Klasse 4 muß ein Schild nahe jeder Öffnung angebracht sein, durch welche Laserstrahlung mit mehr als dem Strahlungsgrenzwert (GZS) der Klasse 1 oder Klasse 2 austritt. Die Beschriftung(en) muß (müssen) lauten

AUSTRITTSÖFFNUNG FÜR LASERSTRAHLUNG
oder

BESTRAHLUNG VERMEIDEN
AUSTRITT VON LASERSTRAHLUNG

5.8 Kennzeichnung der abgegebenen Strahlung

Jede Laser-Einrichtung (ausgenommen jene der Klasse 1) muß auf einem Hinweisschild (siehe Bild 15) durch Angabe der maximalen Ausgangswerte der Laserstrahlung, der Impulsdauer (falls zutreffend) und der ausgesandte(n) Wellenlänge(n) beschrieben werden.

5.9 Schilder für Abdeckungen

5.9.1 Schilder für ungesicherte Abdeckungen

Können Verbindungen, Abdeckungen von Schutzgehäusen oder Abdeckplatten von Schutzabdeckungen entfernt oder in ihrer Lage so verändert werden, daß dadurch stärkere Laserstrahlung zugänglich wird als dem Strahlungsgrenzwert (GZS) der Klasse 1 entspricht, so müssen diese Hinweisschilder tragen. Die Beschriftung muß lauten:

VORSICHT
LASERSTRAHLUNG, WENN ABDECKUNG GEÖFFNET
Zusätzlich muß dieses Schild folgende Worte tragen:

NICHT IN DEN STRAHL BLICKEN

- a) wenn die zugängliche Strahlung den Strahlungsgrenzwert (GZS) für Klasse 2 nicht überschreitet,
NICHT IN DEN STRAHL BLICKEN
AUCH NICHT MIT OPTISCHEN INSTRUMENTEN
- b) wenn die zugängliche Strahlung den Strahlungsgrenzwert (GZS) für Klasse 3A nicht überschreitet,
NICHT DEM STRAHL AUSSETZEN
- c) wenn die zugängliche Strahlung den Strahlungsgrenzwert (GZS) für Klasse 3B nicht überschreitet,

BESTRAHLUNG VON AUGEN ODER HAUT DURCH DIREKTE ODER STREUSTRAHLUNG VERMEIDEN

- d) wenn die zugängliche Strahlung den Strahlungsgrenzwert (GZS) für Klasse 3B bei irgendeiner Wellenlänge übertrifft.

5.9.2 Schilder für Sicherheitsverriegelungen

Jeder Sicherheitsverriegelung, die einfach überbrückbar ist und dann Menschen Zugang zu einer Laserstrahlung erlaubt, die den Strahlungsgrenzwert (GZS) der Klasse 1 übertrifft, müssen entsprechende Schilder deutlich zugeordnet sein. Solche Schilder müssen vor und während der Überbrückung der Schutzverriegelung sichtbar sein und sich in unmittelbarer Nähe zu der Öffnung befinden, die durch die Abnahme des Schutzgehäuses entsteht. Die Beschriftung dieses Schildes muß lauten:

VORSICHT

LASERSTRAHLUNG, WENN ABDECKUNG GEÖFFNET UND SICHERHEITSVERRIEGELUNG ÜBERBRÜCKT

Zusätzlich muß dieses Schild die in Abschnitt 5.9.1, Aufzählungen a), b), c) und d), spezifizierte Beschriftung tragen.

5.10 Warnung vor unsichtbarer Laserstrahlung

In vielen Fällen schließt der für Hinweisschilder vorgeschriebene Wortlaut das Wort „Laserstrahlung“ ein. Falls die vom Laser ausgesandte Strahlung außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm liegt, müssen die Worte so geändert werden, daß es heißt: „unsichtbare Laserstrahlung“. Falls die ausgesandte Strahlung Wellenlängen besitzt, die innerhalb und außerhalb des genannten Wellenlängenbereiches liegen, muß es heißen: „sichtbare und unsichtbare Laserstrahlung“.

6 Weitere erforderliche Angaben

6.1 Information für den Benutzer

Hersteller von Laser-Einrichtungen müssen dafür sorgen, daß folgende Hinweise als integrale Bestandteile der Betriebsanweisung bzw. des Bedienungshandbuchs für den Benutzer, welche der Laser-Einrichtung beigelegt werden, geliefert werden:

- ausreichende Anweisungen für den richtigen Zusammenbau, die Wartung durch den Benutzer und den sicheren Betrieb einschließlich deutlicher Warnungen, die Vorkehrungen betreffen, um mögliche schädigende Strahlungsexpositionen zu vermeiden.
- Die Angabe der Strahldivergenz für gebündelte Strahlen, der Impulsdauer(n) und der maximalen Ausgangswerte der Laserstrahlung in geeigneten Einheiten einschließlich der aufsummierten Meßunsicherheiten und jeglicher, nach der Herstellung erwartete Anstieg der Meßwerte, der zu den Werten, die bei der Herstellung gemessen wurden hinzugefügt werden muß. (Die Dauer von Impulsen, die auf unbeabsichtigter Modenkopplung beruhen, müssen nicht spezifiziert werden; jedoch müssen die (Betriebs-)Bedingungen der Einrichtung spezifiziert werden, bei denen es bekannt ist, daß es zu unbeabsichtigter Modenkopplung kommen kann.)
- Lesbare Reproduktionen (wahlweise in Farbe) aller erforderlichen Hinweisschilder und Warnzeichen, die an der Laser-Einrichtung befestigt werden müssen oder dieser beigelegt werden. Die zu jedem Schild gehörigen Befestigungsorte an der Einrich-

tung müssen beschrieben sein. Falls die Schilder der Laser-Einrichtung beigelegt sind, muß angegeben sein, daß die Schilder an der Einrichtung nicht befestigt werden konnten, aber mit ihr geliefert werden; ferner muß angegeben werden, in welcher Form und Weise sie geliefert werden.

- Ein deutlicher Hinweis im Handbuch auf die Lage von allen Laserstrahl-Austrittsöffnungen.
- Eine Auflistung von Bedienungs-, Justiereinrichtungen und Verfahrensweisen bei Betrieb und Wartung durch den Benutzer, einschließlich der Warnung: „Vorsicht – wenn andere als die hier spezifizierten Bedienungs- und Justiereinrichtungen benutzt oder andere Verfahrensweisen ausgeführt werden, kann dies zu gefährlicher Strahlungsexposition führen.“
- Wenn die Laser-Einrichtung die Laser-Energieversorgung nicht enthält, die für die Laseremission notwendig ist, so ist die Spezifikation der Laser-Energieversorgung notwendig, um die Sicherheit zu gewährleisten.

6.2 Kauf- und Service-Unterlagen

Hersteller von Laser-Einrichtungen müssen für die Lieferung sorgen:

- In allen Katalogen, Datenblättern und beschreibenden Broschüren, die zu jeder Laser-Einrichtung gehören:
Eine lesbare Reproduktion (wahlweise in Farbe) der benötigten und zu befestigenden Hinweisschilder, die die Klasse der Laser-Einrichtung (Abschnitte 5.3 bis 5.6) bezeichnen.
- An Händler, die den Service vornehmen, an Distributoren und auf Verlangen an andere: Ausreichende Anweisungen über Justierungen und Verfahrensweisen in Zusammenhang mit dem Service für jede Laser-Einrichtung. Eingeschlossen sind deutliche Warnungen und Beschreibung von Vorsichtsmaßnahmen, die getroffen werden müssen, um mögliche Strahlenexposition zu vermeiden, sowie ein Zeitplan für die Wartung, die notwendig ist, um die Anlage in einem sicheren Betriebszustand zu erhalten. In allen Service-Anweisungen muß eine Auflistung der Einflußmöglichkeiten und Verfahrensweisen enthalten sein, die ein anderer als der Hersteller oder seine Vertreter ausführen könnten, um die Stärke der zugänglichen Strahlung zu erhöhen. Es ist eine deutliche Beschreibung der Lage abnehmbarer Teile des Schutzgehäuses beizufügen, wenn dadurch der Zugang zu Laserstrahlung über den Strahlungsgrenzwerten (GZS) der Tabellen I, II, III und IV ermöglicht wird. In den Anweisungen müssen für das mit dem Service betrauten Personal sichere Verfahrensweisen beschrieben werden und lesbare Reproduktionen (wahlweise in Farbe) der benötigten Hinweisschilder und Warnzeichen enthalten sein.

7 Zusätzliche Anforderungen an besondere Laser-Einrichtungen

7.1 Laser-Einrichtungen für medizinische Zwecke

Jede medizinische Laser-Einrichtung muß allen anwendbaren Anforderungen genügen, die an eine Laser-Einrichtung seiner Klasse gestellt werden. Zusätzlich muß der Hersteller:

- a) bei Laser-Einrichtungen der Klasse 3B oder Klasse 4 in jeder medizinischen Laser-Einrichtung eine Meßvorrichtung einbauen, die die Stärke der Laserstrahlung, die zur Bestrahlung des menschlichen Körpers gedacht ist, mit nicht mehr als $\pm 20\%$ Meßunsicherheit mißt. Die Anzeige des Meßwerts soll in Einheiten des internationalen Maßsystems (SI) erfolgen.
- b) mit jeder medizinischen Laser-Einrichtung eine Bedienungsanweisung mitliefern, die Verfahrensweise und Zeitintervalle zur Kalibrierung des Meßsystems spezifizieren.
- c) für Laser-Einrichtungen der Klasse 3B oder Klasse 4 eine Vorrichtung zur Anzeige des Auftreffpunkts mitliefern.

7.2 Laser-Lichtleiter-Übertragungssystem⁴⁾

Laser-Einrichtungen, die Lichtleiter-Übertragung verwenden, müssen Kabelstecker haben, zu deren Trennung ein Werkzeug benutzt werden muß, falls die Strahlungsgrenzwerte (GZS) für Klasse 1 überschritten werden und wenn solche Kabelverbindungen einen Teil des Schutzgehäuses bilden. Es soll auch der Einbau mechanischer Strahlabschwächer bei der (Steck-)Verbindung in Betracht gezogen werden, falls die Instandsetzung in einem unüberwachten Bereich vorgenommen werden soll. Ein Stück eines Lichtleiter-Kabels kann u.U. die übertragene Laserstrahlungsleistung genügend dämpfen, so daß das Kabel selbst einen Teil des Schutzgehäuses bildet.

8 Prüfungen

8.1 Allgemeines

Die Prüfungen sollen allen Ungenauigkeiten und statistischen Unsicherheiten im Prüfprozeß sowie der alterungsbedingten Zunahme der Emission und Verschlechterung der Strahlungssicherheit Rechnung tragen.

Anforderungen wegen spezifischen Gebrauchs können zusätzliche Prüfungen für besondere Anwendungen notwendig machen.

Die Prüfungen jeder anwendbaren Anforderung müssen während des Betriebs, der Wartung durch den Benutzer oder des Service je nach Erfordernis durchgeführt werden.

Gleichwertige Prüfungen oder Vorgehensweisen sind zulässig.

8.2 Messungen der Laserstrahlung zur Klassenbestimmung

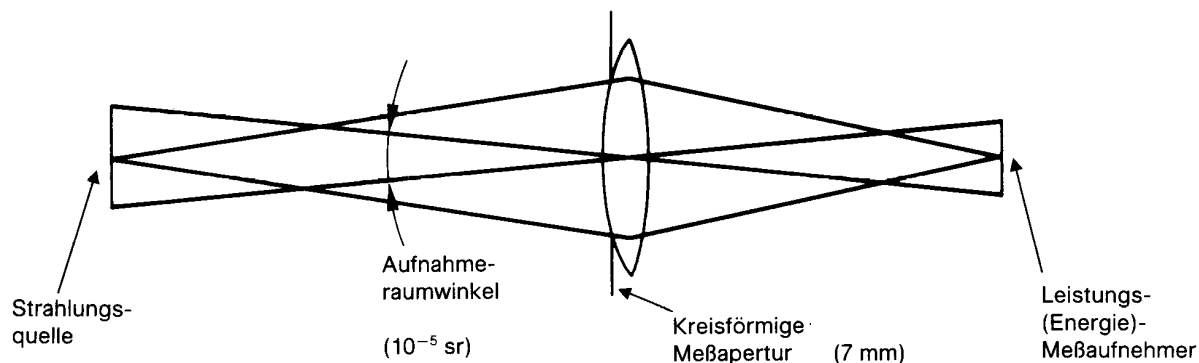
Um eine Laser-Einrichtung nach Abschnitt 9.1 zu klassifizieren, kann es notwendig sein, Laserstrahlungskenngrößen zu messen. Messungen sind unnötig, wenn man aufgrund der physikalischen Eigenschaften und Begrenzungen der Laserquelle die Laser-Einrichtung oder den Laseraufbau eindeutig in eine bestimmte Klasse einordnen kann.

Messungen müssen unter folgenden Bedingungen ausgeführt werden:

- a) unter solchen Bedingungen und unter Anwendung von Verfahrensweisen, die zu maximalen zugänglichen Strahlungswerten führen, einschließlich Einschaltvorgängen, stabilisierter Emission und Abschaltvorgängen der Laser-Einrichtung;
- b) wenn alle Bedienelemente und Justierungen, die in Betriebs-, Wartungs- und Serviceanweisungen aufgeführt sind, so aufeinander abgestimmt sind, daß der maximale Strahlungsgrenzwert (GZS) erzielt wird;
- c) an Stellen im Raum, die während des Betriebs zugänglich sind, Messung der Strahlungsgrenzwerte (GZS) (z. B. wenn der Betrieb das Abnehmen von Teilen des Schutzgehäuses und das Überbrücken von Sicherheitsverriegelungen erfordert, sind Messungen an Stellen durchzuführen, die in dieser Konfiguration der Einrichtung zugänglich sind);
- d) wobei der Detektor des Meßinstruments relativ zu der Laser-Einrichtung so aufgestellt und ausgerichtet ist, daß die maximale Strahlungsaufnahme durch das Meßinstrument sichergestellt ist;
- e) an einer Laser-Einrichtung ohne eigene Laser-Energieversorgung, indem sie an der Laser-Energieversorgung angeschlossen ist, die vom Hersteller der Laser-Einrichtung als geeignet spezifiziert ist und die die maximale Emission zugänglicher Strahlung der Einrichtung erzeugt;
- f) Messung von Werten der Strahlungsleistung (W) oder Strahlungsenergie (J) innerhalb einer kreisförmigen Meßapertur mit 80 mm Durchmesser (um die Sammelwirkung eines stationären Laserstrahls durch ein optisches Instrument zu simulieren);
- g) Messung von Werten der Bestrahlungsstärke (Wm^{-2}) und Bestrahlung (Jm^{-2}), gemittelt über eine kreisförmige Meßapertur mit 7 mm Durchmesser;
- h) Messung von Werten der Strahldichte ($W/m^2 sr$) oder des zeitlichen Integrals der Strahldichte durch Messung der Strahlungsleistung (W) oder Strahlungsenergie (J), die durch eine kreisförmige Meßapertur von 7 mm Durchmesser tritt und innerhalb eines effektiven Aufnahmeraumwinkels von $10^{-5} sr$ liegt [geteilt durch diesen Raumwinkel (sr) und durch die Fläche der Meßapertur (m^2)]⁵⁾; wie im folgenden Diagramm erläutert.
- i) an richtungsveränderlicher Laserstrahlung innerhalb einer stillstehenden Meßapertur mit 7 mm Durchmesser (die entstehende zeitliche Schwankung der aufgenommenen Strahlung soll als Impuls oder als Impulsfolge betrachtet werden);
- j) bei Wellenlängen im Bereich von 400 bis 1400 nm innerhalb eines effektiven Aufnahmeraumwinkels von $5 \times 10^{-4} sr$, mit Ausnahme der Messung von Strahldichte oder dem zeitlichen Integral der Strahldichte;
- k) Um den Einfluß von Begleitstrahlung bei der Messung zu vermeiden oder zu beseitigen, sind geeignete Maßnahmen zu treffen.

⁴⁾ Beim Treffen des SC 46E Committee on Fibre Optics im Oktober 1979 in Ottawa wurde eine Arbeitsgruppe für Sicherheit im Umgang mit Lichtleiter („working group on fibre optic safety“) gegründet.

⁵⁾ Nationale Fußnote: Der Text in der eckigen Klammer fehlt in der IEC-Publikation, ist aber für das Verständnis im Deutschen erforderlich. Bild siehe Seite 13.



9 Klassifizierung

9.1 Einführung

Da ein weiter Bereich für Wellenlänge, Energieinhalt und Impuls-Charakteristiken eines Laserstrahls möglich ist, variieren bei seiner Anwendung die auftretenden Gefahren stark. Es ist unmöglich, Lasergeräte als eine einheitliche Gruppe zu betrachten, für welche gemeinsame Sicherheitsgrenzen anwendbar sind.

9.2 Definition der Laser-Klassen

Laser-Einrichtungen sind in vier allgemeine Klassen eingeteilt; für jede dieser Klassen sind Strahlungsgrenzwerte (GZS) festgelegt.

Klasse-1-Laser sind solche, die inhärent sicher (eigensicher) sind (so daß der maximal erlaubte Expositionswert unter keinen Umständen übertroffen werden kann) oder solche, die wegen ihres technischen Aufbaus sicher sind. Die oberen Grenzwerte sind in Tabelle I angegeben und wurden aus den am meisten begrenzenden MZB-Werten abgeleitet.

Klasse-2-Laser sind Geräte niedriger Leistung, die sichtbare Strahlung aussenden (im Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm) und die entweder in Dauerstrich- oder Impulsbetrieb arbeiten können. Die Ausgangsleistung oder -energie dieser Geräte ist für Expositionsdauern bis zu 0,25 s auf die Strahlungsgrenzwerte (GZS) für Klasse 1 beschränkt. Für einen Dauerstrichlaser beträgt die Grenze 1 mW.

Anmerkung: Diese Laser sind zwar nicht wirklich sicher, der Augenschutz ist jedoch üblicherweise durch Abwendungsreaktionen einschließlich des Lidschlußreflexes sichergestellt.

Klasse-3A-Laser sind solche, bei denen die Ausgangsleistung bis zu 5 mW im Falle von Dauerstrichlasern oder das fünffache der Grenzwerte der Klasse 2 im Falle von richtungsveränderlichen und wiederholt gepulsten Lasern für den Spektralbereich von 400 bis 700 nm beträgt. Dennoch darf die Bestrahlungsstärke an irgendeinem Ort im sichtbaren Strahl 25 W m^{-2} nicht übertreffen (siehe Tabelle III). Für andere Spektralbereiche darf die Laserstrahlung das 5fache der Strahlungsgrenzwerte (GZS) für Klasse 1 nicht übertreffen; ferner darf die abgegebene Bestrahlungsstärke oder Bestrahlung laut Tabelle III ebenfalls nicht übertroffen werden.

Anmerkung: Ein direktes Blicken in den Strahl unter Benutzung optischer Hilfsmittel (z. B. Binocularfernrohr) kann bei Klasse-3A-Lasern gefährlich sein. Für Laser, die im Bereich von 400 bis 700 nm strahlen, wird der Schutz des Auges (ohne opti-

sche Hilfsmittel) durch Abwendungsreaktionen einschließlich des Lidschlußreflexes sichergestellt.

Klasse-3B-Laser können sichtbare und/oder unsichtbare Strahlung mit Werten aussenden, die die Strahlungsgrenzwerte (GZS) laut Tabelle IV nicht übertreffen. Dauerstrichlaser dürfen 0,5W nicht überschreiten, und die Bestrahlung durch Impulslaser muß geringer sein als $10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$.

Anmerkung: Das direkte Blicken in den Strahl in der Nähe dieser Geräte ist immer gefährlich. Betrachtung diffuser Reflexionen von unfokussierter Impulslaserstrahlung ist nicht gefährlich; unter bestimmten Bedingungen können Dauerstrichlaserstrahlen mit Hilfe eines diffusen Reflektors sicher betrachtet werden. Diese Bedingungen sind:

- ein minimaler Betrachtungsabstand von 13 cm;
- eine maximale Beobachtungszeit von 10 s.

Wenn eine dieser Bedingungen nicht erfüllt ist, muß die Möglichkeit der Gefährdung durch diffuse Reflexion sorgfältig untersucht werden.

Klasse-4-Laser sind Hochleistungsgeräte, deren Ausgangsleistungen die Strahlungsgrenzwerte (GZS) für Klasse 3B, die in Tabelle IV spezifiziert sind, übertreffen.

Anmerkung: Laser im sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich der Klasse 4 sind in der Lage, gefährliche diffuse Reflexionen zu erzeugen. Sie können Verletzungen der Haut verursachen und könnten auch eine Feuergefahr darstellen. Sie sind mit äußerster Vorsicht zu benutzen.

9.3 Vorgehensweise bei der Klassifizierung

Der Hersteller oder sein Vertreter ist verantwortlich dafür, die Laser-Einrichtung in die richtige Klasse einzuordnen. Die Einrichtung muß auf der Grundlage derjenigen Kombination von Ausgangsleistung(en) und Wellenlänge(n) der zugänglichen Laserstrahlung über den vollen Bereich der Betriebsmöglichkeiten zu jeder Zeit nach der Herstellung, die zu ihrer Einordnung in die höchstmögliche Klasse führt, klassifiziert werden. Die Strahlungsgrenzwerte (GZS) der Klasse 1, Klasse 2, Klasse 3A und Klasse 3B (aufgeführt in der Reihenfolge des zunehmenden Gefährdungsgrades) sind in den Tabellen I, II, III und IV jeweils angegeben.

Die Werte der vier verwendeten Korrekturfaktoren sind in den Anmerkungen zu den Tabellen I bis IV als Funktion der Wellenlänge und Emissionsdauer angegeben.

Für die Einteilung von Laser-Einrichtungen in eine bestimmte Klasse gelten folgende Regeln:

- a) Strahlung einer einzelnen Wellenlänge
Eine Laser-Einrichtung, die nur Strahlung einer einzelnen Wellenlänge emittiert, wird einer Klasse zugeordnet, die dadurch bestimmt ist, daß die Laserstrahlung, die aus der Austrittsöffnung tritt, die Strahlungsgrenzwerte (GZS) aller niedrigeren Klassen übertrifft, aber nicht diejenigen der zugeordneten Klasse.
- b) Strahlung mehrerer Wellenlängen
 1. Eine Laser-Einrichtung, die zwei oder mehr Wellenlängen in Spektralgebieten emittiert, die nach Tabelle V als additiv aufgezeigt sind, wird einer Klasse zugeordnet, wenn die Summe der Quotienten aus der durch die Austrittsöffnung tretenden Laserstrahlung und den Strahlungsgrenzwerten (GZS) für diese Wellenlängen größer als eins ist für alle niedrigeren Klassen, aber für die zugeordnete Klasse nicht größer als eins ist.
 2. Eine Laser-Einrichtung, die bei zwei oder mehreren Wellenlängen ausstrahlt, die in Tabelle V nicht als additiv aufgezeigt sind, wird einer Klasse zugeordnet, die dadurch bestimmt ist, daß die durch die Austrittsöffnung tretende Laserstrahlung die Strahlungsgrenzwerte (GZS) aller niedrigeren Klassen bei irgendeiner Wellenlänge übertrifft, aber nicht die Strahlungsgrenzwerte (GZS) für die zugeordnete Klasse.
- c) Betrachtungen der Zugangsmöglichkeit bei der Klassifizierung: Schutzgehäuse
Wenn durch irgendeine Öffnung im Schutzgehäuse Einwirkungen von Laserstrahlung auf einen Körperteil infolge gestörten Betriebs, Einbringen von optisch wirksamen Gegenständen oder Einbringen von einem Körperteil möglich sind, muß die Laser-Einrichtung entsprechend der an dieser Stelle herrschenden Strahlung klassifiziert, gekennzeichnet und behandelt werden.
- d) Grenzen für Klasse 1 (zwei Grenzwerte)
Laserstrahlung im Wellenlängenbereich von größer als 400 nm, kleiner oder gleich 1400 nm überschreitet nicht die Strahlungsgrenzwerte (GZS) für Klasse 1, wenn sie weder die Strahlungsgrenzwerte (GZS) der Klasse 1 für die Strahlungsenergie noch die der Klasse 1 für das zeitliche Integral der Strahldichte in jedem Emissionsdauerbereich entsprechend Tabelle I überschreitet.

Die Strahlungsgrenzwerte (GZS) sind in den entsprechenden Tabellen für jede Klasse, für alle Wellenlängenbereiche und Emissionsdauern festgelegt.

Zwei Zeitbasen werden in dieser Norm benutzt:

- a) 1000 s für Laserstrahlung mit Wellenlängen größer als 400 nm, es sei denn, daß aufgrund von Konstruktion und Anwendung der Laser-Einrichtung das Blinken in den Strahl beabsichtigt ist.
- b) 30 000 s für Laserstrahlung mit Wellenlängen von kleiner oder gleich 400 nm und für Laserstrahlung mit Wellenlängen von größer als 400 nm, wenn aufgrund von Funktion und Anwendung der Laser-Einrichtung das Blinken in den Strahl beabsichtigt ist.

Wenn die reduzierte Zeitdauer benutzt wird, sollte dies auf dem Hinweisschild mit dem beabsichtigten Anwendungszweck des Lasers angegeben sein.

9.4 Wiederholt gepulste oder modulierte Laser

Da es nur wenige Daten über die Bestrahlung mit Mehrfachimpulsen gibt, muß man bei der Abschätzung der zulässigen Bestrahlung durch wiederholt gepulste Strahlung Vorsicht walten lassen. Die folgenden Methoden sollen dazu dienen, um die bei wiederholt gepulster Laserstrahlung anzuwendenden Strahlungsgrenzwerte (GZS) zu bestimmen.

9.4.1 Der Strahlungsgrenzwert (GZS) für Wellenlängen von 400 bis 1 400 nm wird durch Anwendung derjenigen nachfolgenden Forderungen a), b) und c) oder a), b) und d) bestimmt, die die größte Einschränkung darstellt. Bei anderen Wellenlängen wird der Strahlungsgrenzwert (GZS) durch Anwendung derjenigen nachfolgenden Forderungen a) und b) bestimmt, die die größte Einschränkung darstellt.

- a) Die Bestrahlung durch jeden Einzelimpuls der Impulsfolge darf nicht den Strahlungsgrenzwert (GZS) für einen einzelnen Impuls überschreiten.
- b) Die mittlere Leistung für eine Impulsfolge der Dauer T darf die Leistung entsprechend des Strahlungsgrenzwertes (GZS) nach Tabelle I, II oder III für einen einzelnen Impuls der Dauer T nicht überschreiten.
- c) Wenn die Dauer des einzelnen Impulses geringer als 10^{-5} s ist, muß für Impulsfolgen, bei denen die momentane Impulsfolgefrequenz (PRF) größer ist als 1 Hz, der für jeden Impuls anwendbare Strahlungsgrenzwerte (GZS) (nach den Tabellen I, II und III) als Strahlungsgrenzwerte (GZS) eines einzelnen getrennten Impulses reduziert durch den PRF-Korrekturfaktor C_5 (siehe Bild 7) angewendet werden. Der PRF-Korrekturfaktor hängt von der Impulsfolgefrequenz N wie folgt ab:
für N zwischen 1 und 278 Hz: $C_5 = 1/\sqrt{N}$
für $N > 278$ Hz: $C_5 = 0,06$

Anmerkung: Die momentane Impulsfolgefrequenz (PRF) ist der Kehrwert des kürzesten Impulsabstands in einer Impulsfolge.

- d) Wenn die Dauer eines einzelnen Impulses größer als 10^{-5} s und die momentane Impulsfolgefrequenz größer als 1 Hz ist, dann muß die folgende Formel zur Ermittlung des Strahlungsgrenzwertes (GZS) verwendet werden:

$$GZS_{(\text{Einzelimpuls})} = \frac{GZS_{(nt)}}{n}$$

mit n = Zahl der Impulse in der Impulsfolge während der für die Klassifizierung verwendeten Zeit,
 t = Einzelimpulsdauer, $GZS_{(nt)}$ = Strahlungsgrenzwert (GZS) für einen Impuls der Dauer $(n \cdot t)$ s.

9.4.2 Für Impulsfolgen, die eine ungleichmäßige oder veränderliche Impulsfolgefrequenz PRF haben (z. B. Impulsfrequenzmodulation) ist der erreichbare maximale momentane Wert der Impulsfolgefrequenz (PRF) zu verwenden und der auf jeden Impuls anwendbare Strahlungsgrenzwert (GZS) nach Abschnitt 9.4.1 zu berechnen.

9.4.3 Wenn eine Impulsfolge aus einer Reihe oder einer Gruppe von 10 oder weniger einzelner Impulse besteht, wobei die Reihe in periodischen oder teilweise periodischen Intervallen wiederholt wird, kann die Analyse dadurch vereinfacht werden, daß jede einzelne Gruppe von Impulsen auf einen einzelnen äquivalenten Impuls reduziert wird und die Bedingungen der Abschnitte 9.4.1 und

9.4.2 angewendet werden. Das Verfahren zur Bestimmung des äquivalenten Impulses ist wie folgt durchzuführen:

- a) Wenn die Gruppen-bzw. Reihen-Impulsdauer geringer als 10^{-5} s ist, muß der äquivalente Einzelimpuls eine Impulsdauer haben, die gleich der kleinsten Impulsbreite in der Gruppe ist und eine Bestrahlung, die gleich der gesamten Bestrahlung der Gruppe ist.
- b) Wenn die Gruppen- bzw. Reihen-Impulsdauer größer als 10^{-5} s ist, muß der äquivalente Einzelimpuls eine Impulsdauer haben, die gleich der Summe der einzelnen Impulsdauer in der Gruppe ist, mit einer Bestrahlung, die gleich der gesamten Bestrahlung der Gruppe ist.

- c) Sofern in manchen Fällen der oben abgeleitete Strahlungsgrenzwert (GZS) restriktiver ist, als wenn die Bedingungen der Abschnitte 9.4.1 und 9.4.2 auf die ursprüngliche Impulsfolge angewendet werden, dann darf unter diesen Umständen der **weniger** restriktive Strahlungsgrenzwert (GZS) verwendet werden.

Wenn eine Impulsfolge aus einer Reihe oder einer Gruppe von mehr als 10 Impulsen besteht, die in periodischen oder teilweise periodischen Intervallen wiederholt wird, sind die Vorschriften nach Abschnitt 9.4.1 und Abschnitt 9.4.2 mit einer Impulsfolgefrequenz PRF anzuwenden, die durch die höchste momentane Impulsfolgefrequenz PRF innerhalb der Gruppe bestimmt wird.