

**DIN EN 60825-4
(VDE 0837-4)**
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 13.280; 31.260

Einsprüche bis 2017-04-10

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60825-4
(VDE 0837-4):2011-12

Entwurf

**Sicherheit von Lasereinrichtungen –
Teil 4: Laserschutzwände
(IEC 76/548/CDV:2016);
Deutsche Fassung pr**EN 60825-4:2016****

Safety of laser products –
Part 4: Laser guards
(IEC 76/548/CDV:2016);
German version pr**EN 60825-4:2016**

Sécurité des appareils à laser –
Partie 4: Protectors pour lasers
(IEC 76/548/CDV:2016);
Version allemande pr**EN 60825-4:2016**

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-02-10 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 148 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN 60825-4:2016 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 76/548/CDV:2016 „Safety of laser products – Part 4: Laser guards“ unverändert in den Entwurf prEN 60825-4:2016 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 76 „Optical radiation safety and laser equipment“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium GK 841 „Optische Strahlungssicherheit und Lasereinrichtungen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60825-4 (VDE 0837-4):2011-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) In 3.4 wurde Strahldurchmesser eingefügt, um $d_{86} (1/e^2)$ zu präzisieren;
- b) in D.1 wurden Hinweise zu den Grenzen der Laserleistung und der Strahlparameter für die lineare Berechnung der VMB und der SGB ergänzt;
- c) D.3 wurde dahingehend ergänzt, dass bei einem negativen 3σ das Ergebnis gleich 0 ist;
- d) in D.4 wurden Details zu den vom Hersteller zu liefernden Informationen ergänzt.

– Leerseite –

Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände

Inhalt	Seite
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Anforderungen für Laserschutzwände	6
4.1 Konstruktionsanforderungen	6
4.2 Leistungsanforderungen	7
4.3 Bewertung	7
4.4 Benutzerinformationen	8
5 Laserschutzwände mit festgelegter Schutzwirkung	8
5.1 Konstruktionsanforderungen	8
5.2 Leistungsanforderungen	8
5.3 Anforderungen an die Spezifikation	8
5.4 Prüfanforderungen	9
5.5 Anforderungen an die Kennzeichnung.....	9
5.6 Benutzerinformationen	10
Anhang A (informativ) Allgemeine Richtlinien für Konstruktion und Auswahl von Laserschutzwänden	11
Anhang B (informativ) Ermittlung der vorhersehbaren Maximalbestrahlung (VMB)	13
Anhang C (informativ) Erläuterung definierter Begriffe	20
Anhang D (normativ) Prüfen von Laserschutzwänden mit festgelegter Schutzwirkung	22
Anhang E (informativ) Richtlinien für die Anordnung und Installation von Laserschutzanlagen.....	28
Anhang F (informativ) Richtlinie zur Eignungsbeurteilung von Laserabschirmungen.....	37
Anhang G (normativ) Strahlführungssysteme	65
Literaturhinweise	76

Bilder

Bild B.1 – Berechnung von spiegelnden Reflexionen	14
Bild B.2 – Berechnung von spiegelnden Reflexionen	14
Bild B.3 – Einige Beispiele für vorhersehbare Fehlerbedingungen.....	15
Bild B.4 – Vier Beispiele für vagabundierende Laserstrahlen, die eventuell durch eine temporäre Laserschutzwand unter Servicebedingungen abgeschirmt werden müssen.....	16
Bild B.5 – Darstellung der Bestrahlung einer Laserschutzwand bei wiederholten Maschinenzyklen	17
5.4 Prüfanforderungen	9
5.5 Anforderungen an die Kennzeichnung.....	9
5.6 Benutzerinformationen	10
Anhang A (informativ) Allgemeine Richtlinien für Konstruktion und Auswahl von Laserschutzwänden	11
Anhang B (informativ) Ermittlung der vorhersehbaren Maximalbestrahlung (VMB)	13
Anhang C (informativ) Erläuterung definierter Begriffe	20
Anhang D (normativ) Prüfen von Laserschutzwänden mit festgelegter Schutzwirkung	22
Anhang E (informativ) Richtlinien für die Anordnung und Installation von Laserschutzanlagen.....	28
Anhang F (informativ) Richtlinie zur Eignungsbeurteilung von Laserabschirmungen.....	37

100-s-Exposition durch einen defokussierten Strahl während Experimenten mit einem Dauerstrich-Nd:YAG-Laser	61
Bild F.17 – Widerstandsfähigkeit eines 3 mm dicken verzinkten Stahlbleches, ermittelt bei einer 10-s-Exposition durch einen defokussierten Strahl während Experimenten mit einem Dauerstrich-Nd:YAG-Laser	61
Bild F.18 – Widerstandsfähigkeit eines 3 mm dicken verzinkten Stahlbleches, ermittelt bei einer 100-s-Exposition durch einen defokussierten Strahl während Experimenten mit einem Dauerstrich-Nd:YAG-Laser	62
Bild F.19 – Widerstandsfähigkeit eines 2 mm dicken Aluminiumbleches, ermittelt bei einer 10-s-Exposition durch einen defokussierten Strahl während Experimenten mit einem Dauerstrich-Nd:YAG-Laser	62
Bild F.20 – Widerstandsfähigkeit eines 2 mm dicken Aluminiumbleches, ermittelt bei einer 100 s-Exposition durch einen defokussierten Strahl während Experimenten mit einem Dauerstrich-Nd:YAG-Laser	63
Bild F.21 – Widerstandsfähigkeit eines 1 mm dicken rostfreien Stahlbleches, ermittelt bei einer 10-s-Exposition durch einen defokussierten Strahl während Experimenten mit einem Dauerstrich-Nd:YAG-Laser	63
Bild F.22 – Widerstandsfähigkeit eines 1 mm dicken rostfreien Stahlbleches, ermittelt bei einer 100-s-Exposition durch einen defokussierten Strahl während Experimenten mit einem Dauerstrich-Nd:YAG-Laser	64
Tabellen	
Tabelle D.1 – Klassifizierung der Laserschutzwände	25
Tabelle F.1 – Anwendung von ALARP	40
Tabelle G.1 – Freiraum-Strahlführungssysteme	69
Tabelle G.2 – Strahlführungssysteme mit faseroptischen Kabeln	72

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60825 legt die Anforderungen für Laserschutzwände fest, die den Prozessbereich einer Laserbearbeitungsmaschine dauernd oder zeitweise (z. B. für Wartung) umschließen, und spezifiziert Anforderungen für Laserschutzwände mit festgelegter Schutzwirkung.

Diese Norm gilt für alle Bauteile einer Laserschutzwand, einschließlich durchsichtiger Abschirmungen und Sichtfenster, Bedienungsflächen, Laservorhängen und Wänden.

Zusätzlich legt dieser Teil der IEC 60825 fest:

- a) wie die Schutzeigenschaften einer Laserschutzwand festgelegt und ermittelt werden können und
- b) wie eine Laserschutzwand ausgewählt werden kann.

ANMERKUNG Anforderungen an Komponenten im Strahlengang, Strahlfänger und die Teile eines Schutzgehäuses eines Lasergerätes, die den Prozessbereich nicht umschließen, sind in **IEC 60825-1** festgelegt.

Dieser Teil der IEC 60825 behandelt nur den Schutz gegen Laserstrahlung. Gefährdungen durch Sekundärstrahlung, die während der Materialbearbeitung entstehen kann, werden nicht behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60825-1:2014, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*

IEC 62061, *Safety of machinery: Functional safety of electrical, electronic and programmable electronic control systems*

ISO 11553-1, *Safety of machinery – Laser processing machines – Safety requirements*

ISO 12100, *Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction*

ISO 13849-1, *Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teils der IEC 60825 gelten die folgenden Begriffe zusätzlich zu den in **IEC 60825-1** angegebenen.

3.1

Standzeit einer aktiven Laserschutzwand

bei einer vorgegebenen Bestrahlung auf der (exponierten) Vorderseite einer aktiven Laserschutzwand vom Aussenden des Abschaltsignals an gemessene Mindestdauer, für die die aktive Laserschutzwand sicherstellt, dass auf der Rückseite keine größere als den Grenzwerten der Klasse 1 entsprechende Bestrahlung entsteht

3.2

Abschaltsignal einer aktiven Laserschutzwand

Signal, das von einer aktiven Laserschutzwand als Antwort auf eine grenzwertüberschreitende Bestrahlung auf seiner Vorderseite abgegeben wird, das zu einer automatischen Beendigung der Laserstrahlung führen soll

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Aktivierung einer Sicherheits-Verriegelung bei Leitungsunterbrechung wird in diesem Zusammenhang als „Signal“ angesehen.

3.3

aktive Laserschutzwand

Laserschutzwand, die Teil eines Sicherheitssystems ist.

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Sicherheitssystem erzeugt das Abschaltsignal einer aktiven Laserschutzwand als Reaktion auf die Auswirkung der Laser-Bestrahlung auf der Vorderseite der Laserschutzwand.

3.4

Strahldurchmesser

d_{86}

<eingeschlossene Leistung (Energie)> kleinster Durchmesser einer kreisförmigen Öffnung in einer Ebene senkrecht zur Strahlachse, die 86 % ($1/e^2$) der gesamten Strahlleistung(-energie) enthält

3.5

vorhersehbare Maximalbestrahlung

VMB [en: foreseeable exposure limit]

maximale Laser-Bestrahlung auf der Vorderseite der Laserschutzwand, die im Wartungsintervall unter normalen Bedingungen und unter vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlerbedingungen ermittelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die gesamte Spezifikation der VMB umfasst verschiedene Elemente, einschließlich Bestrahlungsstärke und Bestrahlungsdauer. Weitere Einzelheiten werden in [Anhang B](#) beschrieben.

3.6

Vorderseite

Fläche der Laserschutzwand, die für die Laser-Bestrahlung vorgesehen ist

3.7

Laserschutzwand

physikalische Barriere, die eine Gefahrenzone dadurch begrenzt, dass auf der Rückseite keine größere als den Grenzwerten der Klasse 1 entsprechende Bestrahlung entsteht

3.8

Laserbearbeitungsmaschine

Maschine, die Laser zur Materialbearbeitung verwendet und in den Anwendungsbereich der ISO 11553-1 fällt

3.9

Laserabschaltzeit

maximale Zeitspanne, die nach Erzeugen des Abschaltsignals der aktiven Laserschutzwand benötigt wird, die Laserstrahlung abzuschalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Laserabschaltzeit bezieht sich nicht auf die Reaktion der aktiven Laserschutzwand, sondern auf die Reaktion der Laserbearbeitungsmaschine, insbesondere auf die Laser-Sicherheitsabschaltung.

3.10

Wartungsintervall

Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Sicherheitsinspektionen einer Laserschutzwand

3.11

Passive Laserschutzwand

Laserschutzwand, die den Schutz im Betrieb nur durch ihre physikalischen Eigenschaften sicherstellt

3.12

Prozessbereich

Bereich, in dem der Laserstrahl mit dem Material, das bearbeitet werden soll, in Wechselwirkung tritt

3.13

Laserschutzwände mit festgelegter Schutzwirkung

passive oder aktive Laserschutzwand, die von einem Hersteller von Laserschutzwänden als unabhängiges Produkt mit einer spezifizierten Schutzgrenzbestrahlung auf dem Markt angeboten wird

3.14

Schutzgrenzbestrahlung

SGB [en: protective exposure limit]

maximale Laserbestrahlung auf der Vorderseite der Laserschutzwand, die spezifiziert ist, um zu verhindern, dass auf der Rückseite die zugängliche Strahlung die Grenzwerte der Klasse 1 übersteigt

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Praxis kann es mehr als eine Schutzgrenzbestrahlung geben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Unterschiedliche SGB-Werte dürfen für unterschiedliche Bereiche einer Laserschutzwand gelten, falls diese Bereiche eindeutig identifiziert werden können (z. B. ein Beobachtungsfenster als Bestandteil einer Laserschutzwand).

Anmerkung 3 zum Begriff: Die vollständige Spezifikation eines Schutzgrenzwertes SGB umfasst verschiedene Elemente, einschließlich Bestrahlungsstärke und Bestrahlungsdauer. Weitere Einzelheiten werden in [Abschnitt 5.3](#) beschrieben.

3.15

Rückseite

jede beliebige Oberfläche einer Laserschutzwand, die auf der der Bestrahlung abgewandten Seite ist und üblicherweise für den Benutzer zugänglich ist

3.16

vernünftigerweise vorhersehbar

Ereignis (oder Bedingung), das (die) vorstellbar ist oder deren Wahrscheinlichkeit für das Auftreten (oder Bestehen) nicht vernachlässigt werden kann

3.17

Wartungs-Inspektion

dokumentierte Inspektion, die entsprechend der Anweisung des Herstellers durchgeführt wird

3.18

temporäre Laserschutzwand

aktive oder passive Laserschutzwand, die als Ersatz oder Ergänzung die räumliche Ausdehnung des Gefahrenbereichs (wie in Abschnitt 3.6 beschrieben) während des Service einer Laserbearbeitungsmaschine begrenzen soll

4 Anforderungen für Laserschutzwände

Dieser Abschnitt legt die Anforderungen für Laserschutzwände fest, die den Prozessbereich umschließen und vom Hersteller der Laserbearbeitungsmaschine geliefert werden.

4.1 Konstruktionsanforderungen

Eine Laserschutzwand muss die Anforderungen der ISO 12100 erfüllen in Bezug auf allgemeine Anforderungen für Schutzwände und die speziellen Anforderungen zur räumlichen Anordnung und Befestigung. Zusätzlich müssen die folgenden, auf Laser bezogenen Anforderungen erfüllt werden.

4.1.1 Allgemeine Anforderungen

Wenn sie an ihrem vorgesehenen Aufstellungsort ihrer vorhersehbaren primären oder sekundären Maximalbestrahlung ausgesetzt wird, darf eine Laserschutzwand an oder hinter ihrer Rückseite keine zusätzlichen Gefährdungen verursachen.

ANMERKUNG 1 Beispiele für zusätzliche Gefährdungen sind unter anderem: hohe Temperatur, übermäßige ultraviolette Strahlung, Freisetzung giftiger Materialien, Feuer, Explosion, Elektrizität usw.

ANMERKUNG 2 Siehe [Anhang B](#) für die Ermittlung der vorhersehbaren Maximalbestrahlung.

4.1.2 Verschleißteile von Laserschutzwänden

Für den Austausch von Teilen der Laserschutzwand, die gegen Beschädigung durch Laserstrahlung anfällig sind, muss Vorsorge getroffen werden.

ANMERKUNG Ein Beispiel dafür wäre ein Opferschirm oder ein auswechselbarer Schirm.

4.2 Leistungsanforderungen

4.2.1 Allgemeines

Wenn die (exponierte) Vorderseite der Laserschutzwand mit Laserstrahlung der vorhersehbaren Maximalbestrahlung bestrahlt wird, muss die Laserschutzwand verhindern, dass die auf der Rückseite zugängliche Strahlung zu keiner Zeit innerhalb des Wartungsintervalls die Grenzwerte der Klasse 1 übersteigt. Für automatische Laserbearbeitungsmaschinen muss das Wartungsintervall mindestens 8 Stunden betragen.

Diese Anforderung muss über die vorgesehene Lebensdauer der Laserschutzwand unter den erwarteten Betriebsbedingungen eingehalten werden.

ANMERKUNG 1 Diese Anforderung bezieht sich sowohl auf niedrige Transmission von Laserstrahlung als auch auf Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigungen durch Laser.

ANMERKUNG 2 Einige Materialien können ihre Schutzeigenschaften durch Alterung, Bestrahlung mit UV-Strahlung, bestimmte Gase, Temperatur, Feuchtigkeit und andere Umgebungsbedingungen verlieren. Zusätzlich werden einige Materialien unter hoher Laserbestrahlung durchlässig, selbst wenn keine sichtbare Beschädigung vorliegt (z. B. reversibles Bleichen).

4.2.2 Aktive Laserschutzwände

- a) Die Schutzdauer einer aktiven Laserschutzwand muss bis zu der vorhersehbaren Maximalbestrahlung größer als die Laserabschaltzeit sein.
- b) Die Erkennung der übermäßigen Bestrahlung einer aktiven Laserschutzwand, die die Erzeugung des Abschaltsignals der aktiven Laserschutzwand hervorruft, muss mit einer sichtbaren oder hörbaren Warnmeldung verbunden sein. Bevor die Laseremission wieder beginnen kann, ist ein von Hand ausführbarer Rücksetzbefehl erforderlich.

ANMERKUNG Siehe [Anhang C.2](#) für die Erläuterung der Begriffe.

4.3 Bewertung

Wenn der Hersteller einer Laserbearbeitungsmaschine sich zum Bau einer Laserschutzwand entschließt, muss deren Hersteller bestätigen, dass die Laserschutzwand mit den Konstruktionsanforderungen von [4.1](#) übereinstimmt und die Leistungsanforderungen von [4.2](#) erfüllt.

ANMERKUNG Siehe [Anhang A](#) für Richtlinien für die Konstruktion und die Auswahl von Laserschutzwänden.

4.3.1 Bewertung der Leistungsmerkmale

4.3.1.1 Die komplette Laserschutzwand oder ein geeignetes Muster des Konstruktionsmaterials der Laserschutzwand muss bei jeder festgestellten vorhersehbaren Maximalbestrahlung (VMB) geprüft werden.

ANMERKUNG 1 Eine Tabelle mit vorgegebenen Schutzzgrenzwerten SGB für übliche Kombinationen von Lasern und Materialien für Schutzwände sollte zusammen mit angemessenen Prüfverfahren als informativer Anhang in einer zukünftigen Änderung dieser Norm veröffentlicht werden. Dies könnte eine vereinfachte Alternative zur direkten Prüfung in der Mehrzahl der Fälle bringen.

ANMERKUNG 2 Siehe [Anhang B](#) für die Ermittlung von VMB.

4.3.1.2 Für Prüfzwecke muss die VMB erreicht werden, entweder:

- a) durch Berechnung oder Messung der Bestrahlung und Nachstellen der Bedingungen oder;
- b) ohne den Wert für VMB zu ermitteln, durch Einstellen von Maschinenbedingungen, durch die die VMB erzeugt wird.

Die Testbedingungen für eine Laserschutzwand oder ein Muster müssen die physikalischen Bedingungen an der Vorderseite reproduzieren, wie sie im Anwendungsbereich der Anweisungen für die Routine-Inspektionen und während der Standzeit der Schutzwand, in der sich die Schutzeigenschaften der Laserschutzwand verringern (z. B. Abnutzung und Beschädigung und Verschmutzung der Oberfläche), zugelassen sind (siehe 4.4.2).

4.4 Benutzerinformationen

4.4.1 Der Hersteller muss das Wartungsintervall für die Laserschutzwand sowie Einzelheiten zu Inspektion und Prüfverfahren, zur Reinigung, zu Ersatz oder Reparatur beschädigter Teile zusammen mit Angaben über Einschränkungen der Benutzung dokumentieren und dem Benutzer übergeben.

4.4.2 Der Hersteller muss die Anleitungen, dass nach jeder Aktivierung eines Sicherheitssystems einer aktiven Laserschutzwand die Ursache ermittelt werden muss und Prüfungen auf Beschädigungen und Maßnahmen zur Wiederherstellung durchgeführt werden müssen, bevor das Sicherheitssystem zurückgesetzt werden darf, dokumentieren und dem Benutzer übergeben.

5 Laserschutzwände mit festgelegter Schutzwirkung

Dieser Abschnitt legt die Anforderungen fest, die von Lieferanten von Laserschutzwänden mit festgelegter Schutzwirkung erfüllt werden müssen.

5.1 Konstruktionsanforderungen

Eine Laserschutzwand mit festgelegter Schutzwirkung darf an ihrem vorgesehenen Aufstellungsort an oder hinter ihrer Rückseite keine zusätzlichen Gefährdungen verursachen, wenn sie bis zu ihrer Schutzzgrenzbestrahlung (SGB), wie in der Bedienungsanleitung angegeben, bestrahlt wird (siehe 5.6).

5.2 Leistungsanforderungen

Wenn die Vorderseite der Laserschutzwand mit Laserstrahlung der Schutzzgrenzbestrahlung (SGB) bestrahlt wird, muss die Laserschutzwand verhindern, dass die auf der Rückseite zugängliche Strahlung zu keiner Zeit innerhalb des Wartungsintervalls die Grenzwerte der Klasse 1 übersteigt. Für eine aktive Laserschutzwand gilt diese Anforderung für die zugängliche Laserstrahlung während der Schutzdauer einer aktiven Laserschutzwand, gemessen von dem Zeitpunkt, an dem das Abschaltsignal abgegeben wurde.

Diese Anforderung muss für die beabsichtigte Lebensdauer der Laserschutzwand unter den erwarteten Betriebsbedingungen erfüllt werden.

5.3 Anforderungen an die Spezifikation

Die vollständige Spezifikation eines Schutzzgrenzwertes SGB muss folgende Informationen enthalten:

- a) die Größe und die zeitliche Änderung der Bestrahlungsstärke oder Bestrahlung an der Vorderseite der Laserschutzwand (in den Einheiten $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ beziehungsweise $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$), dabei ist eine obere Grenze der bestrahlten Fläche anzugeben;
- b) die Gesamtdauer der Bestrahlung unter diesen Bedingungen;
- c) die Wellenlänge, für die diese Schutzgrenzbestrahlung (SGB) gilt;
- d) den Auftreffwinkel und (falls von Bedeutung) die Polarisation der auftreffenden Laserstrahlung;
- e) die kleinsten Abmessungen für die bestrahlte Fläche (z. B. könnte bei einer aktiven Laserschutzwand mit diskreten Sensorelementen ein Laserstrahl mit kleinem Durchmesser so zwischen den Sensorelementen hindurchgehen, dass er unentdeckt bleibt);
- f) für eine aktive Laserschutzwand die Schutzdauer der aktiven Laserschutzwand.

ANMERKUNG 1 Siehe Abschnitt B.1 für die Erläuterung von Begriffen.

ANMERKUNG 2 In allen Fällen darf ein Bereich oder eine Liste von Werten anstelle eines einzelnen Wertes angegeben werden.

ANMERKUNG 3 Eine Darstellung als Diagramm ist ausreichend (z. B. Bestrahlung über der Bestrahlungsdauer, wobei alle anderen Parameter konstant sind).

5.4 Prüfanforderungen

5.4.1 Allgemeines

Die Prüfung muss an der kompletten Laserschutzwand oder einem geeigneten Muster des Konstruktionsmaterials der Laserschutzwand durchgeführt werden. Auf alle Fälle müssen die Bedingungen für die Laserschutzwand oder die Muster die ungünstigsten physikalischen Bedingungen an der Oberfläche der Vorderseite reproduzieren oder überschreiten, einschließlich verringerter Reflexion an der Oberfläche und Beschädigungen, wie sie nach den Anweisungen für wiederholte Inspektionen zulässig sind (siehe 5.6).

Die Bestrahlung der Oberfläche der Vorderseite muss entweder der Schutzgrenzbestrahlung (SGB) oder beim Prüfen eines Musters der in 5.4.2 festgelegten Strahlung entsprechen.

Wenn die Oberfläche der Vorderseite mit Strahlung des Schutzgrenzwertes SGB bestrahlt wird, darf die zugängliche Strahlung, die auf der Rückseite der Laserschutzwand gemessen wird, die Grenzwerte für Laser der Klasse 1 nicht übersteigen (Prüfung wie in Abschnitt 5 der IEC 60825-1 beschrieben). Diese Anforderung gilt für die mit der Schutzgrenzbestrahlung (SGB) spezifizierte Bestrahlungsdauer oder bei einer aktiven Laserschutzwand für die Schutzdauer einer aktiven Laserschutzwand, gemessen vom Erzeugen des Abschaltsignals der aktiven Laserschutzwand.

ANMERKUNG In Fällen, in denen für die Wellenlänge(n) des Lasers undurchsichtige Materialien verwendet werden (z. B. Metalle), kann die durchgelassene Strahlung nur dann die Grenzwerte für die Klasse 1 erreichen, wenn das Material auf dem Weg zur Rückseite vollständig (oder nahezu vollständig) abgetragen wurde. In diesen Fällen wird deshalb der Anstieg vom Wert null der durchgelassenen Strahlung zu Werten hoch über den Grenzwerten der Klasse 1 sehr schnell sein und ein empfindlicher Detektor für die Strahlung nicht erforderlich sein.

5.4.2 Prüfung von Mustern

Das Prüfen von Proben der Schutzeinrichtung muss durch Bestrahlung der Vorderseite des Schutzmaterials unter Benutzung der Methode, wie im Anhang D spezifiziert, erfolgen.

5.5 Anforderungen an die Kennzeichnung

- 5.5.1 Alle Kennzeichnungen müssen auf der Rückseite der Laserschutzwand angebracht werden.

5.5.2 Die Rückseite der Laserschutzwand muss eindeutig gekennzeichnet sein, falls die Ausrichtung der Laserschutzwand von Bedeutung ist.

5.5.3 Falls nur ein Teil der Vorderseite der Schutzwand eine Laserschutzwand darstellt, muss diese Fläche deutlich durch eine fett gedruckte farbige Umrandung gekennzeichnet sein, sowie mit einem Text, der auf die äußere Umrandung der Laserschutzwand hinweist.

5.5.4 Die Kennzeichnung muss die vollständige Spezifikation des Schutzwertes SGB wiedergeben.

5.5.5 Der Name des Herstellers, Datum und Ort der Herstellung entsprechend ISO 11553-1, und eine Bestätigung der Übereinstimmung mit dieser Norm müssen angebracht sein.

5.6 Benutzerinformationen

Zusätzlich zu den in 5.3 aufgeführten Spezifikationen müssen folgende Informationen dem Benutzer einer proprietären Laserschutzwand vom Hersteller übergeben werden:

- a) eine Beschreibung der zulässigen Verwendung der Laserschutzwand;
- b) eine Beschreibung der Montage und Verbindung der Laserschutzwand;
- c) Informationen zur Installation der Laserschutzwand – bei aktiven Laserschutzwänden müssen die Anforderungen zur Verbindungstechnik und Stromversorgung eingeschlossen sein;
- d) Anforderungen an die Wartung, einschließlich z. B. Einzelheiten der Inspektion und Prüfverfahren, Reinigung, Austausch oder Reparatur beschädigter Teile;
- e) Anweisungen, dass nach jeder Auslösung des Sicherheitssystems einer aktiven Laserschutzwand die Ursache ermittelt werden muss, Prüfungen auf Beschädigungen durchzuführen sind, und die notwendigen Maßnahmen zur Wiederherstellung, bevor das Sicherheitssystem zurückgesetzt werden darf;
- f) die Schilder in 5.5 und ihre Anordnung. Wenn nur ein Teil der Oberfläche der Vorderseite der Schutzwand eine Laserschutzwand ist, muss dieser Bereich gekennzeichnet sein;
- g) eine Bestätigung der Übereinstimmung mit dieser Norm.

Anhang A (informativ)

Allgemeine Richtlinien für Konstruktion und Auswahl von Laserschutzwänden

A.1 Konstruktion von Laserschutzwänden

A.1.1 Passive Laserschutzwände

Beispiele für passive Laserschutzwände sind unter anderem:

- a) eine Metallplatte, deren Wirkung auf ihrer Wärmeleitfähigkeit beruht, die, falls erforderlich, durch Druckluft- oder Wasserkühlung unterstützt wird, um die Oberflächentemperatur unterhalb des Schmelzpunktes unter normalen Betriebsbedingungen und bei vorhersehbaren Fehlerbedingungen zu halten;
- b) eine transparente Platte, die für die Laserwellenlänge undurchlässig ist und die bei niedrigen Werten von Laserbestrahlungen im normalem Betrieb der Laserbearbeitungsmaschine nicht verändert wird.

A.1.2 Aktive Laserschutzwände

Beispiele für aktive Laserschutzwände sind unter anderem:

- a) eine Laserschutzwand mit einzeln eingebauten Temperaturfühlern, die Überhitzung feststellen;

ANMERKUNG Der Abstand zwischen den Temperaturfühlern sollte sich nach dem kleinsten Maß eines vagabundierenden Laserstrahles richten.

- b) eine Laserschutzwand, die aus zwei Platten besteht, deren Zwischenraum eine Flüssigkeit oder ein Gas unter Druck enthält, mit einem druckempfindlichen Sensor, der den Druckabfall nach der Perforation der Vorderseite detektieren kann.

A.1.3 Anzeige der Gefährdung (passive Laserschutzwand)

Wenn möglich, sollte eine Bestrahlung der Laserschutzwand in gefährlicher Größenordnung sichtbar angezeigt werden (z. B. durch Auftragen einer geeigneten Farbschicht auf beide Seiten der Laserschutzwand).

A.1.4 Stromversorgung (aktive Laserschutzwand)

Falls für die richtige Funktion einer aktiven Laserschutzwand eine Stromversorgung notwendig ist, sollte die Stromversorgung so eingerichtet werden, dass ohne diese Stromversorgung der Betrieb des Lasers nicht möglich ist.

A.2 Auswahl von Laserschutzwänden

Ein einfacher Auswahlprozess ist wie folgt:

- a) Man identifiziere die bevorzugte Position der Laserschutzwand und schätze die VMB an dieser Stelle ab. [Anhang B](#) gibt eine Anleitung zur Abschätzung von VMB-Werten.
- b) Falls notwendig, minimiere man die VMB im Fehlerfall, vorzugsweise dadurch, dass man eine automatische Überwachung in die Maschine einbaut, die den Fehlerzustand erkennt und die Bestrahlungsdauer begrenzt. Alternative Beispiele schließen ein:
 - 1) Man stelle sicher, dass die Laserschutzwand weit genug vom Strahlbrennpunkt entfernt ist, der durch fokussierende Optiken erzeugt wird;
 - 2) man installiere empfindliche Teile der Laserschutzwand (wie z. B. Sichtfenster) außerhalb solcher Zonen, die hoher Bestrahlungsstärke ausgesetzt sein könnten;

- 3) man stelle die Laserschutzwand weiter von der Laserbearbeitungszone auf;
- 4) zusätzliche Anforderungen in den wesentlichen Wartungsdokumenten für temporäre Laserschutzwände, wie:
 - die Anwesenheit einer oder mehrerer Personen, um den Zustand der Vorderseite der Laserschutzwand zu überwachen, um die abgeschätzte Bestrahlungsdauer der passiven Schutzwand zu reduzieren;
 - eine Steuerung mit Betriebsunterbrechungs-Funktion, die von der (den) Person(en) benutzt werden soll, die den Zustand der Vorderseite der Laserschutzwand überwacht (überwachen), um die abgeschätzte Bestrahlungsdauer der passiven Schutzwand zu reduzieren;
 - die Benutzung von zusätzlichen lokalen, temporären Schutzwänden, Blenden und Strahlfallen, um jegliche starke, vagabundierende Laserstrahlung zu absorbieren;
 - die Begrenzung der Gefahrenzone durch Bauteile, die vor vagabundierender Strahlung warnen, und die Aufstellung der Schutzwand außerhalb dieser Zone, um die abgeschätzte Bestrahlungsdauer zu reduzieren;
- 5) falls temporäre Laserschutzwände benutzt werden sollen, sind bei der Auslegung der Maschine Strahlkontrollmöglichkeiten einzubauen, um eine verbesserte Kontrolle des Laserstrahls bei Wartungsarbeiten zu ermöglichen, wie zum Beispiel:
 - Halter für den präzisen Einbau zusätzlicher strahlformender Bauteile (z. B. Drehspiegel), die während der Wartung benötigt werden;
 - Aufbauten, die den Bereich für die Strahlauslenkung begrenzen.

Drei Optionen sind im Folgenden aufgeführt. Mit deren Reihenfolge soll keine Rangfolge ausgedrückt werden.

A.2.1 Option 1: passive Laserschutzwand

Dies ist die einfachste Option.

ANMERKUNG Konstruktion und Qualitätskontrolle sind besonders wichtig, wenn die Absorption bei der Laserwellenlänge durch eine Fremdstoffbeimischung bestimmt ist, wie z. B. einen Farbstoff im Kunststoff. In solchen Fällen, in denen Materialhersteller die Konzentration des absorbierenden Materials oder dessen Dämpfung bei der Laserwellenlänge nicht spezifizieren, sollten zuerst Materialproben der gleichen Charge geprüft werden, wie in 4.3.1 beschrieben.

A.2.2 Option 2: aktive Laserschutzwand

Wenn die VMB nicht auf einen Wert reduziert werden kann, bei dem die allgemein bekannten Abschirmmaterialien in der Form einer passiven Laserschutzwand noch ausreichend Schutz bieten, kann in jedem Fall eine aktive Laserschutzwand benutzt werden.

A.2.3 Option 3: Laserschutzwand mit festgelegter Schutzwirkung

Eine Laserschutzwand mit festgelegter Schutzwirkung kann dann benutzt werden, wenn die festgelegten VMB-Werte kleiner sind als die vom Hersteller der Laserschutzwand angegebene Schutzgrenzbestrahlung (SGB).

Anhang B (informativ)

Ermittlung der vorhersehbaren Maximalbestrahlung (VMB)

B.1 Allgemeines

Werte der vorhersehbaren Maximalbestrahlung (VMB) dürfen entweder durch Messung oder durch Berechnung (siehe unten) ermittelt werden.

Die Norm ISO 12100 gibt eine allgemeine Methode zur Risikobeurteilung an. Die Begutachtung sollte nach Möglichkeit Überlegungen zur Gesamtbestrahlung bei normalem Betrieb (z. B. während der Teile-Bearbeitungszeit der Maschine) über das Wartungsintervall mit einschließen.

Aufgrund dieser Bewertung soll nach Möglichkeit die kritischste Kombination aus Bestrahlung, bestrahlter Fläche und Bestrahlungsdauer herausgefunden werden. Es ist durchaus wahrscheinlich, dass mehrere VMB-Werte identifiziert werden, z. B. darf bei einer Bedingung die Bestrahlungsdauer bei vergleichsweise kleiner Bestrahlungsstärke maximal sein, wohingegen bei einer anderen die Bestrahlungsstärke bei einer kürzeren Bestrahlungsdauer maximal sein darf.

Die gesamte Spezifikation der VMB umfasst die folgenden Informationen:

- a) Die höchste Bestrahlungsstärke auf der Vorderseite der Laserschutzwand.

ANMERKUNG Bestrahlungsstärke wird ausgedrückt als Gesamtleistung oder -energie dividiert durch die Fläche der Vorderseite der Schutzwand oder eine spezifizierte begrenzte Fläche, je nachdem, was zutrifft.

- b) Jede obere Grenze der bestrahlten Fläche der Vorderseite bei diesem Bestrahlungspegel.

ANMERKUNG Für den Fall des Schutzes gegen Streustrahlung wäre keine Grenzangabe für die Fläche notwendig, wohingegen für den Fall der direkten Laserbestrahlung eine obere Grenze der bestrahlten Fläche anzugeben wäre.

- c) Die zeitlichen Eigenschaften der Bestrahlung, d. h., ob die Laserstrahlung kontinuierlich oder gepulst ist, und im letzteren Fall die Impulsdauer und Impulsfolgefrequenz.

- d) Die gesamte Dauer der Bestrahlung.

ANMERKUNG Siehe Abschnitt B.4 für die Erläuterung dieses Begriffes.

- e) Die Wellenlänge der Strahlung.

- f) Der Einfallswinkel und (falls relevant) der Polarisationszustand der Strahlung.

ANMERKUNG 1 Die Feststellung des Einfallswinkels ist besonders wichtig für Laserschutzwände, bei denen Interferenzschichten benutzt werden, um einfallende Laserstrahlung zu reflektieren.

ANMERKUNG 2 VORSICHT: Beim Brewsterschen Einfallswinkel wird parallel polarisierte Strahlung stark in die Oberfläche der Schutzwand eingekoppelt.

- g) Alle kleinsten Abmessungen für die bestrahlte Fläche (z. B. könnte bei einer aktiven Laserschutzwand mit diskreten Sensorelementen ein Laserstrahl mit kleinem Durchmesser so zwischen den Sensorelementen hindurchgehen, dass er unentdeckt bleibt).

- h) Die Schutzdauer der aktiven Schutzwand, falls es sich um eine aktive Schutzwand handelt.

B.2 Reflexion der Laserstrahlung

B.2.1 Diffuse Reflexionen

Unter der Voraussetzung eines Lambertschen Reflektors mit 100 % Reflexionsgrad ist:

$$E_A = \frac{P_o}{\pi} \cdot \frac{\cos \theta}{R^2} \cdot \cos \varphi$$

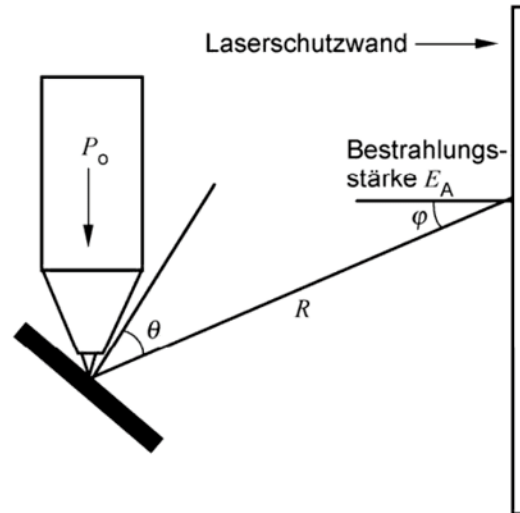


Bild B.1 – Berechnung von spiegelnden Reflexionen

B.2.2 Spiegelnde Reflexionen

Es ist schwierig, allgemeine Aussagen über spiegelnde Reflexionen zu treffen.

Für einen kreissymmetrischen Laserstrahl mit Gaußscher Normalverteilung, der Leistung P_o und dem Durchmesser d_{86} an der Fokussierlinse, der Brennweite f , ist die maximale Bestrahlung (im Zentrum der Gaußschen Normalverteilung) auf einer dazu senkrechten Fläche im Abstand R vom Brennpunkt:

$$E_{AA'} = \frac{4 \cdot P_o \cdot \rho}{\pi \cdot d_{86}^2} \left(\frac{f}{R} \right)^2$$

Dabei ist ρ der Reflexionsfaktor der Oberfläche des Werkstücks.

Achtung: Bestimmte gekrümmte Oberflächen können die Gefährdung durch Reflexion verstärken.

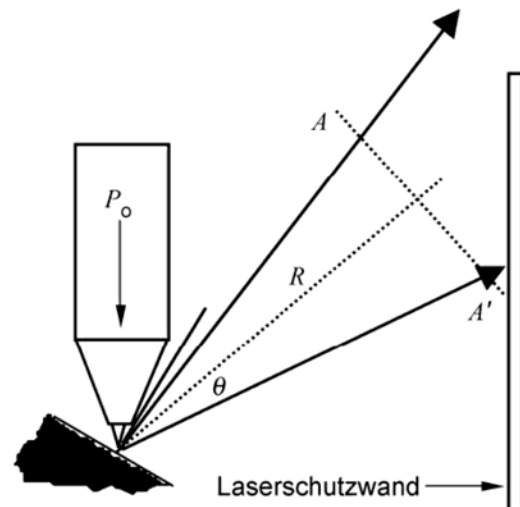


Bild B.2 – Berechnung von spiegelnden Reflexionen

B.3 Beispiele für Beurteilungsbedingungen

Die VMBs sollten nach Möglichkeit bei der (den) im schlimmsten Fall gültigen, vernünftigerweise vorhersehbaren Kombination(en) von verfügbaren Laserparametern, Werkstückmaterialien, Geometrien und Prozessen ermittelt werden, die im normalen Betrieb wahrscheinlich auftreten können (IEC/TR 60825-14 beinhaltet Richtlinien für Benutzer).

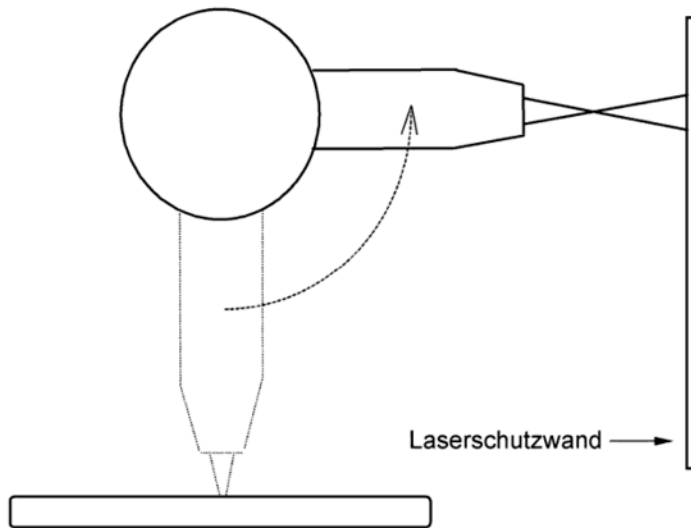


Bild B.3a – Software-Fehler

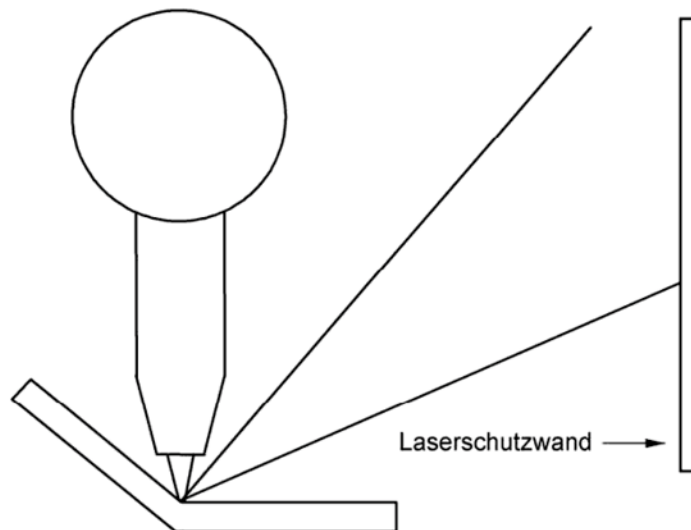


Bild B.3b – Das Werkstück biegt sich oder ist nicht ausreichend eingespannt

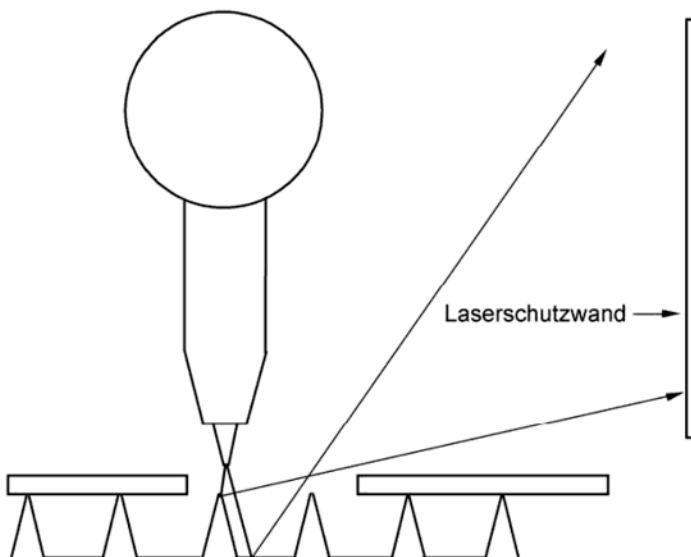


Bild B.3c – Werkstück fehlt

Bild B.3 – Einige Beispiele für vorhersehbare Fehlerbedingungen

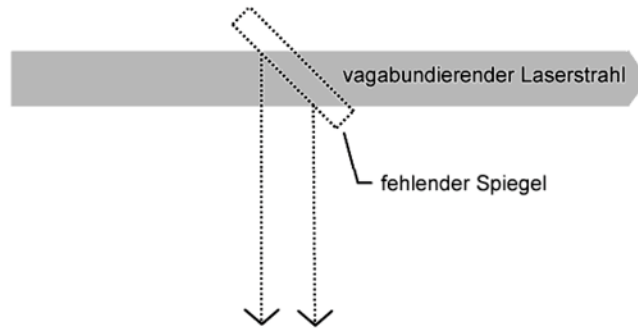


Bild B.4a – Der Laser wird mit fehlendem Drehspiegel betrieben

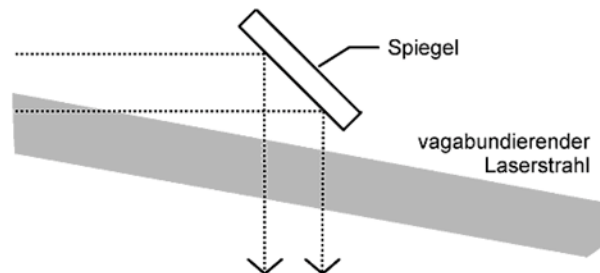


Bild B.4b – Der Laserstrahl ist während des Justierens nicht auf den Spiegel eingestellt

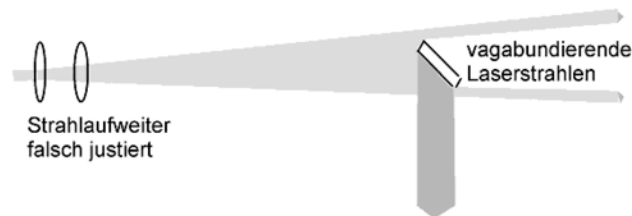


Bild B.4c – Der Laserstrahl ist über den Bereich der Optik ausgedehnt

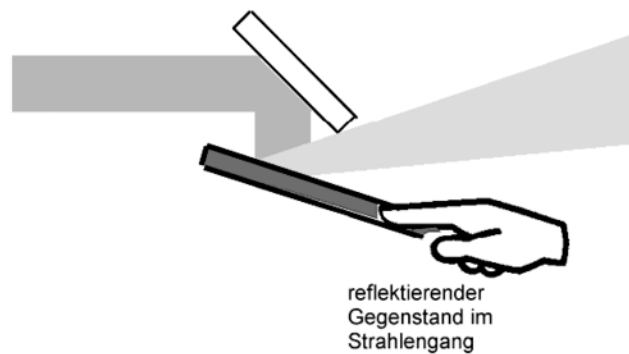


Bild B.4d – Reflektierende Gegenstände unterbrechen den Laserstrahl

Bild B.4 – Vier Beispiele für vagabundierende Laserstrahlen, die eventuell durch eine temporäre Laserschutzwand unter Servicebedingungen abgeschirmt werden müssen

B.4 Bestrahlungsdauer

B.4.1 Normalbetrieb

Die Bestrahlung einer Laserschutzwand mit Laserstrahlung während des fehlerfreien Betriebs darf Bestrahlungsanteile niedriger Stärke von reflektierter, gestreuter oder durchgelassener Strahlung beinhalten, die bei jedem Maschinenzyklus wiederholt auftreten. In diesem Fall würde die festgelegte VMB für fehlerfreien Betrieb die Änderung der Bestrahlungsstärke an der Schutzwand während des Zyklus und dessen Wiederholung für die maximale Anzahl von Maschinenzyklen innerhalb des Wartungsintervalls mit einschließen.

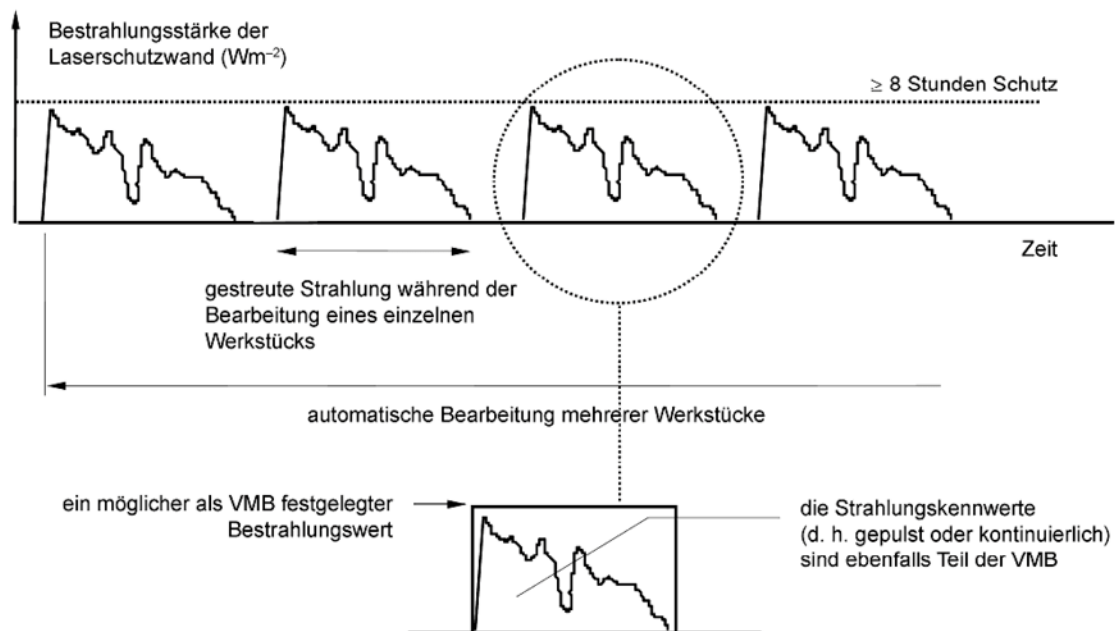


Bild B.5 – Darstellung der Bestrahlung einer Laserschutzwand bei wiederholten Maschinenzyklen

B.4.2. Fehlerbedingungen

Ein Sicherheits-Steuerungssystem, das eine Art von Maschinenüberwachung beinhaltet, kann die Zeit verkürzen, über die die Schutzwand unter Fehlerbedingungen eine Strahlungsgefahr sicher begrenzen muss. Zwei Beispiele sind unten angegeben.

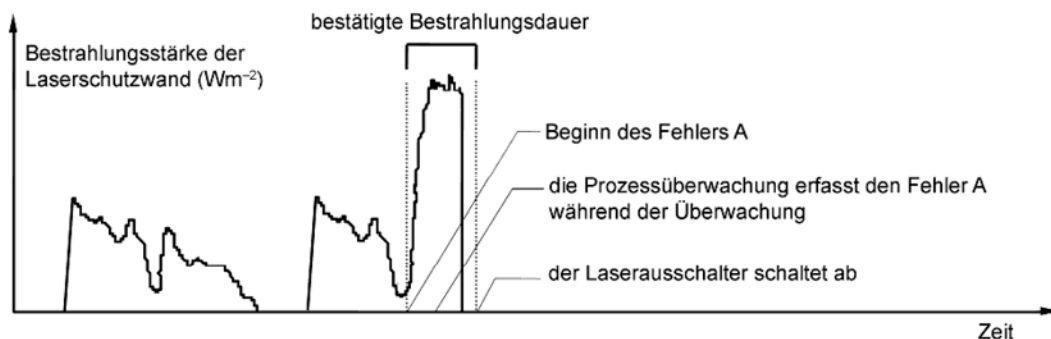


Bild B.6a – Abschaltung durch gleichzeitige Maschinen-Sicherheitsüberwachung

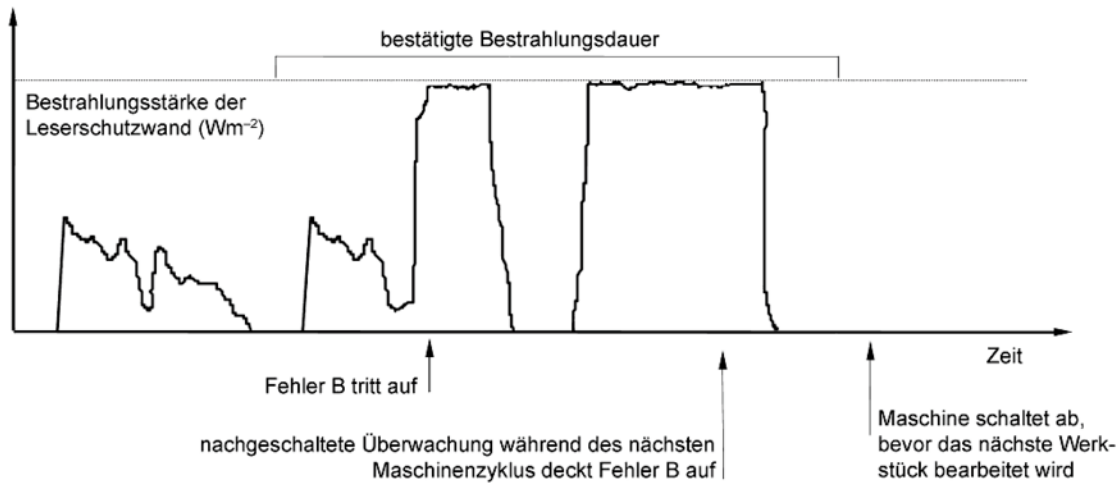


Bild B.6b – Abschaltung durch nachgeschaltete Maschinen-Sicherheitsüberwachung

Bild B.6 – Zwei Beispiele für bestätigte Bestrahlungsdauern

Für vernünftigerweise vorhersehbare Fehlerbedingungen, die nicht durch irgendein Sicherheits-Überwachungssystem entdeckt werden, ist die festgelegte Bestrahlungsdauer gleich dem vollen Sicherheits-Wartungsintervall.

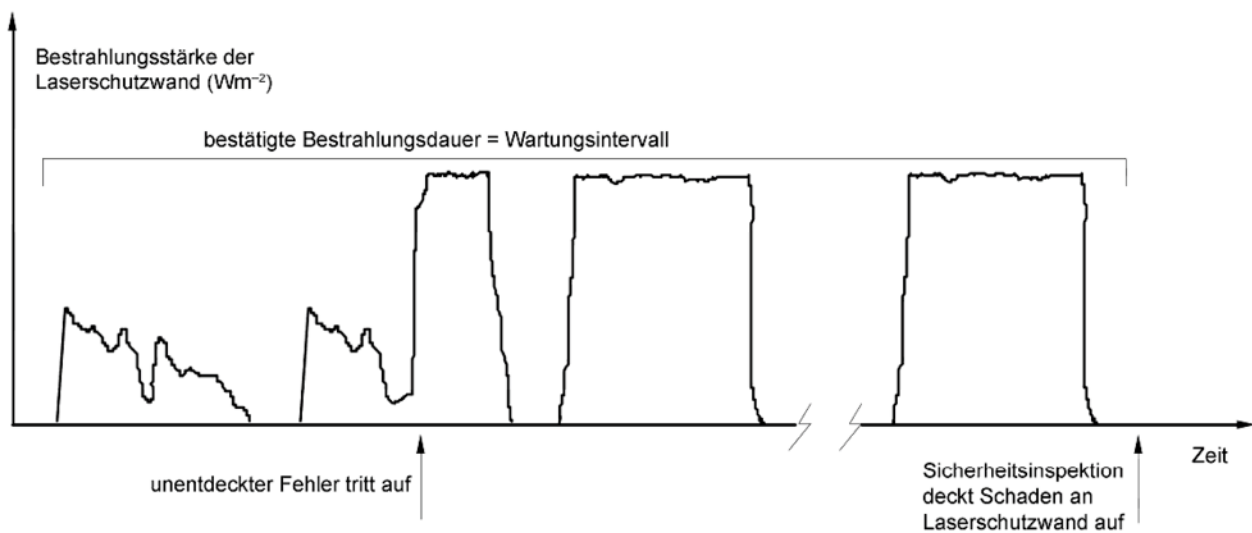


Bild B.7 – Bestätigte Bestrahlungsdauer für Maschine ohne Sicherheitsüberwachung

B.4.3 Wartungsarbeiten

Faktoren, die die Zeit vom Beginn der Bestrahlung bis zur Laserabschaltung einer temporären Schutzwand während eines Wartungsbetriebs direkt beeinflussen, beinhalten:

- Verwendung einer voreingestellten Laser-Ein-Zeit;
- Grad der Überwachung von Fehlerbedingungen;
- Bereitstellung von Personen, die den Zustand der Schutzwand (passive Schutzwände) überwachen;
- Bereitstellung einer Steuerung mit Betriebsunterbrechungs-Funktion;
- Art der Warnmeldung, die durch die Reaktion der Schutzwand auf Laserbestrahlung über den Grenzwerten ausgelöst wird (passive Schutzwände);
- Abdeckungsgrad der Schutzwand-Vorderseite (passive Schutzwände);

- g) zu überwachende Gesamtfläche der Schutzwand (passive Schutzwände);
- h) Trainingszustand des Wartungspersonals.

Nach Möglichkeit sollte eine Risikobeurteilung erstellt werden, um gefährliche Situationen zu identifizieren und den vorhersehbaren Bestrahlungspegel zu bestimmen. Wenn menschlicher Eingriff notwendig ist, um die Bestrahlungsdauer einer temporären Schutzwand zu begrenzen, sollte ein Wert von nicht weniger als 10 s benutzt werden. Es sollten alle vernünftigerweise praktikierbaren und organisatorischen Maßnahmen angewendet werden, um die Abhängigkeit von temporären Schirmen als Schutzmaßnahme zu verringern.

Anhang C (informativ)

Erläuterung definierter Begriffe

C.1 Unterscheidung von vorhersehbarer Maximalbestrahlung (VMB) und Schutzgrenzbestrahlung (SGB)

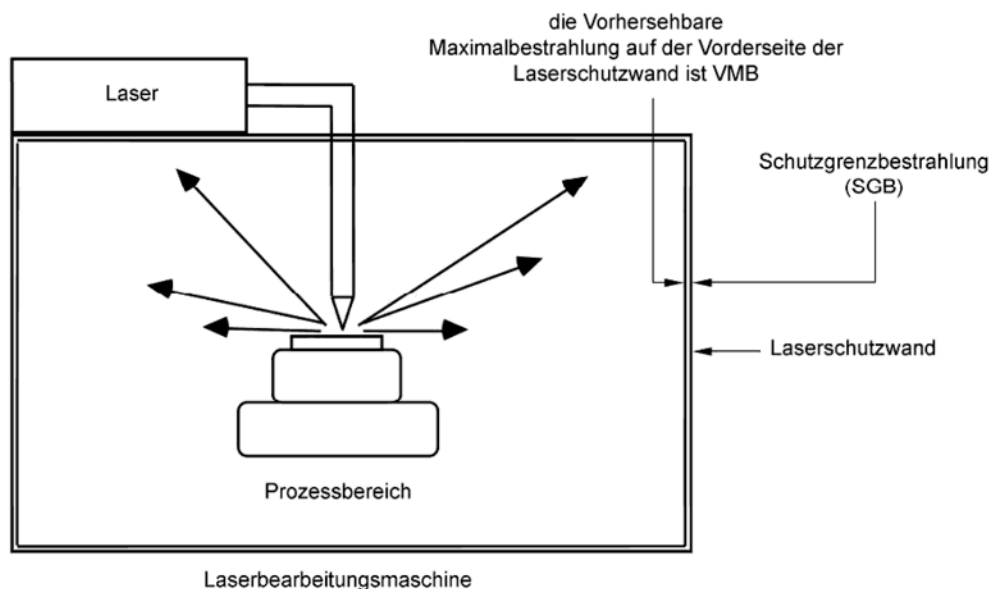


Bild C.1 – Darstellung des Schutzes um eine Laserbearbeitungsmaschine

Die vorhersehbare Maximalbestrahlung (VMB) an einer bestimmten Stelle, an der eine Laserschutzwand aufgestellt werden soll, ist die größte vom Hersteller der Laserbearbeitungsmaschine geschätzte Bestrahlung, bestimmt für normale und vernünftigerweise vorhersehbare Fehlerbedingungen. Die VMB definiert den Minimalwert des Bestrahlungsschutzgrenzwertes SGB einer Laserschutzwand, die an dieser Stelle benutzt werden kann.

Die Schutzgrenzbestrahlung (SGB) ist ein Maß für die Fähigkeit der Laserschutzwand, gegen einfallende Laserstrahlung zu schützen. Der Hersteller der Laserbearbeitungsmaschine hat Prüfungen durchzuführen, die die Angemessenheit der Laserschutzwände bestätigen sollen. Das kann erreicht werden durch direkte Prüfung, durch Bestimmung der SGB der Schutzwand oder durch Kauf einer garantierten Laserschutzwand, deren Schutzgrenzbestrahlung SGB-spezifiziert ist.

C.2 Parameter von aktiven Schutzwänden

Eine aktive Schutzwand hat zwei wesentliche Komponenten:

- eine physikalische Absperrung, die bei der Laserwellenlänge eine hohe Dämpfung hat, um als passive Laserschutzwand für niedrige Pegel von Laserstrahlung (z. B. diffus gestreute Strahlung) zu dienen und um der Durchdringung von gefährlichen Pegeln von einfallender Strahlung für eine begrenzte (kurze) Zeit zu widerstehen;
- ein Sicherheits-Überwachungssystem, das einen Sensor beinhaltet, der gefährliche Pegel von einfallender Laserstrahlung erkennt, entweder direkt oder indirekt (z. B. durch Temperaturmessung oder durch Erkennung eines anderen Effekts, der durch Laserstrahlung auf Teilen der Laserschutzwand ausgelöst wird), und dann ein Signal abgibt, um die Laseremission abzuschalten (z. B. durch Unterbrechen der

Sicherheitsverriegelungs-Kette, wodurch die Laserquelle abgeschaltet wird, oder durch Schließen eines Sicherheits-Strahlabschalters).

Laserschutzwände sind im normalen Betrieb der Laserbearbeitungsmaschine häufig niedrigen Werten von Laserbestrahlung ausgesetzt. Da die Schutzwand durch solche Strahlung nicht bedroht ist, sollte der Sensor nicht reagieren. Stattdessen sollte der Sensor so eingestellt sein, dass er nur auf einfallende Laserstrahlung reagiert, die einen Schwellenwert überschreitet, bei dem die Unversehrtheit der Laserschutzwand bedroht ist. Es gibt eine Verzögerungszeit zwischen dem Zeitpunkt, an dem die Bestrahlung durch die einfallende Laserstrahlung den Schwellenwert überschreitet, und dem Zeitpunkt, an dem das Abschaltsignal der aktiven Schutzwand durch die aktive Schutzwand erzeugt wird. Ähnlich gibt es auch eine Verzögerungszeit, genannt Laserabschaltzeit, zwischen der Erzeugung des Abschaltsignals der aktiven Laserschutzwand und dem Zeitpunkt, an dem die Laserstrahlung abgeschaltet ist.

Um die Anforderungen dieser Norm zu erfüllen, ist es wichtig, dass

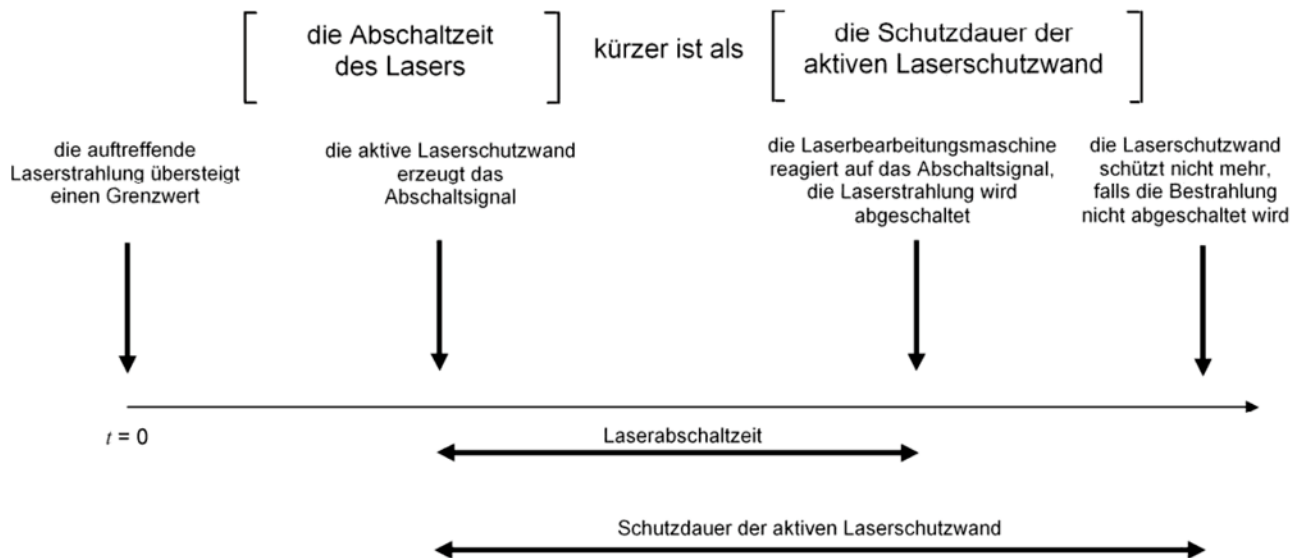


Bild C.2 – Darstellung der Parameter einer aktiven Laserschutzwand

Anhang D (normativ)

Prüfen von Laserschutzwänden mit festgelegter Schutzwirkung

D.1 Allgemeines

Dieser Anhang enthält die Angaben der einzuhaltenden Prüfbedingungen und der vom Hersteller der Laserschutzwände mit festgelegter Schutzwirkung gelieferten Dokumentationsunterlagen.

Dieser Anhang ist nur für Laserschutzwände mit festgelegter Schutzwirkung anwendbar, die zur Verwendung mit einem Laser mit einer durchschnittlichen Ausgangsleistung gleich oder kleiner 4 kW und einem Strahlparameter-Produkt (SPP) (wie in ISO 11145 definiert) von mehr als 4 mm mrad vorgesehen sind.

Es sollte beachtet werden, dass es unangebracht ist, Hochleistungslaser zum Simulieren der Parameter von Lasern mit niedriger Leistung, oder Laser mit niedriger Leistung zur Simulation der Parameter von Hochleistungslasern durch Veränderung der Strahldichte oder entsprechende Abstandseinstellung zum Brennpunkt zu benutzen, da die Strahlqualität und weitere Charakteristika des Laserstrahls wahrscheinlich andersartig oder unvorhergesehen ausfallen. Die Manipulation der Leistungsmerkmale von Lasern einer bestimmten Leistungsstufe zur Abschätzung oder Extrapolation entsprechender Merkmale eines Lasers einer anderen Stufe (höherer oder niedrigerer Leistung) ist nicht erlaubt.

Die Aussage der hier beschriebenen Prüfungen ist nur für die verwendeten Laserparameter gültig und auf diese begrenzt. Daher sollten die Ergebnisse dieser Prüfungen nur als Orientierungshilfe beim Vergleich von Laserschutzwänden dienen.

Die Schutzgrenzbestrahlung ($PEL \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) ist nur für die Strahlabmessungen auf der Schutzwand anwendbar, die bei den Prüfungen verwendet wurden. Diese Abmessungen auf der Schutzwand müssen vom Hersteller der Laserschutzwand angegeben werden, da sich die SGB, die die Schutzwirkung kennzeichnet, mit zunehmender Laserstrahlabmessung verringert. Wenn die SGB überschritten wird, kann die Schutzwand beschädigt werden und sich letztendlich auflösen. Im Rahmen dieses Anhangs ist die Schutzdauer das Zeitintervall von Beginn der Bestrahlung auf der Vorderseite bis zu dem Zeitpunkt, bei dem die auf der Rückseite austretende Strahlung den Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) der Klasse 1, wie definiert in **IEC 60825-1**, überschreitet.

Die Bewertung der Schutzgrenzbestrahlung mit Hilfe der Prüfverfahren in diesem Anhang ist bei Lasern mit einer durchschnittlichen Ausgangsleistung gleich oder kleiner 4 kW und einem SPP von mehr als 4 mm mrad anwendbar.

ANMERKUNG 1 Bei Leistungsstufen von mehr als 4 kW und einem SPP von weniger als 4 mm mrad erhöht sich die Leistungsdichte nicht linear. Es wird jedoch empfohlen, das in diesem Anhang beschriebene experimentelle Verfahren einzuhalten, um die Leistungsdichten bei einer Ausgangsleistung von mehr als 4 kW aus dem Zusammenwirken von Laser, optischen Komponenten und Lichtwellenleiteroptik zu bestimmen.

ANMERKUNG 2 Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte darauf geachtet werden, dass auch bei geringeren Leistungsstufen das Auftreten nichtlinearer Wirkungen nicht ausgeschlossen oder ignoriert werden kann. Es wird empfohlen, die Prüfungen mit einem optischen Aufbau durchzuführen, der dem Gesamtlasersystem entspricht, für das die Schutzwände bestimmt sind.

D.2 Prüfbedingungen

D.2.1 Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen für Prüfbedingungen

Eine Vielzahl von Prüfungen auf Bestrahlungsgrenzwerte mit verschiedenen Materialien und Lasern kann zu nicht reproduzierbaren Ergebnissen führen, die zu Fehlinterpretationen für die Schutzgrenzbestrahlung und

zu überschätzten Lebensdauervorhersagen von Laserschutzwänden führen können. Um die Vollständigkeit der Resultate zu gewährleisten, müssen die jeweiligen Prüfbedingungen deshalb für alle Prüfungen gleich sein.

Um die Vollständigkeit der Resultate zu wahren, müssen alle Anstrengungen gemacht werden, systemabhängige oder andere Fehler, die in der falschen Auslegung der SGB oder der Überschätzung der Lebensdauer der Schutzwand resultieren können, auszuschließen oder zumindest zu verringern. Diese Fehler können entstehen durch:

- a) Material: reflektierende Oberflächen, wo sich das Reflexionsvermögen durch Oxydation oder Kontamination ändert;
- b) Laser: Hochleistungslaser (z. B. Multi-Kilowatt-Laser), insbesondere jene mit guter Strahlenqualität (d. h. Faser- und Scheibenlaser), es wurden Reaktionen beobachtet, die erheblichen Einfluss auf die effektive Leistungsdichte auf der Oberfläche der Laserschutzwände haben.

Deshalb ist es während der Prüfung wichtig, dass zwischen dem Strahlaustritt und dem Auftreffpunkt auf dem Schutzwandmaterial keine mechanischen oder physikalischen Effekte (wie unten beschrieben) auftreten, die die optischen Eigenschaften nachteilig beeinflussen. Es ist wichtig, dass die Prüfbedingungen exakt nachgestellt werden, da ansonsten die resultierende SGB oder Schutzdauer nicht verlässlich reproduziert werden kann.

Beispiele für Effekte, die Prüfergebnisse beeinflussen, beinhalten, sind aber nicht beschränkt auf:

Erzeugung eines feinen metallischen Rauchs, wobei die Laserstrahlung in diesem metallischen Rauch absorbiert (z. B. „thermal blooming“) oder gestreut (z. B. Mie-Effekt) wird;

Verlagerung des Brennpunkts in Richtung der strahlformenden Optik (thermisch induzierte Brennpunkt-Verschiebung), wobei sich die Leistungsdichte auf der Oberfläche der Laserschutzwand verändert. Diese Effekte können die Laserstärke auf den in der Prüfung benutzten Proben vermindern;

Bildung eines Gleichgewichts (d. h. thermisches Gleichgewicht oder der Ausgleich zwischen einfallender und reflektierender oder zurückgeworfener Strahlung), die zu einer praktisch grenzenlosen SGB oder Schutzdauer in einer Prüfung führen, während eine andere Prüfung unter vermeintlich gleichen Bedingungen zu einer begrenzten SGB oder Schutzdauer führt.

Der geprüfte Bestrahlungsgrenzwert (in $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ für Dauerstrichlaser oder in $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ für Impulslaser) muss durch Prüfungen mit mindestens zehn Proben, durch die Bestrahlung der Oberfläche einer jeden Probe, bestimmt werden. Jede Probe muss von repräsentativer Stärke, Zusammensetzung und Oberflächenbeschaffenheit sein mit einer so vorbehandelten Prüfoberfläche, dass sich die ungünstigste Absorption für die Laserstrahlung ergibt, und sie darf von den Abmessungen her nicht kleiner sein als das Dreifache der Strahlabmessung ($1/e^2$) am Ort der Bestrahlung (womit garantiert wird, dass der Wärmefluss berücksichtigt wird). Konstruktive Verbindungselemente dürfen nur dann in die Prüfungen einbezogen werden, wenn sie notwendig sind, um die Konstruktion und Integrität der Schutzwand sicherzustellen. Im Fall nicht kreisrunder Strahlen muss die bei der Prüfung verwendete Geometrie des Prüfstrahls angegeben werden. Nicht kreisrund sind solche Strahlen, bei denen der Längenunterschied zwischen kleiner und großer Achse größer als 10 % ist. Wo Impuls- und Dauerstrichlaser-Betrieb möglich ist, müssen die Prüfungen im Impuls- und Dauerstrich-Modus ausgeführt werden, da die Impulsstrahlung zu unterschiedlichen Resultaten führen kann.

ANMERKUNG 1 Die Parameter der in den Prüfungen benutzten Impulsstrahlung sollten für die Impulsparameter sämtlicher vorgesehener Anwendungen repräsentativ sein.

ANMERKUNG 2 Es ist erforderlich, die Geometrie des Prüfstrahls anzugeben, weil sie die Wärmeverteilung in der Probe beeinflusst.

ANMERKUNG 3 Bei der Verwendung von Aluminium, Kupfer, Edelstahl und Materialien mit verzinkten Oberflächen sollte die Vorbereitung der Proben beim Prüfen von Laserschutzwänden mit besonderer Sorgfalt erfolgen. Es wurde beobachtet, dass für diese und ähnliche Materialien die SGB und Schutzdauer sehr von der Vorbereitung und dem Versuchsaufbau der Probe abhängig ist, was die Reproduzierbarkeit der SGB und Schutzdauer-Messungen beeinflussen kann.

ANMERKUNG 4 Bei Bewertung der ungünstigsten Absorption sollten das Reflexionsvermögen der Schutzwand und die Änderung der Oberfläche des Abschirmmaterials über die vorhersehbare Lebensdauer der Laserschutzwand berücksichtigt werden. Allerdings sollte die Prüfplatte vorher nicht in irgendeiner Weise behandelt worden sein, die die Aufnahme-kondition künstlich ändern könnte, außer für die beschleunigte natürliche Reflektivitätsänderung des Schutzwandmaterials und die beschleunigten natürlichen Änderungen zur Oberfläche des Laserschutzwandmaterials. Ein Qualifikationstest sollte unter für die Laserabschirmung normalen Einsatzbedingungen stattfinden.

Falls bei den Prüfungen ein Probenhalter erforderlich ist, darf dessen Einspanntiefe nur maximal 3 mm ab Probekante betragen. Der Teil der Haltevorrichtung, der in Kontakt mit der Probe kommt, muss thermisch isolierend (z. B. Keramik usw.) und für den Verwendungszweck sowie die erzeugten Temperaturen geeignet sein.

Die Probe muss senkrecht zum Laserstrahl (oder schräg, aber nicht mehr als $\pm 3^\circ$ zur Vermeidung von Rück-reflexionen) orientiert sein, wobei die Strahlachse auf die Probe im Abstand „F1“, wie in Bild D.1 gezeigt, zentriert ist. Der Abstand F1 hinter dem Brennpunkt darf nicht größer als die dreifache Brennweite (F) der fokussierenden Linse sein. Wenn, für eine bestimmte Anwendung, die Schutzwand in einem Abstand von weniger als der dreifache Brennweite (F) weg vom Brennpunkt aufgestellt werden soll, muss die Mindest-entfernung zwischen dem Brennpunkt und der Schutzwand als Entfernung F1 genommen werden.

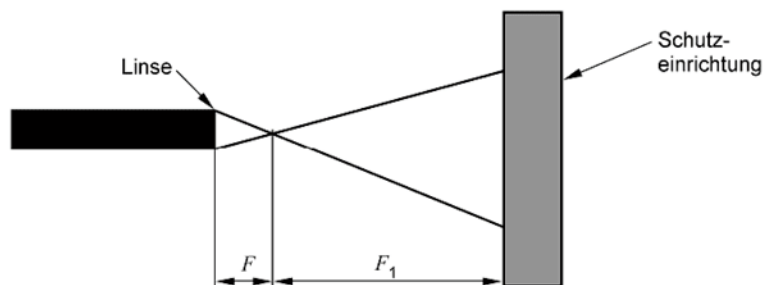


Bild D.1 – Vereinfachte Darstellung der Prüfanordnung

ANMERKUNG 5 Die Prüfung sollte mit einem horizontal gerichteten Strahl, wie in Bild D.1 gezeigt, ausgeführt werden. Wenn andere Strahlenrichtungen benutzt wurden, sollten diese Prüfmaßnahmen hinsichtlich der Strahlenrichtung im Untersuchungsbericht erwähnt werden.

Die Oberfläche der zu prüfenden Probe muss ausreichend (z. B. mit einem „Cross Jet“) belüftet werden, um sicherzustellen, dass die geprüfte Oberfläche und der Raum zwischen der Probe und der strahlformenden Optik während der Prüfung frei von Rauch und Ablagerungen usw. bleibt. Die Belüftung muss dieselbe Auswirkung wie der Luftumlauf in der bestimmungsgemäßen Anwendung haben.

Im Falle mehrschichtiger Schutzwand-Proben müssen zusätzlich alle internen Oberflächen und Zwischen-räume ausreichend belüftet werden (z. B. mit einem „Cross Jet“), um sicherzustellen, dass alle Oberflächen während der Prüfperiode frei von Ablagerungen, Rauch usw. bleiben.

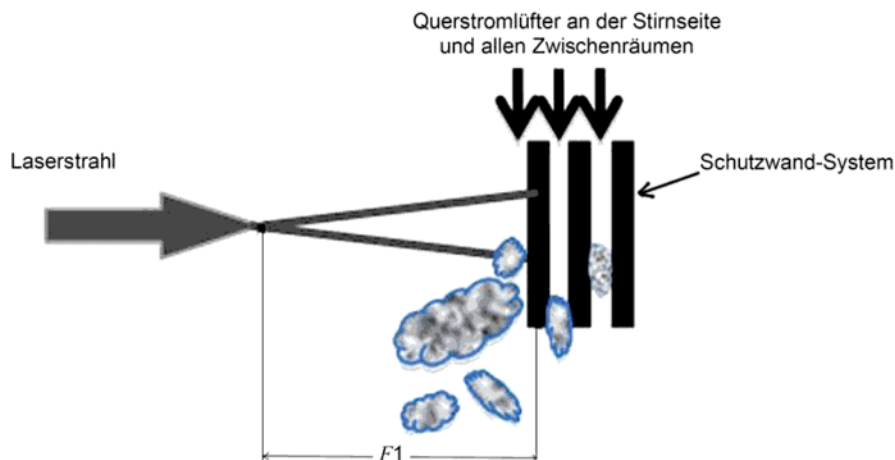


Bild D.2 – Vereinfachte Darstellung der Belüftung für die in der Prüfung befindliche Schutzwand

D.2.2 Prüfbedingungen für Laserschutzwände (passive Schutzwände)

Für passive Schutzwände: Während der Prüfbestrahlung darf die zugängliche Laserstrahlung auf der Probenrückseite den GZS der Klasse 1 nicht übersteigen, wobei die Bestrahlungsdauer von der Bestrahlungszeit abhängt, die vom Hersteller der Schutzwand mit festgelegter Schutzwirkung bestimmt wurde. Die Schutzdauer der Schutzwand muss größer sein als die Wartungsintervalle, wie in Tabelle D.1 definiert, entsprechend der beabsichtigten Verwendung der Schutzwand.

Die Wartungsintervalle von Schutzwänden mit festgelegter Schutzwirkung sollten durch den Hersteller unter Verwendung der Prüfklassen T1, T2 oder T3, wie in Tabelle D.1 definiert, angegeben werden. Diese Wartungsintervalle repräsentieren die Zeitspannen, nach denen die Schutzwand geprüft und als nicht beschädigt oder beeinträchtigt bestätigt wurde. Damit wird sichergestellt, dass die Schutzwand sich in einem Zustand befindet, Laserbestrahlung für ein weiteres Wartungsintervall zu widerstehen.

Tabelle D.1 – Klassifizierung der Laserschutzwände

Prüfklasse	Wartungsintervall (s)	Empfohlene Verwendung der Schutzwand
T1	30 000	Für Benutzung in automatischen Maschinen
T2	100	Für zyklischen Kurzzeitbetrieb und zwischenzeitliche Überprüfung
T3	10	Für kontinuierliche Überwachung durch Beobachtung

D.2.3 Anforderungen für aktive Schutzwände

Nachfolgendes ist für aktive Laserschutzwände erforderlich:

- Wenn die aktive Laserschutzwand Teil des sicherheitsbezogenen Steuersystems einer Maschine ist, muss die zutreffende Norm für sicherheitsbezogene Steuersysteme angewandt werden.
- Die aktive Laserschutzwand muss in Reaktion auf jegliche Laserbestrahlung ihrer Frontseite, die über die spezifizierte Bestrahlung hinausgeht, das Abschaltsignal ausgeben (welches zur automatischen Abschaltung der Laserstrahlung führt). Ein vernünftigerweise vorhersehbarer Fehler im System der aktiven Schutzwand darf nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen. Vernünftigerweise vorhersehbare Fehler in einem bestimmten Schutzwandelement müssen bei oder vor der nächsten Inanspruchnahme der Sicherheitsfunktion festgestellt werden.
- Die zugängliche Laserstrahlung an der Rückseite einer Probe einer passiven Schutzwand, die Bestandteil der aktiven Laserschutzwand ist, darf bei jeglicher Bestrahlung ihrer Frontseite mit Laserstrahlung bis zu und einschließlich der spezifizierten Bestrahlung bei einer größeren Bestrahlungsdauer als der spezifizierten Schutzdauer der aktiven Laserschutzwand (wie in Abschnitt 3.1 definiert) den GZS der Klasse 1 nicht überschreiten.

- d) Werden automatische Funktionalitätskontrollen des aktiven Schutzwandsystems während Zeiten der Laseremission gemacht, die temporär den Betrieb des Laserschutzwandsystems unterbrechen, muss bei der Aufsummierung der benötigten Zeit, diese Kontrollen zu beenden, jegliche Auswirkung sich wiederholender Laserimpulse berücksichtigt werden, diese darf die spezifizierte Schutzdauer der aktiven Laserschutzwand nicht überschreiten oder zu einen Nachlass in der Gesamtleistung der aktiven Laserschutzwand führen.
- e) Der Betrieb der aktiven Schutzwand ist von den Änderungen physikalischer Parameter abhängig, die den Start des Abbruchsignals der aktiven Laserschutzwand hervorrufen. Die aktive Schutzwand muss während Zeiten der möglichen Laserbestrahlung fortlaufend überwacht werden. Zu anderen Zeiten muss die aktive Schutzwand bei Änderung der Parameter (z. B. Rauch, Luftfeuchtigkeit, Erschütterungen oder Schläge, Temperaturänderungen) oder anderen Änderungen in der Umgebung unbeeinflusst bleiben, um zu verhindern, dass die aktive Schutzwand versehentlich ausgeschaltet wird.
- f) Alle Schäden an der aktiven Laserschutzwand müssen während oder vor der nächsten Aktivierung der Schutzfunktion ermittelt werden, und solange die Schäden nicht behoben sind, muss der weitere Betrieb verhindert werden.

D.3 Schutzgrenzbestrahlung (SGB)

Die vom Hersteller festgelegte Schutzgrenzbestrahlung (SGB) (wie in 3.13 definiert) oder Schutzdauer muss durch die Messresultate ermittelt werden. Wird die Schutzdauer aus den Probedaten berechnet, muss der zentrale Grenzwertsatz unter Annahme einer Normalverteilung angewandt werden,.

Einzelne Proben in der Charge, die bei der Prüfung nicht durchbrennen, sind statistisch zu vernachlässigen, sofern nicht die gesamte Charge nicht durchbrennt.

Eine Vertrauensniveau von 99 % ist erforderlich und gesichert durch $\pm 3\sigma$, wobei σ die Standardabweichung der Normalverteilung ist:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Dabei ist $p(x)$ = Eintrittswahrscheinlichkeit von x , x = individueller Wert einer Probe und μ = arithmetischer Mittelwert der Proben.

Wenn der arithmetische Mittelwert der Proben minus 3σ eine negative Zahl ist, muss der Wert auf Null geändert werden.

ANMERKUNG 1 Bei diesen Prüfungen, insbesondere bei Materialien mit reflektierenden Oberflächen und/oder einem niedrigen Schmelzpunkt (z. B. Aluminium) können die nichtlinearen Wirkungen zu einem negativen Wert für 3σ führen. Die nichtlinearen Wirkungen können außerdem fälschlicherweise zur Angabe eines geringeren Abstands zwischen dem Brennpunkt und der Probenoberfläche führen, hauptsächlich aufgrund der reflektierenden (oder spiegelnden) Eigenschaften des Probenmaterials.

Die notierte SGB muss gleich $0,7 \times$ dem getesteten Bestrahlungsgrenzwert sein.

Die Schutzdauer muss gleich $0,7 \times (\mu - 3\sigma)$ sein.

ANMERKUNG 2 Der Faktor 0,7 in der Gleichung für SGB und Schutzdauer wurde als zusätzlicher Sicherheitsfaktor eingeführt.

ANMERKUNG 3 Die Proben werden nach dem Zufallsprinzip aus einer Grundgesamtheit ausgewählt

D.4 Vom Hersteller bereitzustellende Informationen

Zusammen mit dem Datensatz der Messprobe muss der Hersteller zumindest die nachfolgenden Informationen bereitstellen:

- a) Name und Adresse des Institutes, welches die Prüfungen durchgeführt hat;
- b) die Nummer dieser Norm;
- c) das verwendete Material der Proben mit entweder seinen Kenndaten oder mit Angabe der international anerkannten Norm, nach der es hergestellt wurde. Angaben über Wärmebehandlung, Kalthärtung, Oberflächenbearbeitung oder über andere Prozesse, die auf die Probe angewandt wurden, müssen in der Spezifikation enthalten sein;
- d) die Anzahl der bei den Prüfungen verwendeten Proben;
- e) Angaben über die angewandten Laserparameter, inklusive zumindest:
 - 1) der Wellenlänge des Lasers;
 - 2) der Leistung oder Energie, mit der die Prüfungen ausgeführt wurden (Höchstbelastung oder Mittelwert detaillieren);
 - 3) der Impulsdauer und Wiederholfrequenz (bei Prüfungen mit Impulslasern);
 - 4) des Strahldurchmessers ($1/e^2$) bei Eintritt in die Fokussierlinse;
 - 5) des Strahlparameter-Produkts (mm mrad);
 - 6) der Querschnittsform des Strahls am Brennpunkt;
 - 7) einer Messung der Bestrahlung oder der Bestrahlungsstärke auf der Prüfoberfläche;
- f) die Brennweite der bei den Prüfungen verwendeten Fokussierlinse;
- g) die Entfernung F1;
- h) die für die Laserschutzwand anwendbaren Wartungsintervalle;
- i) die sich daraus ergebende SGB und/oder Schutzdauer zusammen mit allen erstellten Berechnungen und statistischen Analysen.

Anhang E (informativ)

Richtlinien für die Anordnung und Installation von Laserschutzanlagen

E.1 Übersicht

Dieser informative Anhang behandelt die Anordnung und Installation von Schutzeinrichtungen zum Schutz von Personen vor Gefahren des Laserstrahls in der Umgebung des Bearbeitungsbereiches von Laser-Materialbearbeitungsmaschinen. Die Richtlinien sind zur Anwendung durch Hersteller und/oder Benutzer vorgesehen. Der Gegenstand dieses Anhangs umfasst Schutzabschirmungen für eine allein stehende Laserbearbeitungsmaschine (siehe ISO 11553-1) sowie weitere Abschirmungen (oft durch den Benutzer installierte), die benötigt werden, um eine Laserbearbeitungsmaschine in den Fertigungsprozess zu integrieren. Fragen des Schutzes vor anderen Gefahren der Laserstrahlbearbeitung (wie mechanische, elektrische, Dämpfe oder Sekundärstrahlung) werden in diesem Anhang nicht im Detail behandelt.

E.2 Allgemeines

E.2.1 Einführung

Laserschutz ist erforderlich, um die vom Laser ausgehende Gefahr – zusätzlich zu den Gefahren der Laserbearbeitung – abzuschirmen. Einige der Schutzwände sind Bestandteil der Laserbearbeitungsmaschine, zusätzliche Abschirmungen dürfen zur Erleichterung der sicheren Be- und Entladung von Werkstücken und für den Wartungsbetrieb vorhanden sein.

E.2.2 Anordnung von Schutzeinrichtungen

Wesentliche Elemente bei der Einschätzung der Anordnung und Installation von Schutzeinrichtungen in der Umgebung der Bearbeitungszone sind:

- a) das Maß der Zugänglichkeit, das für die Handhabung der Werkstücke notwendig ist (insbesondere das Ausmaß der manuellen Handhabung);
- b) die Methode zur Werkstückbefestigung (z. B. Halterungen und Klemmung);
- c) die Art der Entfernung von Werkstücken und dazugehöriger Teile (z. B. Abfall) nach der Bearbeitung.

E.2.3 Platzierung der Schutzeinrichtungen

Gute Praxis zur Bestimmung der Anordnung von Schutzeinrichtungen ist:

- a) Wenn möglich, sollte die Schutzeinrichtung mindestens um die dreifache Fokusslänge von dem Fokuspunkt einer fokussierenden Linse entfernt sein;
- b) Schutzeinrichtungen mit niedrigerer Schutzgrenzbestrahlung (SGB), z. B. Fenster, sollten nicht an Stellen angeordnet werden, die in direkter Strahlrichtung liegen oder an denen spiegelnde Reflexionen zu erwarten sind.

E.2.4 Vollständige Einhausung

Eine vollständige Einhausung ist eine, die alle Erfordernisse nach IEC 60825-1, 6.2.1, erfüllt und den eingeschlossenen Laser mit der Materialbearbeitungszone umschließt, so dass kein menschlicher Zugang zu gefährlicher Strahlung möglich ist.

E.2.5 Unvollständige Einhausung

Eine unvollständige Einhausung liegt vor, wenn die Schutzwand den Laser mit der ganzen Bearbeitungszone nicht vollständig umschließt, so dass menschlicher Zugang zu gefährlicher Laserstrahlung möglich ist.

Wenn die Gefahr besteht, dass Personen gefährlicher Laserstrahlung ausgesetzt sein könnten (z. B. Personen, die in größerer Höhe arbeiten, im Fall einer Maschine ohne obere Abdeckung), und wenn das Risiko als intolerabel betrachtet wird, werden zusätzliche Schutzeinrichtungen notwendig.

E.2.6 Hierarchie der Überwachung von durch Laserstrahlung gefährdeten Bereichen

Die folgende Hierarchie von Maßnahmen wird empfohlen, um Personen aus dem Bereich der intolerablen Gefährdung auszuschließen:

- a) Anbringen einer feststehenden Schutzwand;
- b) Anbringen einer entfernbarer Schutzwand;
- c) Anbringen einer elektronischen Schutzwand – eingeschleift in den Sicherheitskreis der Maschine – um den Umkreis der Maschine (z. B. Lichtstrahlsensor) oder über die Fläche (z. B. Trittmatten);
- d) Anbringen einer physikalischen Absperrung mit zusätzlicher Information, Instruktion, Unterweisung, Aufsicht;
- e) Anbringen von Einrichtungen, die die Benutzung durch einen in einiger Entfernung von der Prozesszone befindlichen Bediener erlauben, der persönliche Schutzausrüstung trägt.

ANMERKUNG Die Maßnahmen c) und d) bieten keinen Schutz gegen Laserstrahlung, die von der Lasermaschine ausgeht, und sollten nur in Betracht gezogen werden, falls der Abstand der überwachten Grenze von den Öffnungen der Maschine den Sicherheitsabstand (NOHD) überschreitet.

E.2.7 Persönliche Schutzausrüstungen

Persönliche Schutzausrüstungen sollten nur als letzte Möglichkeit in Betracht gezogen werden, wenn die Kombination von technischen Schutzeinrichtungen und administrativen Schutzanordnungen keinen ausreichenden Schutz herstellt. Wo persönliche Schutzeinrichtungen benutzt werden, sollten diese durch adäquate administrative Anordnungen unterstützt und kontrolliert werden. Sie sollten nur benutzt werden, wenn die Risikobeurteilung zeigt, dass andere Möglichkeiten der Gefahrenreduzierung nicht die erforderliche Sicherheit herstellen, und wenn es nicht möglich ist, den adäquaten Schutz durch andere Maßnahmen und Möglichkeiten angemessen sicherzustellen. Bei Arbeiten mit UVB und UVC kann Schutzkleidung erforderlich sein.

E.2.8 Menschliche Eingriffe

Wo der Betrieb von Maschinen menschlichen Zutritt erfordert, können Eingriffe durch Personen in die Risikobeurteilung einbezogen werden und auch die Betrachtung von Folgen der Dauer der Störung. Unter diesen Bedingungen sollte der Zutritt überwacht und nur autorisierten Personen gestattet werden, die ein adäquates Schulungsprogramm in Lasersicherheit und in dem für die Laseranlage notwendigen Service haben. Der Bereich sollte zutrittsbeschränkt und für die Allgemeinheit nicht zugänglich sein, wobei Beobachter oder andere nicht unterwiesene Personen durch Schutzwände oder administrative Anordnungen von den Gefährdungen ferngehalten werden.

E.3 Risikobeurteilung

E.3.1 Einführung

Wenn Menschen einer Laserstrahlung ausgesetzt werden, wie sie typischerweise in der Lasermaterialbearbeitung eingesetzt wird, können dadurch leichte bis schwere Verletzungen entstehen, abhängig von der Wellenlänge, dem betroffenen Gewebe und der Reaktion des Betroffenen. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines solchen Ereignisses wird das Schlüsselement in der Risikobeurteilung der Gefährdung. Die Verringerung des Risikos auf tolerable Werte ist ein iterativer Vorgang. Es gibt kein Standardverfahren für

das Vorgehen und die Dokumentation dieses Prozesses. Trotzdem sind die Schritte dazu universal gültig und in ISO 12100 beschrieben.

E.3.2 Allgemeine Betrachtungen

Die Risikobeurteilung wird durchgeführt, um die gefährlichen Situationen zu identifizieren und um die vorhersehbare Belastung an bestimmten Positionen der Laserschutzwand einzuschätzen. Die Untersuchung sollte eine Reihe von Faktoren berücksichtigen, einschließlich der folgenden.

E.3.2.1 Eigenschaften der Laserbearbeitungszone

Relevante Eigenschaften sind die Laserleistung und die Wellenlänge, die Fokuslänge der Optiken und die Bewegungsfreiheitsgrade der Strahlführung (z. B. die Anzahl der bewegten Achsen).

E.3.2.2 Bearbeitungsprozess

Die Natur des Bearbeitungsverfahrens, wie Schneiden, Schweißen, Bohren, Markieren. Die Maschine kann auch zu mehr als einem Verfahren geeignet sein.

ANMERKUNG Die reflektierte Laserleistung unterscheidet sich beträchtlich bei den einzelnen Verfahren und je nach verwendetem Werkstückmaterial.

E.3.2.3 Prozesssteuerung

Dies bezieht sich insbesondere auf die Dauer, während der die Laserschutzwand in einem Störfall der Laserstrahlung ausgesetzt sein darf, auch darauf, wofür die vorhersehbare Maximalbestrahlung (VMB) bestimmt wurde (z. B. die Prozesszykluszeit), auf die Prozesskontrolle (z. B. je Teil oder je Zeitintervall/je Anzahl von Teilen) und auf die Mittel und die Wirksamkeit eines automatischen Prozesseingriffs, der im Falle eines Störfalls eintritt.

E.3.2.4 Handbetrieb

Die Betrachtung der Eingriffe des Bedienpersonals beinhaltet die Erfordernisse und Vorkehrungen für manuelle Bedienung, die Mittel und die Wirksamkeit der Prozessbeobachtung (inklusive angebrachter Fenster zur Beobachtung oder (Video-)Kameras) und die Erreichbarkeit und Wirksamkeit der Eingriffsmöglichkeiten beim Auftreten einer Fehlerbedingung.

E.3.2.5 Automatischer Betrieb

Alle möglichen Bewegungen des Roboters, Kollisionsschutz des Bearbeitungskopfes und allgemeiner Schutz der Zuführungen und des Strahlengangs zur Maschine und Vorkehrungen zur Beschränkung der Bewegung und Richtung des Bearbeitungskopfes (Beschränkung durch die Software, durch Hardware und physikalische Schranken), insbesondere der kleinste Abstand des austretenden Laserstrahles zur Laserschutzwand.

E.3.2.6 Werkstück

Die Geometrie, Zusammensetzung und Oberflächenbeschaffenheit des Werkstückes und wie es die Richtung und die Stärke von Reflexionen während der Laserbearbeitung beeinflussen kann.

E.3.2.7 Klemmen und Befestigen

Die Halterung und Positionierung des Werkstückes sowie sich darauf beziehende Fragen von Reflexionen an Oberflächen und das Anstoßen des Fokussierkopfes.

E.3.2.8 Be- und Entladen

Die Art und Weise, wie das Werkstück be- und entladen wird, insbesondere, ob dies manuell oder automatisch erfolgt, es sich um einzelne Teile handelt oder auf kontinuierliche Art erfolgt, und die Methode (z. B. schiebendes, rollendes, hebendes Tor) und die Überwachung des Zugangs zur Bearbeitungszone.

E.3.2.9 Strahlführung

Betrachtungen der Strahlführung beinhalten die optische Methode (Spiegel oder Lichtleiter) und die Mittel zur Inspektion, Positionierung und Bewegung der optischen Komponenten. Die Betrachtungen beinhalten die strukturelle Integrität der Montage von strahlformenden Komponenten, Mittel zur Erhaltung des Zustandes der optischen Komponenten (z. B. sauberes trockenes Spülgas und die Kühlungseinrichtungen), Mittel zur Aufrechterhaltung der Strahlengangjustage, Vorrichtungen zur ständigen Strahlüberwachung von fehlerhaften und nicht fehlerhaften Zuständen und die Mittel der Strahlengangeinhausung.

ANMERKUNG Besonders beachtet werden sollten die Benutzung von neuen (ungeprüften) Konstruktionen von Strahlführungen, Beeinflussung von Strahlführungen durch externe mechanische Kräfte (Vibrationen), die eine optische Dejustage hervorrufen können, mögliche Eingriffe in die Optik oder ungewöhnliche Lasereigenschaften, besonders bei der Strahlrichtung, und Situationen, in denen die Laserleistung so hoch ist, dass die Leistungsfähigkeit der Strahlführung unsicher ist.

E.3.2.10 Aufenthaltsort des Bedienpersonals

Der definierte Arbeitsbereich, insbesondere der minimale Abstand der erlaubten Annäherung an die Maschine. Diese Überlegungen schließen Über-Kopf-Bereiche (Kranführer, Büromitarbeiter, höher liegende Gänge), Treppen und Leitern in der Nähe ein.

E.3.2.11 Vorkehrungen für die Wartung

Die Betrachtung beinhaltet Mittel und Überwachung des Zugangs zu Wartungsorten (entfernbar Verkleidungen, Schlüssel) und Vorkehrungen für das Deaktivieren von Sicherheitsschaltkreisen und Not-Aus-Schalter.

E.3.2.12 Eigenschaften der Schutzwand

Die Ermittlung der VMB und SGB unter normalen Betriebsbedingungen und voraussehbaren Störbedingungen sollte für jedes Element der Schutzwand durchgeführt werden, einschließlich fester und beweglicher Wände und Fenster.

E.3.2.13 Umgebung der Schutzwand

Umgebungsbedingungen, welche die Wirksamkeit der Schutzwand beeinflussen, einschließlich der Zufahrt für Gabelstapler und andere sich bewegende Objekte, die wesentliche mechanische Beschädigungen bewirken können, und staubige Umgebungen, welche die Eigenschaften von optischen Komponenten und/oder der Schutzeinrichtungen beeinträchtigen könnten.

E.4 Beispiele einer Risikobeurteilung

E.4.1 Kontinuierliche Zuführung von Werkstücken

a) Beispiel

Laserbearbeitungseinheit, montiert über einem Transportband.

b) Ort

Während normaler Produktion oder Wartung ist der Zutritt überwacht und nur autorisierten Personen gestattet, aber der Bereich darf offen und Beobachtern und nicht eingewiesenen Personen zugänglich sein.

Während der Servicezeiten kann der Bereich zutrittsbeschränkt sein und nicht zugänglich für andere, nicht eingewiesene Personen.

c) Wesentliche Überlegung

Die Anordnung der Laserschutzwand sollte die Luken zur Be- und Entstückung einschließen, um den kontinuierlichen Fluss der Werkstücke zur und von der Bearbeitungsstelle zu ermöglichen.

d) Mögliche Lösungen

1) Wo das Risiko von übermäßiger Laserstrahlung hoch ist:

- eine verschiebbare Abschirmung vorsehen (in den Sicherheitskreis integriert), die öffnet, um den Eintritt eines Werkstückes zu ermöglichen und vor dem Beginn der Bearbeitung schließt.

2) Wo das Risiko von übermäßiger Laserstrahlung mittel oder klein ist (mögliche Lösungen nach Risikobeurteilung):

- lokalen Schutz durch eine bürstenartige Dichtung vorsehen, um die Einhausung während der Passage des Werkstückes aufrechtzuhalten, oder
- einen offenen Tunnel um die Öffnungen vorsehen, um die Blickrichtung auf die Bearbeitungsstelle einzuschränken. Dies darf erreicht werden durch:
 - einen labyrinthischen Weg für den Ein- und Austritt des Werkstückes, um die direkte Sicht zu verhindern, oder
 - Verwendung von (in den Sicherheitskreis integrierten) Barrieren (Lichtvorhängen oder Zäunen) oder einer Trittmatte, die für Sicherheitsanwendungen zugelassen ist, um die möglichen Betrachtungspositionen zu beschränken und geradlinige Sicht zu verhindern.

E.4.2 Schneiden und Markieren mit Flachbettanlagen

a) Beispiel

Flachbettschneidemaschine in einem Umfeld für Einzelaufträge.

b) Ort

Während der normalen Bearbeitung oder der Wartung ist der Zutritt kontrolliert und nur autorisierten Personen ermöglicht und beschränkt auf geschulte Personen.

c) Wesentliche Überlegungen

Für die Be- und Entladung von Blechen ist der Zutritt zum Schneidtisch erforderlich.

d) Mögliche Lösungen

1) Wo ein hohes Risiko von überhöhter Laserstrahlung besteht (z. B. wenn gefährliche Laserstrahlung durch Reflexionen während der gewöhnlichen Produktion erzeugt wird):

- um das Bedienpersonal sowie andere Personen zu schützen, eine Schutzvorrichtung um den kompletten Arbeitsbereich vorsehen. In den Sicherheitskreis sind schiebende/gleitende Schutzvorrichtungen zu integrieren, welche die Werkstückbewegungen ermöglichen, und vor der Laserbearbeitung zu schließen.

2) Wo ein mittleres oder kleines Risiko von überhöhter Laserstrahlung besteht (beispielsweise wenn der Strahl senkrecht auf das flache Werkstück trifft und in einem kleinen Abstand eingehaust ist):

- eine freistehende Schutzvorrichtung zum Schutz der Bedierson vorsehen;
- für alle Personen innerhalb des zutrittsbeschränkten Bereiches PSA vorsehen.

In allen Fällen sind angemessene Zutrittsbeschränkungen vorzusehen, um sicherzustellen, dass unautorisierte und nicht geschulte Personen vor gefährlicher Strahlung, die Schäden verursachen könnte, geschützt sind.

E.4.3 Materialbearbeitungsmaschine mit mehreren Achsen

a) Beispiel

Laserstrahlschweißen mit einem (Knickarm-)Roboter in einer Fertigungslinie im Automobilbau.

b) Ort

Während der normalen Produktion oder Wartung ist der Zugang unbeschränkt, der Bereich ist nicht eingeschränkt und offen für Beobachter oder andere nicht geschulte Personen.

Während der Servicezeit haben nur autorisierte Personen Zugang, und der Bereich ist nicht zugänglich für andere, nicht geschulte Personen.

c) Wesentliche Überlegung

Bei einer Störung der Maschinensteuerung (CNC) kann der Laserstrahl auf die Laserschutzwand gelenkt werden.

d) Mögliche Lösungen

1) Wo das Risiko von übermäßiger Laserstrahlung hoch ist:

- verstärkten Schutz an den Teilen der Einhausung der Prozesszone vorsehen, die bei der Risikobeurteilung als gefährdete Zonen identifiziert wurden. Diese Verstärkung kann einen Aktivschutz beinhalten.

2) Wo ein mittleres oder kleines Risiko für überhöhte Laserstrahlung vorliegt:

- Lösungselemente können beinhalten:

- einen Schutz vorsehen, der eine bekannte (verifizierte) Ausführung hat, getestet, wie in IEC 60825-4 beschrieben, für die direkte Bestrahlung durch einen repräsentativen Laserstrahl;
- durch Software und Hardware die rotierende Bewegung der Strahlführung begrenzen;
- einen Kollisionsschutz des Kopfes der Strahlführung vorsehen;
- zusätzliche Sensoren vorsehen, um Laseremission außerhalb des Werkstückbearbeitungsbereiches zu verhindern;
- Überwachung der Laseremission bei stillstehendem Fokussierkopf.

E.4.4 Laserschutzwände für beaufsichtigte Bereiche

a) Beispiel

Zeitweilig während des Service aufgestellte Laserschutzwände, um Personen fernzuhalten, die nicht mit den Wartungsarbeiten befasst sind.

b) Ort

Während der normalen Produktion oder der Wartung werden diese Laserschutzwände nicht als Schutzwand benutzt.

Während der Servicedauer ist der Zugang überwacht. Es haben nur bevollmächtigte Personen mit Ausbildung in der Lasersicherheit Zugang. Der Bereich wird für ungeschulte Personen als nicht zugänglich gekennzeichnet (z. B. durch Warnzeichen).

c) Wesentliche Überlegung

Die Richtung des Laserstrahles ist unter administrativer Kontrolle.

d) Mögliche Lösungen

1) Wo ein hohes Risiko von überhöhter Laserstrahlung besteht, beinhalten die Elemente der Lösung:

- Sicherstellen, dass die Stellwände undurchdringlich sind und mindestens 100 s Schutz vor dem Laserstrahl bieten;
- Der durch Stellwände geschützte Bereich kann nicht betreten werden, ohne den Sicherheitskreis aufzutrennen, oder der Bereich ist unter direkter administrativer Kontrolle;
- Nur geschultes Personal darf die Wartung ausführen;
- Innerhalb des überwachten Bereiches müssen Laserschutzbrillen (und möglicherweise Hautschutz) benutzt werden.

2) Wo das Risiko von überhöhter Laserstrahlung mittel oder klein ist (z. B. im Bereich außerhalb der Laserschutzwände befinden sich keine Personen):

- Wie oben, aber die Schutzdauer der Abschirmung darf geringer als 100 s sein, vorausgesetzt, die Serviceperson hat ungehinderten Zugriff auf die Laserabschaltung und die Bestrahlung der Abschirmung ist mit einem deutlich sichtbaren Effekt verbunden (Rauch oder starke Verfärbung).

E.5 Hilfe bei der Risikobeurteilung

Dieser Abschnitt gibt eine Liste von Punkten, die bei der Auslegung von Laserschutzwänden in der Risikobeurteilung einer Laserbearbeitungsmaschine berücksichtigt werden müssen. Diese Details sollten Teil eines dokumentierten Berichtes über die Bewertung sein.

Es ist zu beachten, dass diese Liste möglicherweise NICHT alle zu betrachtenden Aspekte einschließt.

E.5.1 Geräte

- a) Laser:
 - 1) Typ;
 - 2) Wellenlänge;
 - 3) Dauerstrich/gepulst ;
 - 4) Impulsdauer;
 - 5) Leistung (oder Energie);
 - 6) Fokusslänge der Linse am Ende des Strahlenganges;
- b) Typ der Bearbeitungsmaschine:
 - 1) 2 bewegte Achsen;
 - 2) 3 bewegte Achsen;
 - 3) mehr als 3 bewegte Achsen;
 - 4) (Knickarm-)Roboter;
 - 5) Absaugung angeschlossen;
 - 6) Bearbeitungsbereich eingehaust:
 - Klasse 1 GZS;
 - andere.

E.5.2 Strahlführung der Bearbeitungsmaschine

- a) Strahlführungssystem überwacht:
 - 1) durch Hardware;
 - 2) durch Software;
- b) Überwachung der drehenden Spiegel im Strahlführungssystem:
 - 1) durch Hardware;
 - 2) durch Software;
- c) Mechanische Montage des Strahlführungssystems:
 - 1) es werden Werkzeuge benötigt;
 - 2) Überwachung:
 - durch Hardware;
 - durch Software;
 - 3) Anordnung der Fokussierlinse;
- d) Strahlführung durch die Luft;
- e) Strahlführung durch Lichtwellenleiter.

E.5.3 Beschreibung des Prozesses

- a) Löten/Hartlöten;
- b) Wärmebehandlung;
- c) Markieren;
- d) Schweißen;
- e) Bohren/Schneiden;
- f) Reinigen;
- g) Formen;
- h) schnelle Prototypbearbeitung.

E.5.4 Steuerung der Bearbeitungsmaschine

- a) Automatische Funktion (kein Bedienereingriff):
 - 1) voll geschützter Betrieb;
- b) Mit manuellem Eingriff (während eines Bearbeitungszyklus ist manuelles Eingreifen vorgesehen):
 - 1) voll geschützter Betrieb;
- c) Prozessbeobachtung:
 - 1) Fenster in der Einhausung des Prozessbereiches;
 - 2) Videobeobachtung;
 - 3) anderes;
- d) Methode, um während eines Bearbeitungszyklus im Falle eines Fehlers den Zyklus zu unterbrechen:
 - 1) Not-Aus;
 - 2) normaler Halt.

E.5.5 Beschreibung eines Roboters (siehe ISO 10218-1)

- a) Bewegungsbereich:
 - 1) beschränkter Raum;
 - 2) maximaler Raum;
 - 3) geschützter Raum;
- b) Art der Bewegungsbeschränkung:
 - 1) Hardware;
 - 2) Software;
- c) Art der Sicherheitsverriegelung des geschützten Bereiches:
 - 1) Hardware;
 - 2) Software;
- d) Erkennen eines Anstoßens:
 - 1) Hardware;
 - 2) Software;
- e) Endpositionserkennung:
 - 1) Hardware;
 - 2) Software.

E.5.6 Werkstückstypen

- a) Geometrie:

- 1) plattenförmig;
- 2) anderes;
- b) Typ des Materials.

E.5.7 Werkstückhalterung

- a) Automatische Positionierung und Spannung:
 - 1) durch Hardware;
 - 2) durch Software;
- b) Manuelle Positionierung und Spannung;
- c) Möglichkeiten der Schadenerzeugung durch den Laserstrahl:
 - 1) wegen reflektierender Flächen auf den Werkzeugen;
 - 2) wegen der Oberflächenbeschaffenheit.

E.5.8 Materialfluss zum Bearbeitungsbereich

- a) Automatische kontinuierliche Beschickung;
- b) Manuelle Einzelteilbeschickung;
- c) Zuführung der Werkstücke zur Prozesszone:
 - 1) Schiebetür;
 - 2) Hubtor;
 - 3) Rolltor;
 - 4) Tunnel;
 - 5) anderes;
- d) Kontrolle der Werkstückzufuhr:
 - 1) durch Hardware;
 - 2) durch Software;
 - 3) Schutz der Prozesszone, entworfen nach den Anforderungen von IEC 60825-4;
 - 4) die Einhausung der Prozesszone, geprüft nach den Anforderungen von IEC 60825-4.

E.5.9 Bediener der Bearbeitungsmaschine

- a) Bearbeitungsbereich;
- b) Innenbereich der Maschine;
- c) Außenbereich der Maschine.

E.5.10 Wartung

- a) Ort der Wartungszugangstüren;
- b) Art der Berechtigung (Schlüssel);
- c) Maschinen-Start-Kontrolle.

Anhang F (informativ)

Richtlinie zur Eignungsbeurteilung von Laserabschirmungen

F.1 Identifizierung der Gefährdungen

F.1.1 Auswahl der Schutzmaßnahmen

Wenn die Strategie für die Auswahl angewendet wird, darf es nicht möglich sein, dass effektivere Arten von Schutzmaßnahmen eingesetzt werden können, weil sie entweder technisch nicht ausführbar oder weil sie nicht geeignet anwendbar sind.

Unter Berücksichtigung von Maßnahmen für alle Gefährdungen während jeder relevanten Phase der Maschinen-Lebensdauer können Techniken der Risikobeurteilung die Auswahl der besten möglichen Kombination von Schutzmaßnahmen unterstützen.

Die zu berücksichtigenden Phasen der Maschinen-Lebensdauer sind:

- a) Montage;
- b) Inbetriebnahme;
- c) Betrieb;
- d) Einrichtung oder Prozesswechsel;
- e) Reinigung;
- f) Justierung;
- g) Wartung;
- h) Service.

Bei widersprüchlichen Anforderungen müssen diejenigen Phasen Priorität erhalten, die das größte Risiko zur Folge haben. Die Phasen der Wartung, Einrichtung oder Justage können z. B. eine höhere Gewichtung erfordern. Das Ziel ist es, das Gesamtrisiko zu minimieren.

F.2 Risikobeurteilung und Integrität

F.2.1 Allgemeines

Wie bei anderen Maschinen müssen alle mechanischen Gefährdungen identifiziert werden.

Diese Gefährdungen umfassen:

- a) Erfassen/Aufwickeln;
- b) Reibung und Abrieb;
- c) Schneiden;
- d) Scherung;
- e) Stich und Durchschlag;
- f) Stoß;
- g) Quetschen;
- h) Einziehen;
- i) Verletzung durch komprimiertes Gas oder ein System mit Hochdruckflüssigkeit.

Nicht mechanische Gefährdungen können ebenfalls vorliegen.

Diese Gefährdungen umfassen:

- a) Zutritt:
 - 1) Ausrutschen, Stolpern und Stürzen;
 - 2) fallende Objekte und Vorsprünge;
 - 3) Hindernisse und Vorsprünge;
- b) Handhabung und Heben;
- c) Elektrizität (inklusive statischer Elektrizität):
 - 1) Stromschlag;
 - 2) Brände;
- d) Chemikalien mit folgenden Eigenschaften:
 - 1) giftig;
 - 2) reizerzeugend;
 - 3) entflammbar;
 - 4) korrosiv;
 - 5) explosiv;
- e) Feuer und Explosion;
- f) Lärm und Vibration;
- g) Druck und Vakuum;
- h) Temperaturen (hoch und niedrig);
- i) Inhalation von Dampf, Rauch und Staub;
- j) Erstickung;
- k) ionisierende und nicht ionisierende Strahlung;
- l) biologische Gefahren, z. B. viral oder bakteriell.

Viele der Schutzmaßnahmen, die angewendet werden, um das Personal vor Schaden vor nicht mechanischen Gefährdungen zu bewahren, müssen in Verbindung mit den Schutzmaßnahmen gegen mechanische Gefährdungen bewertet werden, um das Niveau des Gesamtrisikos zu minimieren.

F.2.2 Zuverlässigkeit der Abschirmungen

Je größer eine Gefahr ist, desto größer ist die Notwendigkeit, davor zu schützen. Die Zuverlässigkeit einer Schutzmaßnahme sollte mit der Wahrscheinlichkeit oder der Schwere einer Verletzung durch einen Ausfall dieser Maßnahme ansteigen. Dies gilt allgemein für Sicherheitsvorkehrungen und Bedienelemente, für Verriegelungen und das Abschirmmaterial.

Die Identifizierung der verschiedenen Gefährdungen sollte von einem sorgfältigen Studium der möglichen Fehler oder Kombinationen von Fehlern gefolgt werden, die dazu führen könnten, dass aus diesen Gefährdungen Verletzungen entstehen. In jedem System, wo ein Fehler die Sicherheit nachteilig beeinflussen kann, sollte jede Komponente des Systems der Reihe nach geprüft werden. Die Wahrscheinlichkeiten der Fehler und ihre Auswirkung auf das System als Ganzes sollten in Betracht gezogen werden. Eine formale Analyse-methode wie die Ausfallart-, Auswirkungs- und Risikoanalyse (en: Failure modes, effects and criticality analysis, FMECA) sollte angewendet werden, wenn höhere Risiken einbezogen sind. Es ist ebenfalls nötig, die Zuverlässigkeit der Betriebsabläufe zu beachten, wenn die Sicherheit davon abhängig ist. Dieses sollte beides, versehentliche und absichtliche Fehler, beinhalten.

Abschirmungen sollten ihre Sicherheitsfunktion bei minimaler Ausfallzeit und geringster Produktivitätseinbuße leisten. Es sollte berücksichtigt werden, dass Produktionsdruck oder gut gemeinter Eifer dazu führen kann, dass Schutzmaßnahmen außer Kraft gesetzt werden. Konstrukteure sollten die Schutzsysteme so auslegen

und konstruieren, dass eine Umgehung oder Außer-Kraftsetzung, ob gewollt oder zufällig, so schwierig ist, wie es vernünftigerweise möglich ist.

Dieser Anhang zieht nur diejenigen Eigenschaften von Abschirmungen in Betracht, die sich direkt auf den Schutz vor übermäßiger Exposition durch Laserstrahlung beziehen.

Eine Anzahl besonderer Gefährdungen sollte beachtet werden, die im Zusammenhang stehen mit:

- a) der Bauart des Geräts;
- b) der Wellenlänge der Laserstrahlung;
- c) der Anzahl von Bewegungsachsen des Geräts;
- d) der Komplexität des Strahlweges.

F.2.3 Praktische Methoden der Risikobeurteilung

F.2.3.1 Verallgemeinerte Methoden der Risikobeurteilung

Diese Methoden werden im [Anhang E](#) umrissen.

F.2.3.2 Risikobeurteilung nach ISO 13849-1

ISO 13849-1 befasst sich mit denjenigen Teilen von Anlagen-Steuersystemen, denen Sicherheitsfunktionen zugeordnet sind. Diese Teile können aus Hard- oder Software bestehen, und sie bilden die Sicherheitsfunktionen des Steuerungssystems. Sie können separate oder integrale Bestandteile des Steuerungssystems sein. Das Leistungsmerkmal eines sicherheitsrelevanten Teils eines Steuerungssystems ist in dieser Norm in Bezug auf das Auftreten von Fehlfunktionen in fünf Kategorien eingeteilt (B, 1, 2, 3, 4), welche als Richtwerte benutzt werden sollten.

Die nach den Definitionen in ISO 13849-1 gewählte Kategorie beruht auf dem Maschinentyp und dem Ausmaß, mit dem Mittel der Steuerung für Schutzmaßnahmen eingesetzt werden.

Bei der Auswahl einer Kategorie und bei der Auslegung eines sicherheitstechnischen Bauteils eines Steuerungssystems muss der Konstrukteur zumindest die folgenden Informationen über das sicherheitstechnische Bauteil angeben:

- a) die gewählte(n) Kategorie(n);
- b) die Funktionskenndaten;
- c) die genaue Funktion, die die sicherheitstechnische Steuerung bei den Schutzmaßnahmen der Maschinenanlage spielt;
- d) die genauen Schwellenwerte der sicherheitstechnischen Steuerung;
- e) die berücksichtigten sicherheitsrelevanten Fehlerfälle;
- f) diejenigen sicherheitsrelevanten Fehlerfälle, die im Fehlerausschlussverfahren nicht berücksichtigt wurden, sowie die Maßnahmen, die ergriffen wurden, um diese Ausschließung zu begründen;
- g) die für die Zuverlässigkeit relevanten Parameter, wie z. B. die Umweltbedingungen;
- h) die benutzte(n) Technologie(n).

Die Benutzung von Kategorien als Richtwerte und die Erklärung der Grundprinzipien, denen bei der Konstruktion gefolgt wurde, haben den Grund, bei der Nutzung der Norm Flexibilität zu erlauben. Die Norm bietet eine klare Grundlage, mit der die Konstruktion und die Ausführung von jeder Anwendung eines sicherheitstechnischen Bauteils des Steuerungssystems (und der Anlage) bewertet werden kann.

Der Hauptteil dieser Norm beschreibt den Prozess für die Auswahl und die Auslegung der Sicherheitsmaßnahmen zusammen mit den Merkmalen der Sicherheitsfunktionen und der Fehlerbetrachtung.

Insbesondere [Anhang B](#) von ISO 1384-1 ist mit seiner Anleitung für die Auswahl der Kategorien inklusive einer Methode zur Risikoabschätzung wertvoll.

F.2.3.3 ALARP

Mit dieser Methode soll das Risiko auf das niedrigste Niveau, das vernünftigerweise realisierbar ist (en: **as low as reasonably practicable**, ALARP), mittels einer strukturierten Vorgehensweise bei Konstruktion und Realisierung reduziert werden. Hauptwerkzeug ist die Anwendung einer „guten Praxis“ (en: good practice). Gute Praxis ist in diesem Zusammenhang der Überbegriff für diejenigen Prozeduren, die das Risiko kontrollieren. Geschriebene „gute Praxis“ kann viele Formen haben. Der Anwendungsbereich und die Details von „guter Praxis“ werden den Charakter der Gefährdungen und Risiken widerspiegeln, die Komplexität des Vorgangs oder Prozesses sowie die Art der maßgeblichen gesetzlichen Anforderungen. Zu den Beispielen für schriftliche Quellen, die berücksichtigt werden können, gehören Leitlinien, die von Regierungsstellen verfasst wurden, Normen, die durch Standardisierungsorganisationen (z. B. CEN, CENELEC, ISO, IEC) erstellt werden, sowie Anleitungen, die in Gremien (z. B. Branchenverbände, Berufsverbände) abgestimmt wurden, die einen bestimmten industriellen/berufsbezogenen Sektor repräsentieren.

Tabelle F.1 zeigt, wie ALARP angewendet werden kann.

Tabelle F.1 – Anwendung von ALARP

Projektphase	Bestandteile, die belegen, dass die Risiken so gering wie vernünftigerweise realisierbar sind
Auswahl zwischen Optionen oder Konzepten	Risikobeurteilung und -management entsprechend den Prinzipien des „guten Designs“. Nachweis, dass die Sicherheitsgrundbestandteile der Ausbildung des Sicherheitsbeauftragten den gesetzlichen Anforderungen entspricht. Nachweis, dass die gewählte Option dem geringsten Risiko entspricht, oder Begründung, falls nicht. Vergleich der Option mit dem optimalen Verfahren („best practice“) und Bestätigung, dass die Restrisiken nicht größer sind als bei den besten der existierenden Anlagen mit vergleichbaren Funktionen. Das Risiko wurde über den Lebenszeitraum der Anlage betrachtet, und alle betroffenen Bereiche wurden berücksichtigt. Gesellschaftlichen Aspekten, falls sie eine Berücksichtigung erfordern, wurde entsprochen.
Detaillierte Ausführung	Risikobeurteilung und -management entsprechend den Prinzipien des „guten Designs“. Das Risiko wurde über den Lebenszeitraum der Anlage betrachtet, und alle betroffenen Bereiche wurden berücksichtigt. Die zutreffenden Normen, Richtlinien, „gute Praxis“ etc. wurden angewendet und jegliche Abweichungen begründet. Identifizierung praktikabler Maßnahmen zur Risikoreduzierung und ihre Verwirklichung, außer wenn nachgewiesen wird, dass sie nicht vernünftigerweise praktikabel sind.

F.3 Allgemeine Konstruktion

Konstrukteure neuer Maschinenanlagen sollten, wenn Sicherheit zu beachten ist, den allgemeinen Prinzipien folgen, die in ISO 12100 niedergelegt sind, sowie auch jede andere Fachnorm berücksichtigen, die sich auf die bestimmte Maschine bezieht. Als praktische Anleitung sollten Gefährdungsbereiche, wenn immer praktikabel, beseitigt oder effektiv eingeschlossen werden. Falls sie nicht beseitigt werden können, dann sollten geeignete Sicherheitsabschirmungen als Bestandteile der Konstruktion eingebaut werden, oder es sollte ermöglicht werden, sie einfach in einer späteren Phase einzubauen.

In der Konstruktionsphase sollten die Anordnungen, wenn praktikabel, so getroffen werden, dass keine Notwendigkeit besteht, eine Exposition in jeglichen Gefährdungsbereichen während Betrieb, Prüfung, Justage und Wartung zu verhindern.

Die Konstrukteure sollten die Ergonomie der Maschinenbenutzung berücksichtigen, d. h., sie sollten alle Aspekte der Arbeitssituation, für die die Maschine vorgesehen ist, beachten. Die Zielsetzung ist, bei Bereit-

stellung einer optimalen Funktionsfähigkeit für die Maschine und den Bediener die Lasersicherheit sicherzustellen.

Zu den zu beachtenden Aspekten gehört die Schaffung einer günstigen Umgebung für den Bediener und andere in unmittelbarer Nachbarschaft durch Bereitstellung von Heizung, Kühlung, Beleuchtung und, wo nötig, mechanischen Hilfen, um körperliche Anstrengungen zu reduzieren, sowie Kontrollmaßnahmen, die für ein akzeptables Maß der Abstrahlung von Hitze, Licht, Laserstrahlung, Geräusch, Staub, Rauch und Flüssigkeiten sorgen.

Der Konstrukteur sollte sich der oben genannten Gefährdungen bewusst sein, und so viele dieser Gefährdungen wie möglich sollten durch angemessene Auswahl von Konstruktionsmerkmalen vermieden werden. Wo es nicht möglich ist, diese Gefährdungen zu vermeiden, sollte der Konstrukteur die Faktoren untersuchen, die die Größe des Risikos beeinflussen und die Schwere einer Verletzung beeinflussen können. Faktoren, die die Frequenz der Expositionen beeinflussen können und demzufolge die Wahrscheinlichkeit einer Verletzung, sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

Die Bedienelemente sollten so angeordnet sein, dass eine sichere und einfache Bedienung möglich ist, und zwischen jedem Bedienelement und anderen Teilen der Anlage sollte ausreichend Abstand bestehen. Es sollten die in IEC 60204-1 und IEC 61310-3 diskutierten Methoden übernommen werden.

Bei Laserabschirmungen sollte Folgendem besondere Betrachtung gewidmet werden:

- a) schwierige Situationen, wo Spalten notwendig sind;
- b) Klappen, Kragen und Bürsten-Abdichtungen;
- c) nach oben offene Gehäuse;
- d) Verfugungen zwischen Plattenabschnitten und den Fensterbefestigungen;
- e) vereinfachter Zutritt (z. B. Schiebetüren, Vorhänge);
- f) die Atmosphäre innerhalb der Einhausung muss sicher zu betreten sein (Rauch und Sauerstoffüberschuss oder -mangel);
- g) Sichtfenster in den Einhausungen;
- h) Sekundär-(Opfer-) Abschirmungen;
- i) geometrische und allgemeine Ausstattungserwägungen;
- j) Konstruktionsfragen, die sich auf den Typ (Wellenlänge) des Lasers, der Strahlmanipulation, Strahlführung usw. beziehen.

F.4 Auswahl von Sicherheitsabschirmungen

- a) Wo während des Normalbetriebs der Laserbearbeitungsmaschine kein Zugang zur Gefahrenzone erforderlich ist, dürfen folgende Sicherheitsabschirmungen ausgewählt werden:
 - 1) feste Verkleidungen;
 - 2) Abschirmungen in festem Abstand;
 - 3) verstellbare Abschirmungen.
- b) Wo der Zutritt von Personen zur Gefahrenzone erforderlich ist, z. B. für Beladungen, Prozesskorrekturen, Wartung oder Service, kann es sein, dass die für den Betrieb bestimmten Sicherheitsabschirmungen nicht vollständig effektiv sind. Unter diesen Umständen sollten sichere Arbeitsverfahren, wie die räumliche Trennung, angewendet werden, wenn nötig ergänzt mit zusätzlichen Sicherheitsabschirmungen. Die Anwendung solcher Verfahren erfordert Planung und Disziplin von allen Seiten.
- c) Wo während des Normalbetriebs der Laserbearbeitungsmaschine Zugang zur Gefahrenzone erforderlich ist, dürfen folgende Sicherheitsabschirmungen ausgewählt werden:
 - 1) zwangsweise verriegelnde Abschirmungen;
 - 2) einstellbare Abschirmungen;
 - 3) temporäre Abschirmungen.

F.5 Entwurf und Konstruktion von Abschirmungen

F.5.1 Allgemeine Anforderungen an Konstruktion und Beschaffenheit von festen und beweglichen Abschirmungen

Beim Entwurf des Systems der technischen Schutzmaßnahmen müssen die Arten der Abschirmung und deren Montagemöglichkeiten so ausgewählt werden, dass sie den Anforderungen der Gefährdung durch Laserstrahlung sowie den mechanischen und sonstigen Gefahren gerecht werden. Um das Eintreten von Ereignissen zu reduzieren, die die Sicherheitsabschirmung überwinden, sollten die Wechselwirkungen mit Tätigkeiten während des Betriebs und anderer Phasen im Maschinenleben minimiert werden.

Abschirmungen sollten möglichst den Umrissen der Maschine angepasst sein. Wo dies nicht möglich ist, z. B. bei Wartung oder wegen der Maschinengeometrie, sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Notwendigkeit zu reduzieren, dass sich Personen in der Gefahrenzone aufhalten müssen. Zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen für den Personenschutz innerhalb der Gefahrenzone können notwendig sein. Diese können durch Sicherheitsabschirmungen und/oder die Anwendung sicherer Arbeitsabläufe geleistet werden.

F.5.2 Fest umschließende Abschirmungen

Eine fest angebrachte Abschirmung ist eine Abschirmung, die geschlossen und fest an ihrem Platz bleibt. Die Abschirmung sollte nicht nur den Zugang zu Gefährdungsbereichen oder zu Laserstrahlung verhindern, sondern auch so widerstandsfähig ausgelegt sein, dass sie den Belastungen des Arbeitsprozesses und der Umgebungsbedingungen standhält.

Wenn es erforderlich ist, die Abschirmung zu öffnen oder zu entfernen, sollte dies nur mit Hilfe eines Werkzeuges möglich sein. Die Befestigungselemente sollten möglichst nicht zu verlieren sein.

Wenn es für den Betrieb notwendig ist, die Anlage durch die Abschirmung zu bestücken, sollten die Öffnungen nur ein Passieren des Materials ermöglichen und es dem Material nicht erlauben, sich zu verkeilen. In diesen Situationen sollte die Abschirmung Zugang zur Laserstrahlung verhindern im Einklang mit den Anforderungen zum Personenschutz, die in IEC 60825-1 angeführt sind.

F.5.3 Abschirmungen im festen Abstand

Eine Abschirmung im festen Abstand ist eine ortsfeste Abschirmung, die die Gefährdung nicht vollständig umschließt, die jedoch aufgrund ihrer physikalischen Abmessungen und ihrer Entfernung zur Gefahr die Zugänglichkeit reduziert. Ein Beispiel hierfür ist ein die Maschine umlaufender Zaun. Diese Art der Abschirmung erfordert beim Entwurf große Sorgfalt, falls der Zugang von Personen zu übermäßiger Laserstrahlung verhindert werden soll. Die umlaufende Abschirmung einer nach oben offenen Laserbearbeitungsmaschine kann als Abschirmung im festen Abstand angesehen werden, wenn sie ausreichend hoch ist, um den Zugang von Personen zur Laserstrahlung zu verhindern.

F.5.4 Bewegliche und verriegelnde Abschirmungen

Eine verriegelnde Abschirmung ist entweder selbst beweglich oder hat einen beweglichen Teil, dessen Bewegung mit der Stromversorgung oder der Steuerungsvorrichtung der Maschine gekoppelt ist.

Eine verriegelnde Abschirmung sollte so mit der Maschinensteuerung gekoppelt sein, dass:

- a) die Verriegelung die Erzeugung von gefährlicher Laserstrahlung durch die Unterbrechung der Stromzufuhr oder durch das Schließen einer Strahlenblende verhindert, so lange, bis die Abschirmung geschlossen ist;
- b) entweder die Abschirmung geschlossen und verriegelt bleibt, bis das Verletzungsrisiko durch die Gefahr vorüber ist, oder ein Öffnen der Abschirmung bewirkt, dass die Gefahr beseitigt wird, bevor ein Zugang möglich ist.

Aufsteigende oder herunterfallende unterbrechende Schirme sollten mit einer entsprechenden Absturzsicherung ausgestattet sein, da sie beim Herunterfallen Verletzungen hervorrufen können. Manche verriegelnde