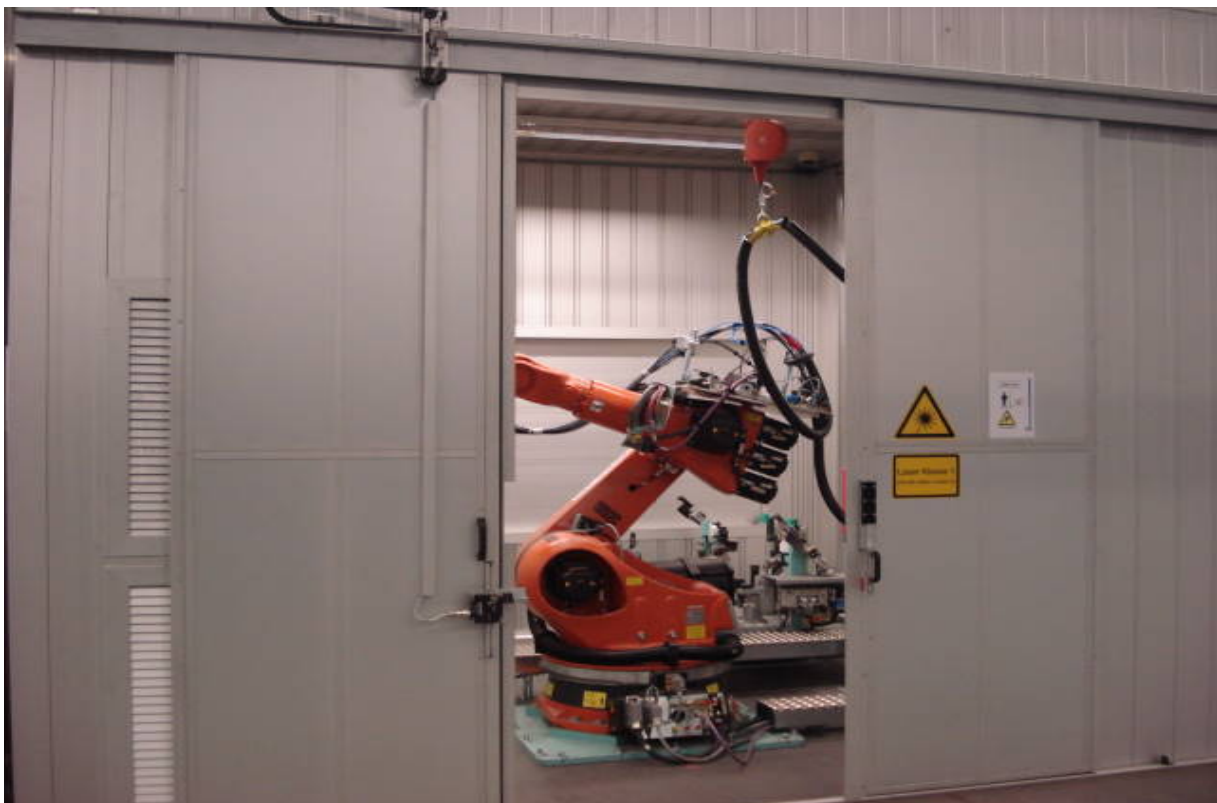


## Hochleistungslaser in der Automobilbranche – Sicherheitskonzepte zur Erfüllung der grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG

Hochleistungslaser mit Laserleistungen bis zu 8 kW zum Schweißen und Lötten von Karosserieteilen sind in der Automobilbranche nicht mehr wegzudenken. Hier prägen insbesondere robotergestützte Festkörper- und Faserlaser in Laserschutzeinhausungen und assistierende Handlings- und Fertigungsroboter das Bild der modernen Fertigungslinie. Dieser Beitrag geht auf aktuelle und bestehende Laser-Sicherheitskonzepte ein und beschreibt Maßnahmen und Strategien der Hersteller von Laserbearbeitungsmaschinen, die der Lasersicherheit mit applikationsspezifischen Sicherheitskonzepten große Aufmerksamkeit widmen.



*Bild 1: Laser-Roboter innerhalb der Laserschutzeinhausung (Quelle: PALETTI Profilsysteme GmbH & Co. KG)*

## 1 Rechtliche Grundlagen

Nicht nur in Deutschland hat jeder Bürger den Anspruch, in seinem privaten und beruflichen Umfeld sichere Produkte vorzufinden. Sicherheit und Gesundheit aller Bürger gehören zu den herausragenden Zielen der Europäischen Union. In Deutschland und in der EU soll man davon ausgehen können, dass Produkte nicht nur bei sachgerechtem Einsatz sondern auch bei jeder vorhersehbaren Verwendung – außer Missbrauch – keine Gefahr für Gesundheit und Leben bedeuten. Für Produkte, die in den nationalen bzw. europäischen Markt eingeführt oder dort in Betrieb genommen werden, sind Sicherheitsanforderungen definiert.

Das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) beinhaltet Anforderungen an die Bereitstellung, das sogenannte Inverkehrbringen, von Produkten auf dem Markt. Auf dem ProdSG basiert die neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz, die Maschinenverordnung, die die nationale Umsetzung der EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG darstellt.

In der Maschinenrichtlinie sind „Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen“ genannt. Bei der Beurteilung, ob ein Produkt diesen „Grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen“ entspricht, können sowohl Normen als auch andere technische Spezifikationen herangezogen werden

Grundlage ist die Risikobeurteilung, die alle möglichen Risiken einer Maschine bzw. die von einer Maschine ausgehen erfasst und bewertet, um das Risiko ggf. mit risikomindernden Maßnahmen auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Die genannten Normen und technischen Spezifikationen können in diese Risikobeurteilung mit einbezogen werden. Hierbei ist auf eine nachvollziehbare Dokumentation zu achten.

Dieser Beitrag basiert im Wesentlichen auf:

- DIN EN ISO 12100:2011-03 „Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung“
- DIN EN ISO 11553-1:2009-03 „Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen“
- DIN EN 60825-4:2011-12 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände“
- DGUV Test Prüf- und Zertifizierungsstelle Elektrotechnik, Prüfspezifikation PL-Info 007:2013-12 „Passive Laserschutzwände – Ermittlung der Schutzdauer für applikations-spezifische Anwendungen“

## 2 Laser-Sicherheitskonzept

Das Sicherheitskonzept einer Laserbearbeitungsmaschine muss sicherstellen, dass die Laserstrahlung so abgeschirmt ist, dass weder durch direkte, reflektierte oder gestreute Strahlung Gesundheitsgefahren auftreten (siehe auch Maschinenrichtlinie Anhang I Nr. 1.5.12). Daraus folgt, dass Gefahr bringende Laserstrahlung unter keinen Umständen aus einer Laserschutzeinhausung austreten darf.

### 2.1 Technische Maßnahmen

Der Hersteller einer Laserbearbeitungsmaschine greift in der Regel zu einem mehrstufigen applikations- bzw. anlagenspezifischen Sicherheitskonzept, welches aus der Anwendung einzelner oder einer Kombination nachfolgender Maßnahmen bestehen kann:

- Passive Laserschutzwände aus ein- oder mehrwandigen Stahl- oder Aluminiumblechkonstruktionen mit sicherheitsverriegelten Prozess- und Zugangstüren
- Eingeschränkte oder überwachte Roboter-Arbeitsbereiche
- Hüllkurven um einprogrammierte Roboterbahnen
- Roboter-Bewegungsüberwachung
- Überwachung der Orientierung des Laserwerkzeugs/der Strahlrichtung
- Begrenzung der Laser-Ein-Zeit
- Prozessüberwachung durch Analysesysteme, z. B. Nahtverfolgungssysteme
- Taktile oder berührungslos wirkende Sensorik (Korrelation zwischen Werkstück und Laserwerkzeug)
- Monitoring aller Abläufe und Prozessschritte durch die übergeordnete Steuerung
- Einsatz von aktiven Laserschutzwänden, evtl. auch nur in Teilbereichen
- .....

Das Sicherheitskonzept muss an die individuelle Gestaltung der Laseranlage, an die Laserparameter und Lasereigenschaften angepasst sein. Ziel des gesamten Vorgehens und Ergebnis des Sicherheitskonzepts muss sein, durch risikomindernde Maßnahmen das verbleibende Risiko auf ein äußerst geringes und damit akzeptables Maß zu reduzieren.

### 2.2 Vorhersehbare Maximalbestrahlung

Bei robotergestützten Laserbearbeitungsmaschinen ist von zwei Szenarien – dem fehlerfreien und dem nicht-fehlerfreien Betrieb – auszugehen, auf die das Sicherheitskonzept abzustimmen ist.

### 2.2.1 Fehlerfreier Betrieb

Der Laserprozess verläuft kontinuierlich, störungsfrei und liefert das gewollte Löt- bzw. Schweißergebnis. Unter dieser Voraussetzung – der Laserstrahl koppelt sicher in das Material ein – können spiegelnde Reflexionen definitionsgemäß ausgeschlossen werden.

Sind diffuse Reflexionen zu betrachten, lässt sich der Sicherheitsabstand  $r$  bzw. NOHD (Nominal Ocular Hazard Distance) unter Berücksichtigung einer idealerweise isotropen Streuung folgendermaßen berechnen:  $r = \sqrt{(P/(2 \cdot \pi \cdot EGW))}$  mit  $EGW = \text{Expositionsgrenzwert} = 50 \text{ W/m}^2$  (Festkörperlaser) und  $P = \text{Laserleistung}$

Mit Hilfe dieser Formel, die in verschiedenen Projekten experimentell bestätigt wurde, ergibt sich als Faustformel, dass der Sicherheitsabstand etwa 1 m pro kW Laserleistung beträgt.

Beispielweise wären die Expositionsgrenzwerte für das menschliche Auge bei einer Laserleistung von 4 kW nach etwa vier Metern unterschritten. In Bezug auf das Risiko diffuser Reflexionen wären hier möglicherweise passive Laserschutzeinhausungen einfacher Ausführung denkbar.

### 2.2.2 Betrachtung von Fehlerbedingungen

Eine Störung im Prozessablauf könnte unter anderem dazu führen, dass direkte oder spiegelnd reflektierte Laserstrahlung auf die Laserschutzwand trifft. Die Eintrittswahrscheinlichkeit und -dauer dieser Situation ist grundsätzlich als sehr gering einzustufen, ist aber im Sicherheitskonzept zu berücksichtigen.

### 2.2.3 Maximalbestrahlung und Sicherheitskonzept

Ausgehend von der zu ermittelnden bzw. abzuschätzenden möglichen Maximalbestrahlung auf der Innenseite der Laserschutzeinhausung gilt es, das Laser-Sicherheitskonzept zu entwickeln. Hierbei spielen die individuellen applikationsspezifischen Gegebenheiten und Eigenschaften eine wesentliche Rolle. Dies sind beispielsweise die Ausbildung und Maße der Laserschutzkabine, Art und Leistung des Lasers, Geometrie des Laserstrahls, Freiheitsgrade der Strahlführung und die Laser-Ein-Zeit.

## 2.3 Passive Laserschutzwände

Konventionell aufgebaute passive Laserschutzwände leisten insbesondere bei sehr hohen Leistungsdichten (Laserleistung/Fläche), die in der Regel nur im Fall 2.2.2 auftreten können, einen zeitlich begrenzten Widerstand gegen direkt auftreffende Laserstrahlung. Der Hersteller oder Inverkehrbringer der Laserbearbeitungsmaschine wendet im Rahmen seiner Risikobeurteilung in der Regel Zusatzmaßnahmen an, um die Höhe der möglichen Bestrahlung der Laserschutzwand im Fehlerfall deutlich zu reduzieren.

Laserschutzeinhausungen sollten den wesentlichen Anforderungen der DIN EN 60825-4:2011-12 „Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände“ entsprechen.

Zur Ermittlung der Schutzdauer (Widerstandsfähigkeit) einer passiven Laserschutzwand liefert Anhang D der genannten Norm „Prüfen von Laserschutzwänden mit festgelegter Schutzwirkung“ Hinweise.

Die hier genannten Prüfanforderungen führen bei Praxistests zum Teil zu nicht plausiblen Ergebnissen/Schutzdauern, beispielsweise wenn der Stichprobenumfang auf 10 beschränkt ist (normative Anforderung: mindestens sechs Proben) oder es nicht zum Versagen, also dem Durchbrand der Laserschutzwand kommt. Der Normensetzer – zumindest das nationale Spiegelgremium – hat das Problem erkannt und in die Laserschutzprojekte „F 2335“ der BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) und „PaLaSi“ des iwB (Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften) getragen.

Weiter handelt es sich bei der genannten Norm nicht um eine harmonisierte Norm im Sinne der Maschinenrichtlinie. Eine Vermutungswirkung wird nicht ausgelöst.

Aus diesem Grund hat die DGUV Test Prüf- und Zertifizierungsstelle Elektrotechnik eine Interimslösung in Form einer Prüfspezifikation (PL-Info 007:2013-12 „Passive Laserschutzwände – Ermittlung der Schutzdauer für applikationsspezifische Anwendungen“) geschaffen. Diese berücksichtigt das normative Verfahren und konkretisiert und spezifiziert dieses in wesentlichen Punkten. Die Entwicklung und Anwendung dieses Prüfverfahrens unterliegt den Anforderungen von DIN EN ISO/IEC 17025 Abschnitt 5.4 „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien – Prüf- und Kalibrierverfahren und deren Validierung“.

Dem Hersteller einer Laserbearbeitungsmaschine wird ermöglicht, die so ermittelte Schutzdauer einer passiven Laserschutzwand in das ganzheitliche Laser-Sicherheitskonzept einzubinden und im Rahmen seiner Risikobeurteilung nach der Maschinenrichtlinie bzw. DIN EN ISO 11553-1 den Schutz vor Gefahr bringender Laserstrahlung bewerten zu können.

Dem Hersteller einer Laserbearbeitungsmaschine steht es frei, die passive Laserschutzwand zu beziehen. In diesem Fall handelt es sich nach gängiger Meinung um ein Sicherheitsbauteil nach Anhang V der Maschinenrichtlinie. Im Lastenheft des Beziehers bzw. in den technischen Spezifikationen des Lieferanten sind Anforderungen und technische Daten eindeutig aufzuführen.

## **2.4 Fallbeispiel und Fallbewertung**

Das Auftreffen direkter Laserstrahlung auf eine Laserschutzeinhausung und eine daraus resultierende unmittelbare Gefährdung von Personen wird derzeit intensiv diskutiert. Wie aufgeführt kann dieses Szenario nur im Fehlerfall auftreten und bedarf einer Reihe von zusätzlichen ungünstigen Faktoren.

Diese sind beispielweise:

- Der Laserroboter verlässt seine einprogrammierte Bahn und erreicht crashfrei eine für die Laserschutzwand ungünstige Position (Abstand, Strahlquerschnitt, Strahlrichtung)
- In dieser Worst case-Position verharrt der Optikkopf stillstehend für eine bestimmte Zeit

- Die Fehlpositionierung des Optikkopfs wird von der Prozesskontrolle und -überwachung nicht erkannt
- Die Laserfreigabe wird trotz unplausibler Positionsinformationen erteilt
- Das betroffene Laserschutzwandelement hält dieser Extrembelastung nicht Stand
- Eine Person hält sich vor dem betroffenen Wandelement auf
- .....

Der Risikobeurteilung werden vernünftigerweise vorhersehbare Fehlersituationen zugrunde gelegt, nicht zwingend aber eine Anhäufung mehrerer unabhängiger Einzelfehler (Fehlerakkumulation).

Unter Berücksichtigung der in 2.1 genannten technischen Maßnahmen kann ein erstelltes Laser-Sicherheitskonzept das Risiko auf ein äußerst geringes und damit akzeptables Maß reduzieren.

### 3 Fazit

Normen, technische Spezifikationen usw. unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung und Verbesserung.

Hersteller von Erzeugnissen aller Art sind zu einer Produktbeobachtung verpflichtet, um abzuschätzen, wie sich ein vermarktetes Produkt unter anderem in sicherheitstechnischen Belangen in der Praxis bewährt. Die Mitgliedstaaten sind zu einer effektiven Produkt- und Marktaufsicht aufgefordert, um die korrekte und einheitliche Anwendung von Richtlinien sicherzustellen. Beide Instrumente – Hersteller-Produktbeobachtungspflicht und Marktaufsicht – lieferten bisher keine Hinweise auf wesentliche Unfälle, Zwischenfälle, Fehlfunktionen oder andere gefährliche Vorkommnisse, die der Schlussfolgerung widersprechen: **Die Mehrzahl der auf dem Markt bereitgestellten Laserbearbeitungsmaschinen in der Automobilbranche erfüllt die „Grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen“ der EG-Maschinenrichtlinie.**

Laser-Sicherheitskonzepte bei Hochleistungslasern auch mit sehr hoher Laserleistung und Strahlqualität sind oft auch unter Verwendung passiver Schutzwandkonzepte möglich. Die Verwendung aktiver Schutzwandkonzepte kann die Realisierung kompakterer Bauweisen ermöglichen.

Letztendlich aber liegen Auswahl der Schutzmaßnahmen, Verantwortung und Haftung in der Hand des Herstellers.

Die Erfahrung zeigt, dass Maschinenunfälle in der Mehrzahl nicht auf zufällige gefährliche Ausfälle und Fehleranhäufungen zurückzuführen sind, sondern vielmehr im Zusammenhang mit Spezifikationsfehlern, nachträglichen Anpassungen und Veränderungen und menschlichem Fehlverhalten stehen. Diesem Manko können Maschinenhersteller und -betreiber mit

Durchführung einer vollständigen Risikobeurteilung durch den Hersteller und einer vollständigen Gefährdungsbeurteilung durch den Betreiber wirksam entgegentreten.

Kontakt bezüglich sicherheitstechnischer Beratungen, Prüfungen, Zertifizierungen, GS-Zeichen: [www.bgetem.de](http://www.bgetem.de) (webcode: pruefstelle-et) oder [pruefstelle-et@bgetem.de](mailto:pruefstelle-et@bgetem.de)

Diese Fachinformation wurde von Fachexperten der DGUV Test Prüf- und Zertifizierungsstelle Elektrotechnik, des Fachgebiets Strahlenschutz der BG ETEM und der BGHM erstellt.

*Stand: 2. Juni 2014*