

Sicherheitshinweise zum Umgang mit Lasern

Aufgrund der besonderen Eigenschaften der Laserstrahlung und der sich daraus ergebenden biologischen Wirkungen sind besondere Schutz- und Vorsichtsmaßnahmen bei der Anwendung von Laserstrahlung erforderlich. Für die Festlegung der in jedem Einzelfall zu treffenden Maßnahmen werden die Laser entsprechend ihrem Gefährdungspotenzial in Klassen eingeteilt. Am wichtigsten sind Schutzmaßnahmen bei der Anwendung von leistungsstarken Lasern in der Technik und der Medizin, wo vor allem das Bedienungspersonal geschützt werden muss. Maßgebend für die Einteilung der Lasereinrichtungen in der Klassen 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B und 4 ist die ÖNORM EN 60825-1.

Laserklasse 1:

Zur Klasse 1 gehören solche Laser, die auch bei dauernder Bestrahlung unter den maximal zulässigen Bestrahlungswerten liegen. Laser der Klasse 1 sind ungefährlich (augensicher) und benötigen unabhängig von der emittierten Wellenlänge außer der entsprechenden Kennzeichnung auf dem Gerät keinerlei weitere Maßnahmen.

Laserklasse 1M:

Die zugängliche Laserstrahlung liegt in einem Wellenlängenbereich von 302.5 nm bis 4000 nm. Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente z.B. Lupe, Linsen oder Teleskope verkleinert wird. In diesen Fällen kann eine den Klassen 3B oder 3R entsprechende Gefährdung auftreten.

Laserklasse 2:

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0.25 s) auch für das Auge ungefährlich. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm haben Klasse 1. Zufällige kurzzeitige Einwirkung (bis 0.25 s) schädigen das Auge nicht, da der Lidschlussreflex das Auge automatisch ausreichend gegen längere Bestrahlung schützen kann. Klasse 2 Laser dürfen deshalb ohne weiteren Schutz eingesetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass kein absichtliches Hineinschauen für die Anwendung länger als 0.25 s erforderlich ist, oder (z. B. Durch Medikamenteneinwirkung) der Lidschlussreflex unterdrückt ist. $P_{\text{Grenz}} = 1\text{mW}$, Kennzeichnung erforderlich.

Laserklasse 2M:

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0.25 s) für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente verkleinert wird. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm entsprechen Klasse 1M.

Laserklasse 3A:

Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge ungefährlich, solange der Querschnitt nicht durch optische Instrumente (Lupen, Linsen, Teleskope) verkleinert wird! Ist dies nicht der Fall, so ist die ausgesandte Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm) bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0.25 s), in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbestrahlung ungefährlich.

Anmerkung: Bei Lasereinrichtungen der Klasse 3A handelt es sich um Laser, die nach der alten Norm klassifiziert worden sind.

Laserklasse 3R:

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302.5 nm bis 10^6 nm und ist gefährlich für das Auge. Es muss eine entsprechende Kennzeichnung z.B. Gefahrenpiktogramm vorhanden sein, Mitarbeiter müssen über die Gefahren unterwiesen werden und Schutzbrillen sind zu tragen. Ein Laserschutzbeauftragter ist zu bestellen. Die Leistung bzw. die Energie beträgt maximal das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung für Klasse 2 (5mW), in den übrigen Wellenlängenbereichen das fünffache des Grenzwertes für Klasse 1. Für cw Laser beträgt der Grenzwert der zugänglichen Strahlung 5 mW.

Laserklasse 3B:

Bei dieser Klasse ist der direkte Blick in den Strahl für das menschliche Auge sehr schädlich und mit irreversiblen Schäden ist zu rechnen. Die Haut wird bei kurzem Kontakt noch nicht geschädigt. Sind entsprechende Laser im Einsatz, müssen Schutzbrillen verpflichtend getragen werden. Des Weiteren muss der Einsatz dieser Geräte durch eine von außen sichtbare Warnlampe signalisiert werden. Die Nutzung der Laser ist bei der Behörde anzumelden und ein Laserschutzbeauftragter ist verpflichtend zu bestellen. Die Leistungsgrenze im kontinuierlichen Betrieb liegt bei 500mW.

Ein Strahlbündel kann aber ohne Gefährdung sicher über einen diffusen Reflektor (Diffusor) betrachtet werden, wenn folgende Bedingungen **gleichzeitig** gelten:

- Der minimale Beobachtungsabstand zwischen Schirm und Hornhaut des Auges ist 13 cm.
- Die maximale Beobachtungsdauer 10 s.
- Es treten keine gerichteten Strahlanteile auf, die ins Auge treten können.

Ein Strahlenbündel kann und darf nur dann über einen Diffusor betrachtet werden, wenn keine gerichteten Strahlanteile auftreten. Bei einigen Lasern dieser Leistungsklasse ist auch eine Gefährdung der Haut durch die zugängliche Laserstrahlung möglich!

Laserklasse 4:

Die zugängliche Laserstrahlung ist sowohl für das Auge als auch für die Haut gefährlich. Ebenfalls kann diffus gestreute Strahlung gefährlich sein. Die Laserstrahlung kann Brand- und Explosionsgefahr verursachen.

Anmerkung:

Lasereinrichtungen der Klasse 4 sind in der Regel Hochleistungslaser, deren Ausgangsleistung bzw. -energien die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für Klasse 3 B übertreffen (d.h. >500 mW). Die Laserstrahlung von Lasereinrichtungen der Klasse 4 ist so intensiv, dass bei jeglicher Art von Exposition der Augen oder der Haut mit Schädigungen zu rechnen ist. Außerdem muss bei der Anwendung von Lasereinrichtungen der Klasse 4 immer geprüft werden, ob ausreichende Maßnahmen gegen Brand- und Explosionsgefahren getroffen sind.

Verwendung von Schutz- und Justierbrillen

Laser ab der Schutzklasse 3B dürfen nur mit Schutz- und Justierbrillen bedient werden! Schutzbrillen absorbieren das Licht fast vollständig, d.h. der Laserstrahl und zum Beispiel Interferenzerscheinungen werden fast unsichtbar. Solche Brillen sind für Justierarbeiten daher nicht geeignet. Spezielle Justierbrillen absorbieren typisch etwa 90 % und schützen so lediglich vor zufällig auftreffender, diffuser Strahlung, nicht aber vor dem direkten Strahl!

Für die Auswahl geeigneter Schutzbrillen ist eine Kenntnis der Laserleistung und der Wellenlänge notwendig.

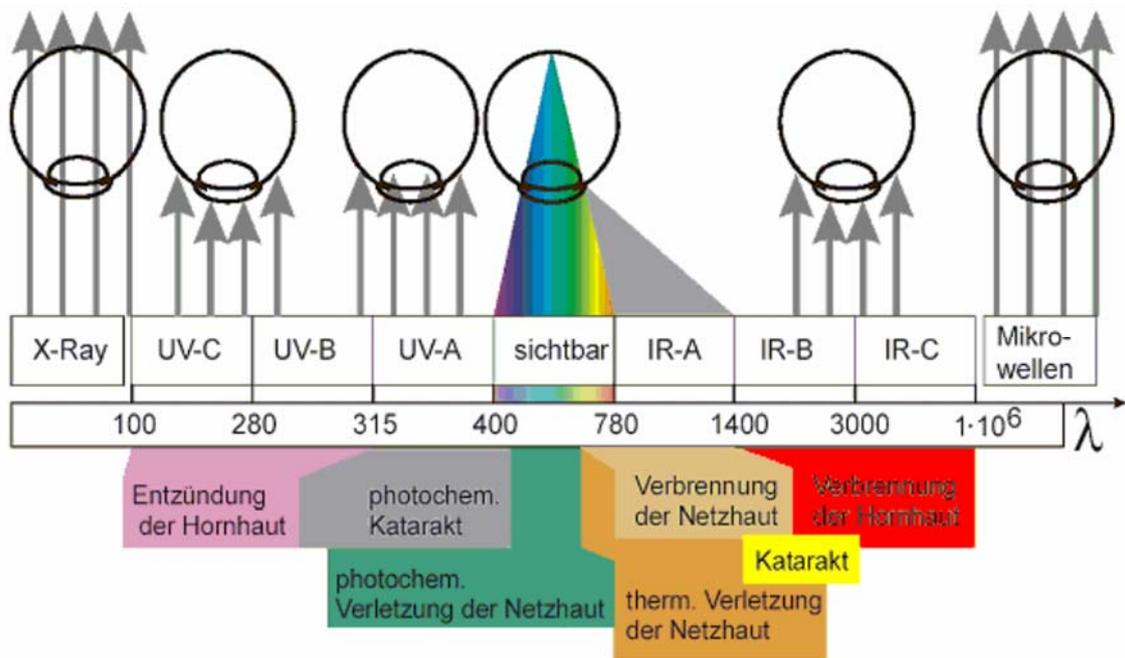
Verantwortlich für die Einhaltung der Schutzmaßnahmen ist der Betreiber der Lasereinrichtungen. Er hat u.a. dafür Sorge zu tragen, dass die Lasergeräte einer Laserschutzklasse zugeordnet und entsprechend gekennzeichnet sind. Beim Betrieb solcher Laser muss ein Laserbereich abgegrenzt und gekennzeichnet sein. Außerdem muss der Betreiber von Lasereinrichtungen der Klassen 3R 3B und 4 sachkundige Personen als Laserschutzbeauftragte bestellen. MitarbeiterInnen die Lasereinrichtungen der Klassen 1M, 2, 2M, 3R, oder 4 anwenden oder sich im Laserbereich von Lasern der Klassen 3R, 3B und 4 aufhalten, müssen über die Wirkungen der Laserstrahlung und die erforderlichen Schutzmaßnahmen belehrt werden. Für den Betrieb von Lasereinrichtungen der Klassen 3R, 3B und 4 müssen vom Betreiber geeignete Laserbrillen, Schutzkleidung oder Schutzhandschuhe zur Verfügung gestellt werden. Auch für die Einhaltung der speziellen Sicherheitsanforderungen für den Betrieb der verschiedenen Lasertypen ist der Betreiber verantwortlich.

Merke:

- Augenverletzungen durch Laser sind oft nur schwer als solche zu erkennen und zu diagnostizieren, weil das Krankheitsbild oft auch zu anderen Ursachen oder Schädigungen passt.
- Augenverletzungen durch Laser werden oft vom Verletzten gar nicht als solche wahrgenommen, weil es sich z.B. nur um geringfügige Verletzungen in der Peripherie der Retina handelt.
- Auch mit Schutzbrille sollte nicht in den gerichteten Laserstrahl geschaut werden.
- Räume, in denen Laser verwendet werden, sind durch Warnzeichen zu kennzeichnen.
- Das Betreten von gekennzeichneten Räumen ist nur einem befugten Personenkreis gestattet, gegebenenfalls auch erst nach einer Belehrung oder Einweisung.
- Der Arbeitsraum ist zu beleuchten, um eine Dunkeladaption des Auges und damit eine besondere Empfindlichkeit der Netzhaut entgegenzuwirken.
- Im Arbeitsraum sollten keine brennbaren oder explosiven Stoffe aufbewahrt werden.
- Die Versuchsanlage ist so abzuschirmen, dass gerichtete Primär-und/oder Sekundärstrahlung nicht austreten können.
- An jeder Lasereinrichtung ist, ein Hinweis anzubringen, auf dem auf die Art des zu nutzenden Augenschutzes hingewiesen wird.
- Reflektierende Flächen im Strahlengang sind zu entfernen oder abzudecken, notfalls auch mit matter Farbe zu streichen. Ebenso sollte der Experimentierraum mit einem hellen, matten Anstrich versehen sein.
- Im Arbeitsraum sollten keine blanken Gegenstände (Metalle, Glas, etc) herumstehen.
- Die Laseranlage sollte durch Not-Aus-Schalter und einen auch von außen bedienbaren Hauptschalter ausschaltbar sein,
- Der Betrieb von Lasern sollte außen durch ein entsprechendes Signallicht erkennbar sein.
- Vor dem Einschalten eines Lasers müssen alle im Raum befindlichen Personen davon in Kenntnis gesetzt werden.
- Ein in Betrieb gesetzter Laser darf nicht ohne Aufsicht bleiben.
- Schutzbrillen sollten regelmäßig und gewissenhaft auf mögliche Beschädigungen kontrolliert werden, insbesondere nach intensiver und energiereicher Bestrahlung.

Wechselwirkungen mit dem Auge

Besonders gefährdet ist das Auge, da eine geringfügige Einwirkung durch den Laserstrahl irreparable Schäden hervorrufen kann.

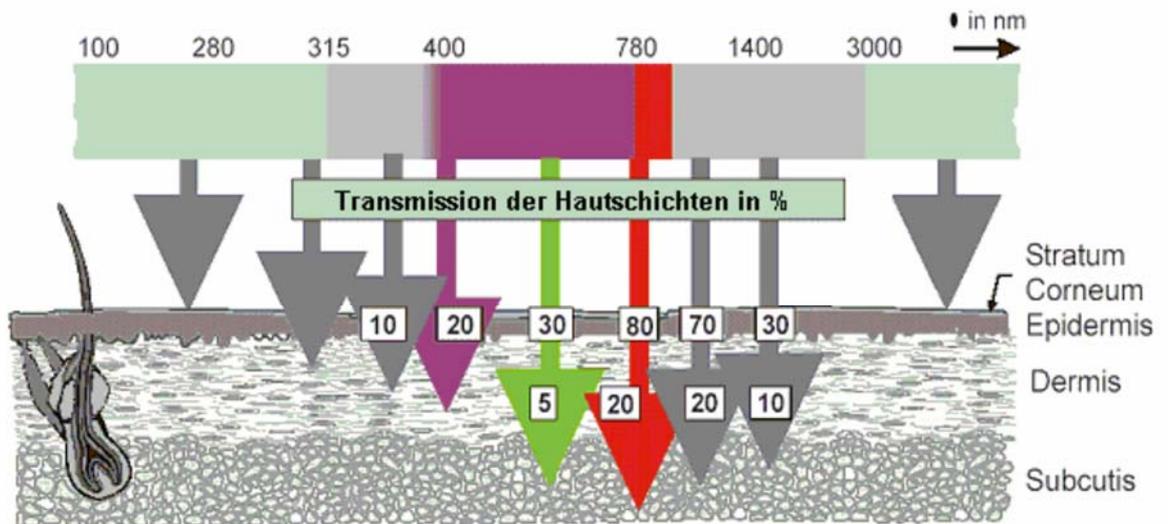


Eindringtiefe elektromagnetischer Strahlung in das Auge

- UVC (100 nm - 280 nm): Absorption an der Hornhaut, Photokonjunktivitis (Bindehautentzündung)
- UVB (280 nm - 315 nm): Photokeratitis (Entzündung der Hornhaut)
- UVA (315 nm - 380 nm): Absorption in der Linse, photochemischer Katarakt (grauer Star)
- VIS (380 nm - 780 nm): hohe Gefährdung v.a. der Netzhaut, photochemische bzw. thermische Wirkung, Vorteil: Lidschlußreflex (< 0,25 s beim gesunden Menschen)
- IRA (780 nm - 1400 nm): gefährlich, Strahlung dringt bis Netzhaut vor, wird aber nicht wahrgenommen => kein Lidschlußreflex, Katarakt
- IRB (1.400 nm – 3.000 nm): Absorption hauptsächlich in vorderer Augenkammer, thermische Schädigung
- IRC (ab 3.000 nm - 1 mm): Absorption in der Hornhaut, thermische Schäden

ACHTUNG bei Lasern besteht in der Regel die größte Gefahr bei Augeneinstellung auf Unendlich, da dann paralleles Licht maximal auf die Retina fokussiert wird!

Wechselwirkungen mit der Haut

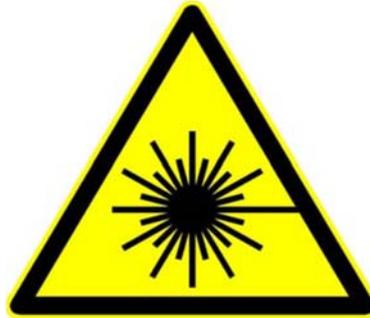


Eindringtiefe von Laserstrahlung in die Haut

- UVC (100-280nm): starke Absorption, dringt nur in dünne Oberflächenschicht ein
- UVB (280-315nm): Erytheme (Hautrötung), Schwellwert ca. $0,1 \text{ J/cm}^2$
- UVA (315-380nm): direkte Pigmentierung der Haut, Schwellwert ca. 10 J/cm^2
- VIS (380-780nm): größte Eindringtiefe, photochemische Prozesse, therm. Wirkungen
- IRA (780-1400nm) und IRB (1400-3000nm): Eindringtiefe wird kleiner, Verbrennungen
- IRC (ab 3000nm-1mm): Absorption an der Hautoberfläche, Verbrennungen

Kennzeichnung der Lasereinrichtungen

Die Kennzeichnung der Laser wird in der Regel bereits durch den Hersteller vorgenommen. Die Kennzeichnung erfolgt durch das Symbol Laserwarnschild (in der Regel in der Nähe der Strahlaustrittsöffnung). Zusätzlich müssen ein Hinweisschild mit Informationen zu der Laserklasse (mit Normangabe) und dem entsprechenden Warnhinweis sowie ein Hinweisschild mit den Spezifikationen angebracht sein.



Laserwarnschild

Laser Klasse 1 Nach DIN EN 60825-1:2001-11	Laserstrahlung Nicht direkt mit optischen Instrumenten betrachten Laser Klasse 1M Nach DIN EN 60825-1:2001-11
---	--

Klasse 1

Klasse 1M

Laserstrahlung Nicht in den Strahl blicken Laser Klasse 2 Nach DIN EN 60825-1:2001-11	Laserstrahlung Nicht in den Strahl blicken oder direkt mit optischen Instrumenten betrachten Laser Klasse 2M Nach DIN EN 60825-1:2001-11
$P \leq 1 \text{ mW } \lambda = 650 \text{ nm}$	$\lambda = 650 \text{ nm } E \leq 25 \text{ W/m}^2$

Klasse 2

Klasse 2M

Laserstrahlung Direkte Bestrahlung der Augen vermeiden Laser Klasse 3R Nach DIN EN 60825-1:2001-11	Unsichtbare Laserstrahlung Nicht dem Strahl aussetzen Laser Klasse 3R Nach DIN EN 60825-1:2001-11	Unsichtbare Laserstrahlung Direkte Bestrahlung der Augen vermeiden Laser Klasse 3R Nach DIN EN 60825-1:2001-11
400 nm bis 700 nm	700 nm bis 1.400 nm	Andere Wellenlängen
$P_0 = \text{_____ W } \lambda = \text{_____ nm}$	$P_0 = \text{_____ W } \lambda = \text{_____ nm}$	$P_0 = \text{_____ W } \lambda = \text{_____ nm}$

Klasse 3R

Nicht dem Strahl aussetzen Laser Klasse 3B Nach DIN EN 60825-1:2001-11	Unsichtbare Laserstrahlung Nicht dem Strahl aussetzen Laser Klasse 3B Nach DIN EN 60825-1:2001-11
---	--

400 nm bis 700 nm

Andere Wellenlängen

$P_0 = \text{_____ W}$ $\lambda = \text{_____ nm}$	$P_0 = \text{_____ W}$ $P_p = \text{_____ W}$ $t = \text{_____ s}$ $F = \text{_____ Hz}$ $\lambda = \text{_____ nm}$
--	--

Klasse 3B

Laserstrahlung Bestrahlung von Auge oder Haut durch direkte oder Streustrahlung vermeiden Laser Klasse 4 Nach DIN EN 60825-1:2001-11	Unsichtbare Laserstrahlung Bestrahlung von Auge oder Haut durch direkte oder Streustrahlung vermeiden Laser Klasse 4 Nach DIN EN 60825-1:2001-11
---	---

400 nm bis 700 nm

Andere Wellenlängen

$P_0 = 20 \text{ W}$ $\lambda = 457 \text{ nm} - 514 \text{ nm}$	$P_0 = 100 \text{ W}$ $P_p \leq 5,5 \text{ kW}$ $t = 0,1 \text{ ms} - 10 \text{ ms}$ $F = \text{Einzelimpuls bis } 300 \text{ Hz}$ $\lambda = 1.064 \text{ nm}$
--	---

Klasse 4

Die vorher dargestellten Hinweisschilder mit den Spezifikationen sind nur beispielhaft und werden abweichende Informationen enthalten. Die Angaben zur Spezifikation enthalten die folgenden Parameter:

- P_0 : Gesamtstrahlungsleistung (cw) bzw. mittlere Strahlungsleistung eines gepulsten Lasers (Einheit: W)
- P_p : Strahlungsleistung, ausgestrahlt innerhalb eines Impulses eines gepulsten Lasers (Einheit: W)
- E: Bestrahlungsstärke (Einheit: W/m²)
- F: Pulswiederholfrequenz (Einheit: Hz)
- t: Dauer eines Einzelimpulses (Einheit: s)
- λ : Wellenlänge der Laserstrahlung (Einheit: nm)

Kennzeichnung des Laserbereiches für die Laser Klasse 3R, 3B und 4:

Das Laserwarnschild und der Hinweis "Warnung vor Laserstrahlung" werden gefordert.

Empfohlen wird die Verwendung des Hinweisschildes mit Informationen zu der Laserklasse und dem entsprechenden Warnhinweis (in Deutsch und Englisch)

Abgrenzung und Kennzeichnung der Laserbereiche

Bauliche Schutzmaßnahme	Klasse	1	1M	2	2M	3R	3B	4
Wände, Decken, Böden: Massiv, nicht brennbar, matt, hell, diffus reflektierend							X	X
Installationen: nicht metallisch (reflektierend)							X	X
Lichtinstallationen: großzügig, regelbar							X	X
Elektroinstallationen: hinreichende Anzahl von Not-Aus-Schaltern, Raum- und Türstromkreis							X	X
Abschirmungen: hohe Absorption, schwer entflammbar							X	X
Spiegelnde Reflektionen: unbeabsichtigte Reflektionen sind zu vermeiden						X	X	X
Strahlweg: Strahl ist am Ende seines zweckdienlichen Weges zu begrenzen		X	X	X	X	X	X	X
Laserbereich: kennzeichnen, falls im Arbeits- oder Verkehrsbereich ("Warnung vor Laserstrahl")				X	X			
Laserbereich: abgrenzen und Grenzen kennzeichnen ("Warnung vor Laserstrahl")						X	X	X
Betriebsanzeige: Warnleuchten an allen Zugängen zum Laserbereich								X

Organisatorische Schutzmaßnahme	Klasse	1	1M	2	2M	3R	3B	4
Anzeige: (§5) Anzeige des Betriebs bei BG Chemie und Gewerbeaufsichtsamt (durch Projektleiter *)						X	X	X
Laserschutzbeauftragter: (§6) schriftlich bestellen						X	X	X
Laserbereich: (§7) Grenzen festlegen, falls im Arbeits- oder Verkehrsbereich				X	X			
Laserbereich: Grenzen festlegen						X	X	X
Fernbedienbare Verriegelung: an Raum- oder Türstromkreis anschließen							X	X
Schlüsselschalter: Schlüssel abziehen, wenn außer Betrieb							X	X
Laserschutzbrillen: (§8) geeigneten Augenschutzgeräte nach DIN EN 207 verwenden						X	X	X
Laserjustierbrillen: geeigneten Augenschutz nach DIM EN 208 verwenden						X	X	X
Schutzkleidung: bei Gefährdung (z.B. Handschuhe)						X	X	X
Unterweisung: erforderlich für alle Anwender		X	X	X	X	X	X	X
Unterweisung: erforderlich für alle Versicherten im Laserbereich						X	X	X
Beschäftigungsbeschränkung: (§ 11) für Jugendliche						X	X	X
Ärztliche Versorgung: (§ 12) Augenarzt aufsuchen, falls Verdacht auf Augenschaden		X	X	X	X	X	X	X