



# Damit nichts ins Auge geht ...

Schutz vor Laserstrahlung

**Strahlungsarmer Monitor? Mobbing? Geräuschemissionen? Umgang mit Gefahrstoffen? Stress? Arbeitszeitmodelle? Sie haben eine Frage zu Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit?**

Fragen Sie uns! In unseren Wissensspeichern findet sich garantiert die Antwort. Und falls nicht, fragen wir für Sie einen unserer 200 Experten im Haus. Wir sind für Sie da – kompetent, schnell, zuverlässig!

**Service-Telefon 01 80.321 4 321**

Montag bis Freitag von 8.00 – 16.30 Uhr (0,09 €/Minute aus dem nationalen Festnetz der Deutschen Telekom AG)

**Fax 01 80.321 8 321**

(0,09 €/Minute aus dem nationalen Festnetz der Deutschen Telekom AG)

**E-Mail [info-zentrum@buaa.bund.de](mailto:info-zentrum@buaa.bund.de)**

**Internet [www.buaa.de](http://www.buaa.de)**



Damit nichts ins Auge geht ...

Schutz vor Laserstrahlung

## Inhalt

- 3 **Umgang mit Lasern – aber sicher!**
- 4 **Was ist Laserstrahlung?**
- 6 **Laseranwendungen**
- 8 **Wirkung auf den Menschen**
- 9 Gefährdung des Auges
- 10 Gefährdung der Haut
- 10 Weitere Gefährdungen
- 12 **Laserklassen**
- 14 Welchen Schutz gibt es?
- 16 **Untersuchungen zum Lidschlussreflex und zu Abwendungsreaktionen  
des Menschen gegenüber sichtbarer Laserstrahlung**
- 16 Projekt ›Lidschlussreflex‹
- 18 Projekt ›Abwendungsreaktionen‹
- 21 Auswirkungen der Untersuchungen zum Lidschlussreflex und zu Abwendungsreaktionen
- 23 **Verhaltensregeln beim Umgang mit Lasern**
- 24 Literatur

# Umgang mit Lasern – aber sicher!

Lasers sind aus der heutigen Welt nicht mehr wegzudenken. Seit der experimentellen Entwicklung des ersten Lasers durch den amerikanischen Physiker Theodore Maiman (1960) haben Laser in Forschung und Medizin, in Industrie und Gewerbe, in der Informations- und Kommunikationstechnik und nicht zuletzt in der Unterhaltung Einzug gehalten. Die Zahl der Beschäftigten, die beruflich mit Lasern zu tun haben, nimmt ständig zu. Aber auch im Privathaushalt finden sich immer mehr Laser. Laserdrucker, CD- und DVD-Player werden seit Jahren benutzt, aber auch Laser-Entfernungsmesser und -Nivelliergeräte gehören mittlerweile zum »Arsenal« vieler Heimwerker. Laserpointer stecken in mancher Schultasche und werden leider nicht nur als moderner Zeigestock benutzt. Mit der Verbreitung von Laseranwendungen wird es für Profis wie Privatanwender immer wichtiger, möglichst viel über den sicheren Umgang mit Lasern zu wissen.

Neben allgemeinen Informationen über Laserstrahlung, Anwendungen von Lasern und deren Wirkung auf den Menschen enthält diese Broschüre die neue Laserklassifizierung. Alle Laser, die seit dem November 2001 neu in den Verkehr gebracht werden, müssen nach der neuen Klassifizierung eingestuft werden, und geben damit den Nutzern wichtige Informationen über mögliche Gefährdungen und Schutzmaßnahmen.

Im letzten Teil werden von der BAuA initiierte Forschungsprojekte vorgestellt, in denen untersucht wurde, ob der Mensch durch seine natürlichen Reflexe und Reaktionen beim Umgang mit Lasern geringer Leistung hinreichend geschützt ist. Die beiden Untersuchungen über den Lidschlussreflex und Abwendungsreaktionen wurden im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin an der Fachhochschule Köln, Forschungsbereich Medizintechnik, unter der Leitung von Prof. H.-D. Reidenbach durchgeführt und leisten einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Sicherheit beim Umgang mit Lasern.

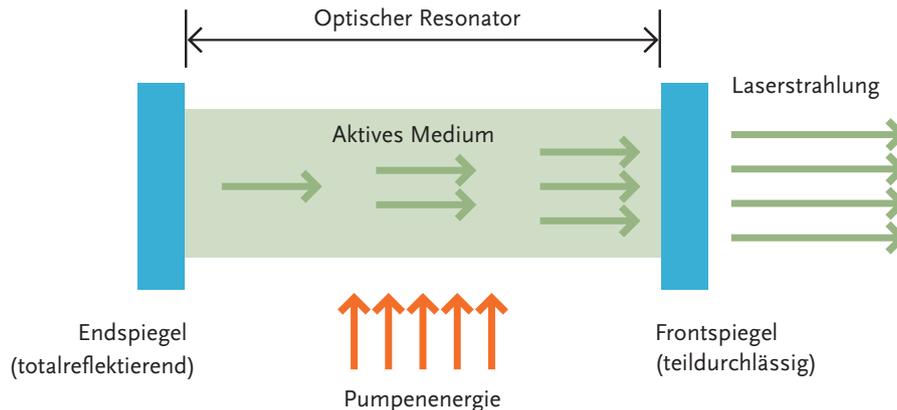
# Was ist Laserstrahlung?

<sup>1</sup> Atome, Moleküle oder Ionen; der Kürze halber wird im Folgenden nur von Atomen gesprochen.

Das Wort **Laser** ist ein Akronym und setzt sich aus den Anfangsbuchstaben der englischen Bezeichnung **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation zusammen, zu Deutsch: ›Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung‹. Dies beschreibt einen physikalischen Vorgang, der zur Erzeugung von Laserstrahlung führt. Dabei werden im ersten Schritt Atome<sup>1</sup> eines Lasermediums (›aktives Medium‹) durch Energiezufuhr angeregt. Diesen Vorgang bezeichnet man als ›Pumpen‹ (Abbildung 1). Als aktives Medium können Gase, Festkörper oder Flüssigkeiten verwendet

werden. Die Energiezufuhr kann je nach aktivem Medium durch elektrische Gasentladungen, Blitzlampen, eine angelegte Spannung oder einen anderen Laser erfolgen. Die angeregten Atome geben Photonen, also Lichtteilchen, ab und kehren dabei wieder in den nicht angeregten Zustand zurück. Treffen diese Lichtteilchen auf andere Atome im angeregten Zustand, so können diese ebenfalls Lichtteilchen abgeben, die mit den aufgetroffenen Lichtteilchen in Wellenlänge, Phase und Richtung übereinstimmen. Dieser als ›stimulierte Emission‹ bezeichnete Vorgang läuft in

Abbildung 1  
Das Prinzip eines Lasers



einem optischen Resonator ab. Der Resonator ist z.B. ein Rohr, an dessen beiden Enden ein Spiegel die Strahlung reflektiert. Diese durchläuft so mehrmals das aktive Medium und regt bei jedem Durchgang weitere Atome zur Abgabe von Lichtteilchen an. Einer der beiden Spiegel ist teildurchlässig, so dass ein Teil der Strahlung nach außen treten kann.

Die Laserstrahlung unterscheidet sich von der Strahlung konventioneller Strahlungsquellen, wie z.B. Glühlampen, im Wesentlichen durch die folgenden Eigenschaften:

- **Kohärenz:** die Wellen besitzen eine konstante Phasendifferenz, sie sind zeitlich und räumlich zusammenhängend,
- **Monochromasie:** die Laserstrahlung weist exakt eine Wellenlänge auf,
- **geringe Strahldivergenz:** die Laser emittieren eine gebündelte, fast parallele Strahlung.

In der Praxis bedeutet dies: Laserstrahlen lassen sich sehr stark bündeln. Es ist kein Problem, sie auf kleinste Räume zu fokussieren. Das wird zum Beispiel in jedem CD-Player ausgenutzt, um die mikroskopisch kleinen Strukturen auf der CD auszulesen. Gleichzeitig lassen sich mit Laserstrahlen aber auch enorme Energien auf einen Punkt bündeln, um z.B. Werkstoffe sehr präzise zu schneiden.

Heutige Laser werden für sehr verschiedenartige Zwecke eingesetzt und unterscheiden sich daher in ihrem Aufbau. Die Wellenlängen reichen vom fernen Infrarotbereich (IR-Bereich) über das sichtbare Licht bis hin zum Ultravioletten Bereich (UV-Bereich, Tabelle 1). Je nach dem verwendeten aktiven Medium gibt es verschiedene Laser-Typen:

Gas-, Festkörper- oder Flüssigkeits- bzw. Farbstofflaser (Tabelle 2). Man kann Laser auch danach unterteilen, ob sie die Strahlung kontinuierlich aussenden oder gepulst arbeiten. Laser, die mit einer Strahlungsdauer von mehr als 0,25 s strahlen, werden als Dauerstrichlaser bezeichnet. Gepulste Laser senden in regelmäßigen Zeitabständen Strahlungsimpulse aus, die eine Dauer im Bereich von Femtosekunden bis 0,25 Sekunden haben können.

Wellenlänge/nm		Wellenlängenbereich
100 bis	280	Ultraviolett C (UV-C)
280 bis	315	Ultraviolett B (UV-B)
315 bis	400	Ultraviolett A (UV-A)
400 bis	700	Sichtbare Strahlung
700 bis	1 400	Infrarot A (IR-A)
1 400 bis	3 000	Infrarot B (IR-B)
3 000 bis	1 000 000	Infrarot C (IR-C)

**Tabelle 1**  
**Wellenlängenbereiche**  
**der optischen Strahlung**

# Lasieranwendungen

Lasere finden heute in vielen beruflichen Bereichen Verwendung (Tabelle 2). Schnelle Datenübertragung per Lichtleiter wäre ohne Laser ebenso wenig vorstellbar wie die Speicherung immer größerer Datenmengen auf CD-ROMs und DVDs. In der Forschung werden Laser z.B. in den verschiedenen spektroskopischen Verfahren oder in der Dünnschichttechnologie verwendet. Laser sorgen in der Materialbearbeitung für höchste Präzision beim Schneiden, Bohren, Schweißen und Lötens von Werkstücken. In der Mess- und Prüftechnik werden sie für genauestes berührungsfreies Messen eingesetzt, etwa bei der Messung von Entfernungen, Geschwindigkeiten, Materialdicken und Oberflächenprofilen. Dies hilft unter anderem beim Tunnelbau, wo mit Hilfe des Lasers ein exakter Tunnelvortrieb oder das genaue Aufeinandertreffen zweier Tunnelröhren kein Problem mehr ist. Laserlicht wird auch zur Herstellung von Hologrammen etwa auf EC- und Kreditkarten eingesetzt. In den Strichcodelesegeräten an den Kassen der Supermärkte befinden sich ebenfalls Laser.

Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich von Lasern ist die Medizin. Diagnostik und Behandlung haben dadurch in vielen Bereichen profitiert. Beispielsweise werden Laser bei der Zertrümmerung von Nieren- und Gallensteinen oder in der Chirurgie

als Skalpell benutzt. Auch bei der Korrektur von Fehlsichtigkeit und bei der Entfernung von Pigmentflecken und Narben leisten Laser gute Dienste.

Natürlich ist der Laser auch Bestandteil vieler Geräte im privaten Bereich: CD- und DVD-Player, Laserdrucker und Scanner, Laserwasserwaage und Laserentfernungsmesser sind heute mehr Regel als Ausnahme. In Diskotheken und Bühnenshows sorgen Laser für tolle Lichteffekte. Dass aber die schöne neue Laserwelt auch ihre Schattenseiten hat, wenn Laser unsachgemäß verwendet werden, zeigt sich, wenn Jugendliche sich und andere mit Laserpointern blenden und damit das Augenlicht gefährden.

**Tabelle 2**  
**Lasertypen mit Anwendungs-**  
**beispielen**

	aktives Medium	wichtigste Wellenlängen	Anwendungsbeispiele
Gaslaser	Helium-Neon (He:Ne)	632,8 nm	Messtechnik
	Argon (Ar <sup>+</sup> )	488 nm, 514,5 nm	Medizin, Spektroskopie, Messtechnik, Holographie
	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	10,6 μm	Materialbearbeitung, Medizin, Spektroskopie
Festkörperlaser	Rubin (Cr <sup>3+</sup> :Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	694,3 nm	Materialbearbeitung, Medizin
	Neodym: Yttrium-Aluminium-Granat (Nd:YAG)	1 064 nm	Materialbearbeitung, Photochemie
	Halbleiter (z.B. Gallium-Aluminium-Arsenid (GaAlAs) Laserdiode)	690 nm – 910 nm	Optische Datenübertragung, Optische Plattenspeicher (CD-ROM, DVD), Laserdrucker, Medizin
Flüssigkeitslaser	Farbstoffe	einstellbar von UV- bis IR-Bereich	Medizin, Spektroskopie

# Wirkung auf den Menschen

<sup>2</sup> Als Bestrahlungsstärke bezeichnet man die Strahlungsleistung pro Flächeneinheit, d.h. die Leistungsdichte.

Laserstrahlung und Strahlung aus konventionellen Strahlungsquellen unterscheiden sich nicht grundsätzlich in ihren biologischen Wirkungen. Den Unterschied macht die starke Bündelung der Laserstrahlung. Durch sie können hohe Bestrahlungsstärken<sup>2</sup> erreicht werden. Die Folge können verschiedene Gewebeeränderungen sein. Dabei ist die Wirkung der Laserstrahlung auf biologisches Gewebe abhängig von dessen optischen Eigenschaften, also seinem Absorptions-, Reflexions- und Streuvermögen. Aber auch Wellenlänge, Bestrahlungsstärke und Bestrahlungsdauer entscheiden über die Wirkung auf das bestrahlte Gewebe.

Die Abhängigkeit der Absorption von der Wellenlänge hängt mit den unterschiedlichen optischen Eigenschaften der Gewebebestandteile zusammen. Biologisches Gewebe enthält in der Regel sehr viel Wasser, so dass optische Strahlung vor allem im UV- und langwelligen IR-Bereich absorbiert wird. Im sichtbaren und nahen IR-Bereich wird die Absorption dagegen durch die biologischen Moleküle Hämoglobin (Blutfarbstoff, der die Atmung und die Stoffwechselvorgänge regelt) bzw. Melanin (Farbpigment, das für die Bräunung der Haut verantwortlich ist) ermöglicht.

Bei einer relativ langen Bestrahlungsdauer im

Minutenbereich sowie geringen Bestrahlungsstärken ( $< 50 \text{ mW/cm}^2$ ) werden photochemische Wirkungen im Gewebe ausgelöst. Im sichtbaren und IR-Bereich können bestimmte biologische Moleküle die auftreffende Laserstrahlung absorbieren. Sie werden angeregt und geben ihre Energie z.B. an Sauerstoff-Moleküle ab, wodurch hoch reaktive Radikale entstehen, die die Erbsubstanz Desoxyribonukleinsäure (DNS) schädigen können. Laserstrahlung im UV-Bereich kann auch eine direkte Schädigung der DNS hervorrufen. Derartige Schädigungen der DNS können krebsauslösend wirken.

Bei einer Bestrahlungsdauer von einigen Sekunden bis zu einigen Millisekunden und Bestrahlungsstärken oberhalb von  $100 \text{ W/cm}^2$  sind thermische Effekte zu beobachten. Diese reichen von einer leichten Erwärmung des Gewebes über die Veränderung der natürlichen Molekülstruktur bzw. der Gerinnung von Eiweiß, das Verkochen des Wassers im Gewebe bis hin zur Verkohlung (Karbonisierung) des Gewebes.

Bei weiter erhöhter Bestrahlungsstärke bis  $1 \text{ GW/cm}^2$  und Verkürzung der Impulsdauer auf Mikro- bis Nanosekunden »verdampft« das Gewebe, es wird praktisch explosionsartig abgetragen (Photoablation). Bei noch weiterer Verkürzung der

Impulsdauer auf Werte im Nanosekunden- bis Pikosekunden-Bereich und gleichzeitiger Erhöhung der Bestrahlungsstärken auf  $\text{TW}/\text{cm}^2$  entsteht Plasma, d.h. freie Elektronen und Ionen. Dieser Prozess wird begleitet von einer akustischen Stoßwelle, die sich ausbreitet und das Gewebe mechanisch zerstört. In diesem Fall spricht man von Photodisruption.

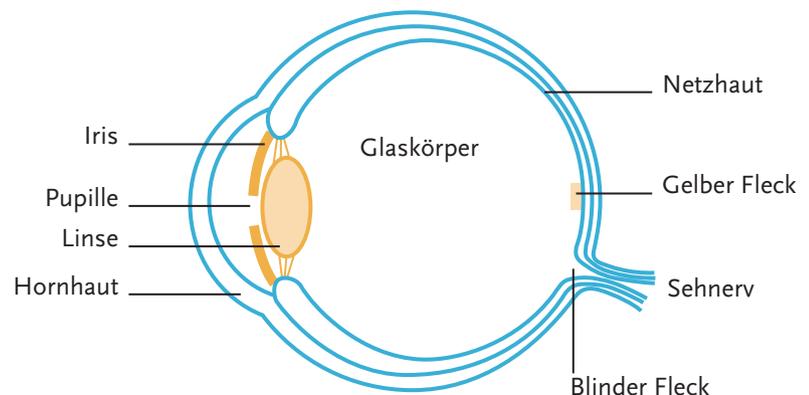
## Gefährdung des Auges

Das Auge (Abbildung 2) besitzt die Eigenschaft, Licht – also Strahlung im sichtbaren Bereich – stark zu bündeln. Daraus resultiert zugleich seine besondere Empfindlichkeit gegenüber optischer Strahlung. Durch den Linseneffekt des Auges wird die Leistungsdichte optischer Strahlung auf dem Weg von der Hornhaut zur Netzhaut bis zu 100.000fach verstärkt. Dies erklärt, warum bereits relativ geringe Leistungen für das Auge gefährlich sein können. Schäden an der Netzhaut wie z.B. Verbrennungen, können zu erheblichen Beeinträchtigungen des Sehvermögens führen. Kleinere Verbrennungen der Netzhaut bleiben meist un bemerkt, größere geschädigte Stellen können jedoch zu Ausfällen im Gesichtsfeld führen. Darüber hinaus kann es zur Ablösung von Teilen der Netzhaut bis hin zu massiven Blutungen kommen. Bei einer Schädigung an der Stelle des schärfsten Sehens, dem so genannten gelben Fleck, kann das Scharfsehen und das Farbsehvermögen stark verringert werden. Wird gar die Einmündung des Sehnervs in die Netzhaut, der so genannte blinde Fleck, getroffen, droht die völlige Erblindung.

Das Sehvermögen ist auf den sichtbaren

Spektralbereich begrenzt, d.h. nur diese Strahlung gelangt durch Hornhaut, Linse und Glaskörper und wird auf der Netzhaut abgebildet. Strahlung im UV- und fernen IR-Bereich wird bereits von der Hornhaut, Bindehaut und Linse absorbiert und kann somit keine Schädigung auf der Netzhaut hervorrufen. Allerdings können durch UV-Strahlen photochemische Reaktionen ausgelöst werden und zu sehr schmerzhaften Entzündungen der Hornhaut (Photokeratitis) und der Bindehaut (Photokonjunktivitis) führen. Durch hohe Bestrahlungsstärken und wiederholte Einwirkungen über einen längeren Zeitraum können Linsentrübungen (Katarakte) verursacht werden. Im langwelligen IR-Bereich sind ebenfalls Katarakte möglich, ab einer Wellenlänge von ca. 2500 nm ist jedoch nur noch die Hornhaut betroffen (Tabelle 3).

Abbildung 2  
Das Auge



## Gefährdung der Haut

Die Haut besitzt nicht die Eigenschaft, Licht zu bündeln, und sie reflektiert Strahlung stärker als das Auge. Daher ist sie unempfindlicher gegenüber Laserstrahlung. Im sichtbaren und nahen IR-Bereich hat die Haut ein hohes Reflexionsvermögen, im UV- und fernen IR-Bereich absorbiert sie die Strahlung dagegen sehr stark, wobei die Eindringtiefe der Strahlen von der Wellenlänge abhängt. Entsprechend der Eindringtiefe sind deren Schichten unterschiedlich stark betroffen (Tabelle 3).

In Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke können Hautrötungen, Verbrennungen, starke Blasenbildung und spätere Vernarbung die Folge sein.

## Weitere Gefährdungen

Neben der Gefährdung von Auge und Haut können durch Laserstrahlung weitere Gefährdungen hervorgerufen werden. Brand- und Explosionsgefahr drohen immer dann, wenn die Strahlung auf brennbares Material oder eine explosionsfähige Atmosphäre trifft. Bei der Materialbearbeitung können Materialzersetzungsprodukte in Dämpfen entstehen, die gesundheitsschädlich sind. Aber auch die Technik des Lasers selbst kann zu Gefährdungen führen, wenn es z.B. zum Kontakt mit toxischen Stoffen (Gase, Flüssigkeiten) des aktiven Mediums kommt. Da jeder Laser elektrische Energie zum Betrieb benötigt, muss natürlich auch die elektrische Sicherheit beachtet werden. Des Weiteren kommt es bei der Materialbearbeitung zur Entstehung schädigender UV-Strahlung.

Wellenlängenbereich	Auge	Haut
Ultraviolett C	Photokeratitis Photokonjunktivitis	Erythem Präkanzerosen Karzinome
Ultraviolett B	Photokeratitis Photokonjunktivitis Katarakt	Verstärkte Pigmentierung (Spätpigmentierung) Erythem Präkanzerosen Karzinome
Ultraviolett A	Katarakt	Bräunung (Sofortpigmentierung) Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Verbrennung der Haut Karzinome
Sichtbare Strahlung (VIS)	Photochemische und Photothermische Schädigung der Netzhaut	Photosensitive Reaktionen Verbrennung der Haut
Infrarot A	Katarakt Verbrennung der Netzhaut	Verbrennung der Haut
Infrarot B	Katarakt Verbrennung der Hornhaut	Verbrennung der Haut
Infrarot C	Verbrennung der Hornhaut	Verbrennung der Haut

**Tabelle 3**  
**Mögliche Auswirkungen**  
**der Laserstrahlung auf**  
**Auge und Haut mit**  
**Anwendungsbeispielen**

# Laserklassen

Laser werden entsprechend ihrer Gefährlichkeit für den Menschen in Klassen eingeteilt. Die Zuordnung zu einer bestimmten Laserklasse soll für die Anwender die mögliche Gefährdung sofort ersichtlich machen und auf geeignete Schutzmaßnahmen hinweisen. Je höher die Klassennummer, desto höher ist auch die Gefährdung, die von einem Laser ausgeht. Für die Zuordnung eines Lasers zu einer bestimmten Klasse ist der Hersteller verantwortlich.

Welcher Klasse gehört ein Laser an? Um dies zu beurteilen, gilt es zwei Grenzwerte zu beachten. Die ›maximal zulässige Bestrahlung‹ (MZB) stellt einen Grenzwert für die ungefährliche Bestrahlung des Auges oder der Haut dar. Mit ›zugänglicher Strahlung‹ bezeichnet man die Strahlung, die den Laser verlässt und in einen Bereich gelangt, in dem sie auf Menschen treffen kann. Der ›Grenzwert zugänglicher Strahlung‹ (GZS) ist der maximale Wert zugänglicher Strahlung, der innerhalb einer bestimmten Klasse zugelassen ist. Über den GZS lässt sich abschätzen, ob die MZB-Werte für Auge oder Haut eingehalten oder bei welcher Bestrahlungsdauer sie überschritten werden.

In der Neuauflage der internationalen Norm IEC 60825-1 (2001), die unverändert in die europäische Norm EN 60825-1 und damit auch in die nationale deutsche Norm DIN EN 60825-1 (VDE

0837 Teil 1): 2001-11 übernommen wurde, sind die bisherigen fünf Laserklassen 1, 2, 3A, 3B und 4 neu geordnet worden. Die neue Einteilung sieht sieben Klassen vor – 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B und 4 –, d.h. es wurden drei neue Laserklassen (1M, 2M und 3R) eingeführt sowie eine, die Klasse 3A, herausgenommen. Die genauen Definitionen sind in der Norm DIN EN 60825-1 zu finden [siehe auch die Stellungnahme des Fachausschusses ›Elektrotechnik‹: ›Schutz vor Laserstrahlung‹ (2002) und die Berufsgenossenschaftliche Information (BGI) 832 ›Betrieb von Lasereinrichtungen‹ (2003)].

**Klasse 1** Die zugängliche Laserstrahlung ist unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen ungefährlich. Diese Laser verursachen auch bei längerer Bestrahlung keine Schäden am Auge, selbst dann nicht, wenn optische Instrumente (Lupen, Linsen, Teleskope) in den Strahlengang gehalten werden. Der GZS im sichtbaren Bereich ist wellenlängenabhängig und beträgt von 39 µW im blauen bis 0,39 mW im roten Wellenlängenbereich. Beispiele für Laser der Klasse 1 sind gekapselte Laser, z.B. in CD-Playern, Laserdruckern und Scannern.

**Klasse 1M** Laser der Klasse 1M senden einen zugänglichen Strahl im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4 000 nm aus, der entweder diver-

gent verläuft oder aufgeweitet ist. Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente verkleinert wird. Dadurch unterscheidet sich ein Laser der Klasse 1M von einem Laser der Klasse 1. Strichcode-Lesegeräte, wie sie an der Supermarktkasse eingesetzt werden, sind Beispiele für Klasse 1M. (Abbildung 3)

**Klasse 2** Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Wellenlängenbereich. Sie ist bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer (bis 0,25 s) für das Auge ungefährlich. Dies gilt auch, wenn sich ein optisches Instrument im Strahlengang befindet. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereichs von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für die Klasse 1. Für Dauerstrichlaser der Klasse 2 beträgt der GZS 1 mW. Beispiele für Laser der Klasse 2 sind Messlaser, die in der Landvermessung eingesetzt werden, Laserwasserwaagen, Lichtschranken und Laserpointer (Abbildung 4).

**Klasse 2M** Laser der Klasse 2M senden einen zugänglichen Strahl im sichtbaren Wellenlängenbereich aus, der entweder divergent verläuft oder aufgeweitet ist. Er ist bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer (bis 0,25 s) für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente verkleinert wird. Sofern keine optischen Instrumente verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, besteht bei den Lasern der Klasse 2M eine vergleichbare Gefährdung wie bei den Lasern der Klasse 2. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereichs von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für die Klasse 1M. Ein Beispiel für die



Abbildung 3  
Strichcode-Lesegerät



Abbildung 4  
Laserpointer



Abbildung 5  
Nivellierlaser



**Abbildung 6**  
**Laserschneidanlage**

Abbildungen 3, 5 und 6:  
Berufsgenossenschaft der  
Feinmechanik und Elektro-  
technik (BGFE)

Laser der Klasse 2M sind Motivlaser.

**Klasse 3R** Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis  $10^6$  nm und ist gefährlich für das Auge. Für Dauerstrichlaser der Klasse 3R beträgt der GZS 5 mW im sichtbaren Wellenlängenbereich und das Fünffache des GZS der Klasse 1 für andere Wellenlängen. Beispiele für Laser der Klasse 3R sind Ziellaser für militärische Zwecke und Nivellierlaser (Abbildung 5).

**Klasse 3B** Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge, häufig auch für die Haut. Laser der Klasse 3B sind typischerweise Dauerstrichlaser mit einem GZS von 5 mW bis 500 mW. Beispiele für Laser der Klasse 3B sind Show- und Disco-Laser sowie Laser für kosmetische Anwendungen.

**Klasse 4** Die zugängliche Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die

Haut. Auch diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Die Laserstrahlung kann Brand- und Explosionsgefahr verursachen. Lasereinrichtungen der Klasse 4 sind Hochleistungslaser, die GZS im sichtbaren Wellenlängenbereich von mehr als 500 mW haben. Beispiele hierfür sind Materialbearbeitungslaser (z.B. Laserschweiß- oder -schneideanlagen, Abbildung 6), Forschungslaser, Laser für medizinische Anwendungen sowie Show- und Disco-Laser. Fast alle Lasersysteme, die in der medizinischen Therapie für die Koagulation, Vaporisation, Ablation und Disruption von Gewebe eingesetzt werden, gehören zur Klasse 4.

## Welchen Schutz gibt es?

Aufgrund der biologischen Wirkungen der Laserstrahlung sind Gefährdungen nicht auszuschließen. Die notwendigen Schutzmaßnahmen hängen sowohl von der Klasse der Laser-Einrichtung als auch von der Anwendung ab. Möglich sind technische, bauliche, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen, wobei die technischen und baulichen Maßnahmen vorrangig sind, weil sie Gefährdungen für Nutzer und Unbeteiligte von vornherein vermeiden können. Verantwortlich für die Einhaltung der Schutzmaßnahmen ist grundsätzlich der Betreiber der Lasereinrichtung.

**Technische Schutzmaßnahmen** sind z.B.

- der Einbau eines Schlüsselschalters, um die Nutzung nur berechtigten Personen zu gestatten,
- eine Emissionsanzeige, die deutlich anzeigt, wenn der Laser in Betrieb ist,
- eine Überwachungseinrichtung, die z.B. den Zugang zum gefährdeten Bereich überwacht.

**Bauliche Maßnahmen** bestehen etwa aus

- Abschirmungen des Laserbereichs,
- einer regelbare Beleuchtung, z.B. bei Justierarbeiten,
- Betriebsanzeigen an den Zugängen.

**Organisatorische Maßnahmen** beinhalten z.B.

- die Unterweisung der Mitarbeiter,
- die Benennung eines Laserschutzbeauftragten,
- die Reglementierung des Zugangs zum Laserbereich.

Personen, die sich im Bereich von Laserstrahlung aufhalten, müssen durch technische, bauliche oder organisatorische Maßnahmen geschützt sein. Können die Grenzwerte auf diese Weise nicht eingehalten werden, muss der Betreiber eine geeignete persönliche Schutzausrüstung wie Laserschutzbrille, Schutzhandschuhe und Schutzkleidung zur Verfügung stellen.

# Untersuchungen zum Lidschlussreflex und zu Abwendungsreaktionen des Menschen gegenüber sichtbarer Laserstrahlung



**Abbildung 7**  
Ein Proband vor dem Messaufbau bei den Lidschlussreflexuntersuchungen.

Der Lidschlussreflex und Abwendungsreaktionen sind ein wichtiger Bestandteil des Sicherheitskonzeptes beim Umgang mit Lasern der Klasse 2. Beim Einsatz eines Lasers dieser Klasse, dessen Dauerstrichleistung auf 1 mW begrenzt ist, wird ein thermischer Schaden der Netzhaut vermieden, wenn die Bestrahlungsdauer des Laserstrahls auf das Auge kürzer als 0,25 s (250 ms) ist. Es wird unterstellt, dass der Augenschutz durch den Lidschlussreflex gewährleistet ist, da dieser innerhalb von 250 ms erfolgt.

Bereits in den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts haben Geratewohl und Strughold (1953) den menschlichen

Lidschlussreflex bei sehr grellen Blitzen, wie sie bei einer Atombombenexplosion auftreten können, untersucht. Bei diesen Experimenten ergab sich ein Mittelwert der Lidschlussreflexzeit von 350 ms, wenn die Probanden nicht direkt in die Lichtquelle blickten. Etwa 19% zeigten dabei jedoch keine Reaktion. In weiteren Experimenten beim direkten Blick in die Lichtquelle verkürzten sich die Zeiten auf Mittelwerte um 180 ms bzw. 255 ms.

Die normative Festlegung für Laserstrahlung auf 250 ms als Lidschlussreflexzeit erfolgte später ohne weitere Untersuchungen und wurde nicht in Frage gestellt, bis die Untersuchungen von Reidenbach und Wagner (1999) mit einem kommerziellen Fotoblitz zeigten, dass zwischen 10% und 20% der Probanden nicht mit einem Lidschlussreflex auf das Anblitzen reagierten. Die Frage, ob der Lidschlussreflex einen ausreichenden Schutz vor Laserstrahlen eines Lasers der Klasse 2 bietet, sollte in dem Forschungsprojekt ›Überprüfung der Laserklassifizierung unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes‹ beantwortet werden (Reidenbach, Dollinger und Hofmann [2003]), das von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin initiiert wurde.

## Projekt ›Lidschlussreflex‹

In dem Forschungsprojekt ›Überprüfung der Laserklassifizierung unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes‹ sollte überprüft werden, ob der Lidschlussreflex als ausreichender Schutzmechanismus bei Expositionen durch Laserstrahlung entsprechend der Laserklasse-2-Bedingungen angesehen werden kann. Hierfür wurde ein transportabler Messaufbau realisiert, der sowohl im

Labor als auch bei Reihenuntersuchungen in Feldversuchen eingesetzt werden konnte. Bei den Untersuchungen wurde der Laserstrahl über einen Spiegel und eine Linse zentral in das Auge des Probanden gelenkt. Der Kopf der Probanden war durch Kinnauflage und angelegte Stirn fixiert (Abbildung 7).

Im Projekt wurde untersucht, ob die Häufigkeit des Lidschlussreflexes von der Wellenlänge, dem Geschlecht und Alter sowie dem Tragen einer Brille abhängig ist. Es wurde außerdem untersucht, ob eine Abhängigkeit des Lidschlussreflexes von der Fleckgröße des Bildes auf der Netzhaut besteht. Aus diesem Grund wurden Untersuchungen mit Licht emittierenden Dioden (LEDs) durchgeführt. Weil LEDs ausgedehnte Quellen sind, ist ein durch LED-Bestrahlung erzielter Fleck auf der Netzhaut erheblich größer als bei der Laserbestrahlung. Zur Fleckengrößenabhängigkeit des Lidschlussreflexes wurden auch Versuche mit einem durch Linsen-fokussierung unmittelbar vor der Hornhaut stark divergenten Laserstrahl sowie mit einem durch einen Lichtwellenleiter parallel austretenden Laserstrahl gleicher Wellenlänge und Leistung durchgeführt.

Als Laser wurden ein frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser (532 nm), ein He:Ne Laser (632,8 nm) sowie zwei Laserdioden, GaAsP:N (635 nm) und GaAlAs (670 nm), verwendet. Bei den zwei verwendeten LEDs lagen die dominanten Wellenlängen bei 468 nm und 615 nm. Es wurde festgestellt, dass die MZB-Werte nicht überschritten werden konnten.

Insgesamt wurden 1193 Probanden mit Laserstrahlung sowie 261 mit LEDs bestrahlt. Bei der

Laserstrahlung trat nur bei 17 % der Probanden der Lidschlussreflex auf; bei LED-Strahlung waren es 23 %. Es wurde keine unmittelbare Abhängigkeit von Geschlecht und Alter festgestellt. Ebenso scheint das Tragen einer Brille keinen Einfluss auf das Auftreten des Lidschlussreflexes zu haben. Es ließ sich jedoch eine Abhängigkeit von der Wellenlänge der Laserstrahlung feststellen: die Häufigkeit des Lidschlussreflexes zeigte einen Anstieg mit abnehmender Wellenlänge im Bereich von 670 nm bis 532 nm.

Bei den Untersuchungen mit LEDs sowie mit einem divergenten bzw. parallel austretenden Laserstrahl wurde festgestellt, dass die Häufigkeit des Lidschlussreflexes mit der Fleckgröße auf der Netzhaut zunimmt. Eine mögliche Erklärung könnte darin liegen, dass das größere Bild auf der Netzhaut mehr Sehzellen stimuliert. Ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse bei der LED-Bestrahlung der Netzhaut mit denen der Bestrahlung mit Lasern der Klasse 2 unterstützen diese Erklärung. Das gilt auch für die oben erwähnte Untersuchung von Reidenbach und Wagner (1999), bei der zur Stimulation des Lidschlussreflexes ein konventioneller Fotoblitzen benutzt wurde. Dabei fand eine großflächige Stimulation der Sehzellen statt, auf die eine deutlich größere Zahl von Probanden mit dem Lidschlussreflex reagierte.

Die Tatsache, dass in diesen Untersuchungen unter typischen Laserklasse-2-Bedingungen nur 17 % der Probanden mit einem Lidschlussreflex reagierten, zeigt, dass dieser Reflex als einziger Schutzmechanismus bei Expositionen durch Laserstrahlung dieser Klasse keineswegs ausreicht.

## Projekt ›Abwendungsreaktionen‹

In dem Folgeprojekt ›Abwendungsreaktionen des Menschen gegenüber sichtbarer Laserstrahlung‹ sollte geklärt werden, ob die Augensicherheit bei der Exposition durch Laserstrahlung bei Lasern der Klasse 2 über Abwendungsreaktionen gewährleistet ist. Mit Abwendungsreaktionen sind alle natürlichen Reaktionen gemeint, die das Auge vor Gefährdungen durch einen Laser der Klasse 2 innerhalb von 250 ms schützen. Insbesondere geht es dabei um Augenlidbewegungen, die willkürlich (Lidschluss) oder unwillkürlich (Lidschlussreflex) die Pupille des Auges bedecken, sowie um Kopfbewegungen und Zucken (d.h. um einen nicht vollständig ausgeführten Lidschlussreflex). Zur Durchführung der Untersuchungen unter Bedingungen der Laserklasse 2 wurden drei verschiedene Versuchsanordnungen aufgebaut: Ein Laserlinien-Scanner, ein Zielsystem mit optischer Bank und Lochblendenjustierung sowie ein Eye-Tracking-System. Anders als bei den Lidschlussreflexuntersuchungen sollte bei diesen Untersuchungen die Bewegung des Kopfes nicht eingeschränkt werden. Die Untersuchungen wurden im Labor und in Reihenuntersuchungen durchgeführt und mittels Videokamera dokumentiert. Dabei wurde sichergestellt, dass die MZB-Werte nicht überschritten werden konnten.

Beim Laserlinien-Scanner wurde der Laserstrahl über den Kopf des Probanden gescannt, entweder mit dem vertikalen oder dem horizontalen Strahlverlauf (Abbildung 8). Es wurde ein frequenzverdoppelter Nd:YAG Laser (532 nm) benutzt, da sich bei dieser Wellenlänge die größte Häufigkeit

bei den Lidschlussreflexen gezeigt hatte. Beim Zielsystem mit der optischen Bank hatte die Testperson die Aufgabe, durch zwei hintereinander positionierte Lochblenden das Zentrum einer Scheibe ›einzustellen‹. Als Lichtquelle wurde ein Diodenlaser bei 635 nm benutzt. Beim Eye-Tracking-System sollte die Testperson versuchen, über ihre Kopf- und Augenbewegungen ein grünes Kreuz (Reflex des Auges) auf dem Bildschirm mit einem an fester Stelle befindlichen roten Kreuz in Deckung zu bringen. So wurde die Person mit einer Aufgabe beschäftigt, bei der sie sich konzentrieren musste; diese Situation entsprach derjenigen, die bei Mess-tätigkeiten vorkommt. In dieser Beschäftigungsphase erfolgte die Exposition durch einen Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 635 nm.

Von insgesamt 2 022 Probanden reagierten 17 % beim Auftreffen eines Laserstrahls der Klasse 2 mit einem Lidschlussreflex/Lidschluss. Mit anderen Abwendungsreaktionen reagierten von 829 Probanden nur 6 %. Damit haben die Untersuchungen gezeigt, dass Lidschlussreflex und Abwendungsreaktionen keine ausreichende Sicherheit des Auges beim Umgang mit Lasern der Klasse 2 gewährleisten können.

Auch in diesem Projekt wurde noch einmal unter LED-Bedingungen bestätigt, dass die Häufigkeit des Lidschlussreflexes mit der Fleckgröße auf der Netzhaut zunimmt. Die LEDs kamen sowohl als Einzelelemente als auch als LED-Array zum Einsatz, das aus 80 Einzel-LEDs bestand und eine blitzlichtähnliche Situation schaffen sollte. Mit 29 % lag der Anteil der Lidschlussreflex- bzw. Lidschlussreaktionen deutlich höher als bei der Laserstrahlung. Nur 7 % der Probanden zeigten

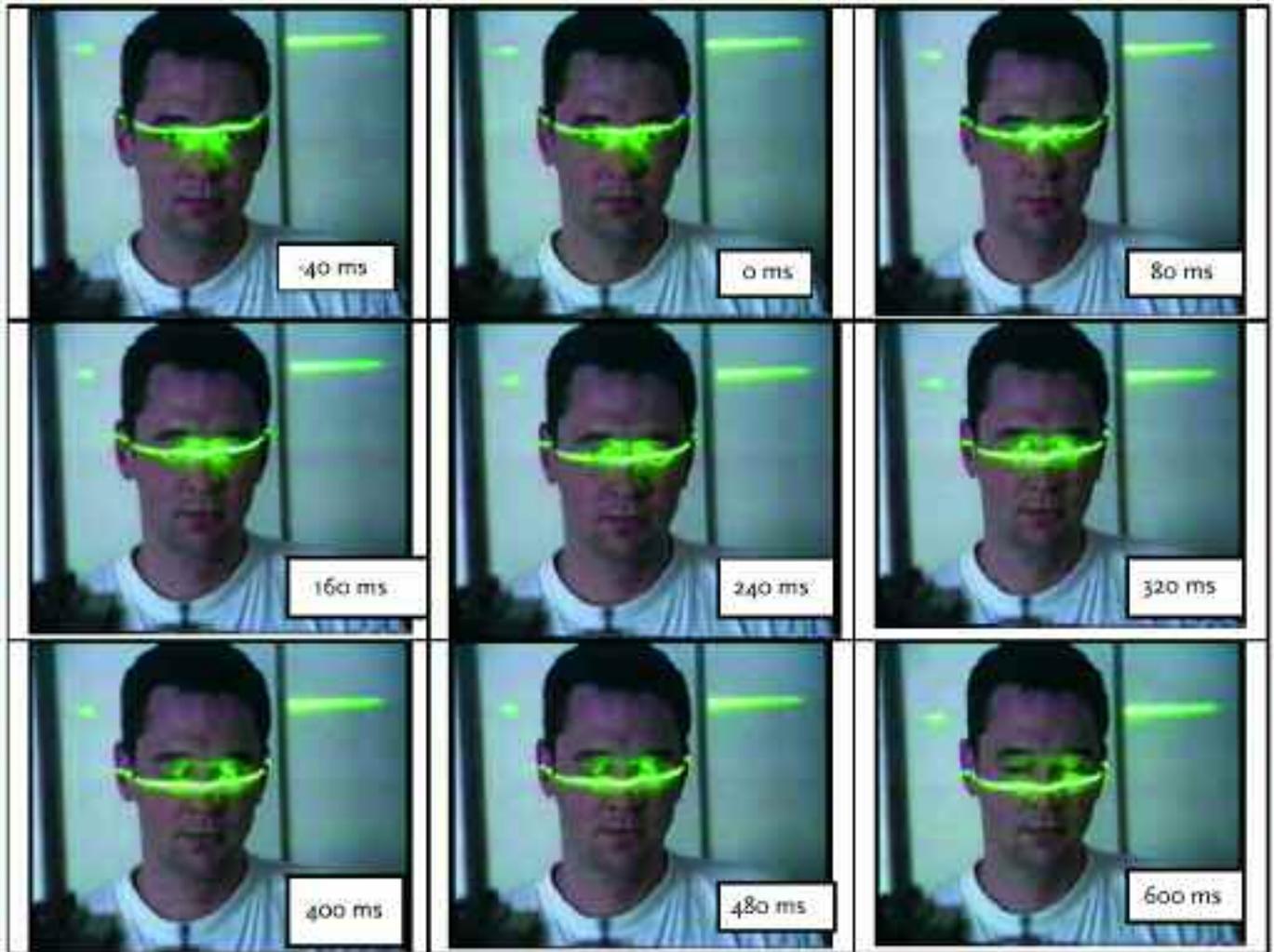


Abbildung 8  
Eine Videobildersequenz bei den Untersuchungen mit dem Laserscanner:  
Beispiel für eine vertikale Scanbewegung der Laserlinie (aus Reidenbach, Dollinger und Hofmann [2005]).



Abwendungsreaktionen.

Ferner wurde in diesem Projekt untersucht, ob eine bewusste aktive Schutzreaktion infolge einer zuvor erfolgten Unterweisung den nicht automatisch einsetzenden Schutz bei einer Laserklasse-2-Exposition gewährleisten kann. Eine aktive Schutzreaktion ist das bewusste, aktive Schließen der Augen und das gleichzeitige Abwenden des Kopfes (Abbildung 9). Nach einer Aufklärung des Probanden vor Versuchsbeginn zeigten 34 % einen Lidschluss sowie 18 % eine Abwendungsreaktion, wohingegen es bei denen, die vorab nicht aufgeklärt wurden, nur 14 % bzw. 2 % waren. Etwa 80 % der Probanden waren innerhalb einer Sekunde geschützt. Es konnte somit gezeigt werden, dass der Schutz vor einer Laserstrahlexposition mit Lasern der Klasse 2 durch aktive Schutzreaktionen deutlich gesteigert werden kann.

Die Autoren der Studie schlagen als Ergebnis ein Konzept der aktiven Schutzreaktionen vor, das zu einem angemessenen Schutz vor einer möglicherweise gefährlichen Belastung beitragen soll. Zukünftig sollte von aktiven Schutzreaktionen ausgegangen werden statt auf physiologische Reaktio-

nen wie Lidschlussreflex und Abwendungsreaktionen zu setzen. In Unterweisungen sollte – als organisatorische Maßnahme – empfohlen werden, die Augen aktiv zu schließen und sich vom Laserstrahl abzuwenden.

Aufgrund der Ergebnisse aus den zwei vorgestellten Projekten halten es die Autoren für notwendig, die Klassifizierung von Lasern der Klasse 2 und das damit verbundene Sicherheitskonzept, das auf der Existenz von Abwendungsreaktionen einschließlich des Lidschlussreflexes beruht, zu modifizieren, damit ein möglichst hohes Maß an Sicherheit im Umgang mit diesen Lasern sowohl am Arbeitsplatz als auch im privaten Bereich gewährleistet ist.

### Auswirkungen der Untersuchungen zum Lidschlussreflex und zu Abwendungsreaktionen

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Projekte waren überraschend und haben verschiedene Auswirkungen auf die Regelsetzung zur Lasersicherheit gehabt. Nachdem die Ergebnisse aus dem Projekt ›Überprüfung der Laserklassifizierung unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes‹ veröffentlicht worden waren, wurde in der BGI 832 ›Betrieb von Lasereinrichtungen‹ vom April 2003 erstmals formuliert: ›Von dem Vorhandensein des Lidschlussreflexes zum Schutz der Augen darf in der Regel nicht ausgegangen werden. Daher sollte man, falls Laserstrahlung der Klasse 2 ins Auge trifft, bewusst die Augen schließen oder sich sofort abwenden‹. Der Fachverband für Strahlenschutz hat sich in der Neuausgabe seines ›Leitfadens zur Laserstrahlung‹ (2005) der Formulierung in der BGI 832 angeschlossen.

**Abbildung 9**  
Eine Videosequenz, bei der die Probandin eine aktive Schutzreaktion zeigt (aus Reidenbach, Dollinger und Hofmann [2005]).

Die Norm DIN EN 60825-1 (VDE 0837 Teil 1):  
2001-11 beschreibt Laser der Klasse 2 dagegen  
noch als solche, bei denen *›der Schutz der Augen  
üblicherweise durch Abwendungsreaktionen einschließ-  
lich des Lidschlussreflexes bewirkt wird‹*. Für die natio-  
nale Norm zuständige DKE (Deutsche Kommission  
Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik) hat  
aufgrund der Untersuchungen zum Lidschluss-  
reflex bereits im Jahre 2001 im Vorwort zur DIN  
EN 60825-1 (VDE 0837 Teil 1):2001-11 festgehalten:  
*›In der Norm wird bei Lasern der Klasse 2 von Abwen-  
dungsreaktionen gesprochen, die den Lidschlussreflex  
mit einschließen. Zurzeit laufende Untersuchungen in  
Deutschland zum Lidschlussreflex ergaben, dass dieser  
in vielen Fällen nicht eintritt.‹* Gleichzeitig wird aber  
darauf hingewiesen, dass die Unfallverhütungs-  
vorschrift (UVV) *›Laserstrahlung‹* BGV B 2, die den  
Lidschlussreflex als ausreichenden Schutz benennt,  
Vorrang vor den Anforderungen dieser Norm hat.  
Damit stehen derzeit Rechtsvorschriften wie die  
UVV *›Laserstrahlung‹* neuen Erkenntnissen aus der  
Forschung entgegen.

# Verhaltensregeln beim Umgang mit Lasern

Laser der Klasse 2 wie Laserpointer, Laserwasserwaagen und Justierlaser haben sich im privaten Bereich stark verbreitet. Sie werden von Personen benutzt, die in den meisten Fällen nichts über die biologische Wirkung von Laserstrahlung und die damit verbundenen Gefährdungen wissen. Um so wichtiger ist die Erkenntnis aus den beiden Studien, dass es keinen physiologisch bedingten Schutzmechanismus (Abwendungsreaktionen und Lidschlussreflex) gibt, der bei einem direkten Blick in einen Laserstrahl der Klasse 2 sicher vor einem Augenschaden schützen kann. Für den privaten Bereich sind in den Gebrauchsanweisungen daher die klassenspezifischen Verhaltensweisen und Handlungsanleitungen entsprechend dem Stand der Technik und Wissenschaft klar und unmissverständlich zu benennen (Stellungnahme zur Risikobewertung von Lasern und LED der Klassen 2, 2M und 3A im sichtbaren Wellenlängenbereich (400 nm bis 700 nm), 2005). Alle professionellen Nutzer von Lasern der Klassen 1M, 2 und 2M sowie Verwender von Laser-Justierbrillen müssen über die Risiken eines direkten Blicks in den Laserstrahl unterwiesen werden. Laser-Justierbrillen schützen die Augen bei der Positionierung von Lasern, indem sie die jeweilige Laserstrahlung auf Werte der Klasse 2 reduzieren. Damit sind die Be-

nutzer einer Laserstrahlung der Klasse 2 ausgesetzt, gegen die es keine ausreichende Sicherheit durch Lidschluss und Abwendung gibt. Gerade bei Justierarbeiten ist aber die Wahrscheinlichkeit eines direkten Blicks in den Laserstrahl relativ hoch. Deshalb ist hier wie auch grundsätzlich die Beachtung der folgenden Regeln für die Gesundheit besonders wichtig:

- **Niemals den Laserstrahl in die Augen anderer Personen richten!**
- **Niemals absichtlich in den direkten Strahl blicken!**
- **Falls Laserstrahlung ins Auge trifft, sind die Augen bewusst zu schließen, und der Kopf ist sofort aus dem Strahl zu bewegen.**
- **Bei der Verwendung von Lasern der Klassen 1M und 2M dürfen keine optischen Instrumente zur Betrachtung der Strahlungsquelle verwendet werden.**

## Literatur

**BG-Information 832:** ›Betrieb von Lasereinrichtungen. Anwendung der Unfallverhütungsvorschrift ›Laserstrahlung‹ (BGV B 2) auf neue Laserklassen und MZB-Werte nach DIN EN 60825-1 (VDE 0837 Teil 1):2001-11‹, Herausgeber: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Carl Heymanns Verlag, Köln (2003)

**DIN EN 60825-1 (VDE 0837 Teil 1):2001-11** ›Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien‹ (IEC 60825-1:1993 + A1:1997 + A2:2001); Deutsche Fassung EN 60825-1:1994 + A1:2002 + A2:2001‹; DIN und VDE, Beuth Verlag, Berlin

**Fachverband für Strahlenschutz** (M. Brose, H. Brüggemeyer, E.W. Kreutz, G. Ott, H.-D. Reidenbach und E. Sutter: Laserstrahlung (Leitfaden ›Nichtionisierende Strahlung‹), FS2005-94-AKNIR, Köln (2005)

**S.J. Geratewohl and H. Strughold:** ›Motoric response of the eyes when exposed to light flashes of high intensities and short durations‹, Journal of Aviation Medicine 24, 200–207 (1953)

**IEC 60825-1:1993+A1:1997+A2:2001**, Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide.

**T.H. Maiman:** ›Stimulated Optical Radiation in Ruby.‹ Nature 187, 493-494 (1960)

**H.-D. Reidenbach und A. Wagner:** ›Ein Beitrag zum Lidschlussreflex bei inkohärenter optischer Strahlung.‹ In: 31. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, 27. September – 1. Oktober 1999, Köln, NIR Band II, 935–938 (1999)

**H.-D. Reidenbach, K. Dollinger und J. Hofmann:** Überprüfung der Laserklassifizierung unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes‹, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 985, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhafen (2003)

**H.-D. Reidenbach, J. Hofmann und K. Dollinger:** ›Abwendungsreaktionen des Menschen gegenüber sichtbarer Laserstrahlung‹, Abschlussbericht zum Projekt Fb 1984 (2005)

**Stellungnahme des Fachausschusses ›Elektrotechnik‹:** ›Schutz vor Laserstrahlung‹, Amtliche Mitteilungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 1, 10–11 (2002)

**Stellungnahme zur Risikobewertung von Lasern und LED** der Klassen 2, 2M und 3A im sichtbaren Wellenlängenbereich (400 nm bis 700 nm), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2005)

**E. Sutter:** ›Schutz vor optischer Strahlung‹, VDE-Verlag, Berlin (2002)

**Unfallverhütungsvorschrift ›Laserstrahlung‹** (BGV B 2 (VGB 93)), Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Carl Heymanns Verlag, Köln (1988)

## Impressum

### Damit nichts ins Auge geht...

Schutz vor Laserstrahlung

Autorin:

Dr. Ljiljana Udovicic, BAuA

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Friedrich-Henkel-Weg 1–25, D-44149 Dortmund-Dorstfeld

Telefon 0231.9071-0 [www.baua.de](http://www.baua.de)

Gestaltung: GUD – Helmut Schmidt, Braunschweig

Foto: FOX-Foto – Uwe Völkner, Lindlar

Herstellung: ????????????

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung  
der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

1. Auflage, September 2005

ISBN 3-88261-497-8

ISBN 3-88261-497-8

**baaa:**  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz  
und Arbeitsmedizin