

solchen Überraschungen schützen. Wer die elektrischen Leitungen seines Kraftfahrzeuges, insbesondere die ständig unter Spannung stehenden Batteriekabel, soweit sie — wie auf Bild 12 ersichtlich — leicht zugänglich sind, laufend auf ordnungsgemäßen Zustand und Befestigung überwacht, braucht allerdings nicht so leicht mit einem gefährlichen Spritzfeuer zu rechnen. Dies ist auch bequemer, als vor und nach dem Abstellen des Motors den Hauptschalter zu betätigen.

In Verbrennungskraftmaschinen, die für längere Zeit stillgesetzt werden — wie Mähdrescher — sollten die Batterien abgeklemmt und zur laufenden Wartung ausgebaut werden. Auch bei diesen Maschinen sollte mehr als bisher auf die ordnungsgemäße Befestigung der Batteriekabel geachtet werden;

denn wiederholt sind hierdurch Mähdrescher auch während des Einsatzes auf dem Felde in Brand geraten.

Die Brandsicherheit gegen Stromwärme ist meines Erachtens wirkungsvoller, wenn von Fahrzeugherstellern und in Reparaturwerkstätten von vornherein geeignete Vorkehrungen getroffen werden, Isolationsfehler an Leitungen mit nachfolgendem Spritzfeuer weitgehend auszuschließen, als die laufende Überwachung mangelhafter elektrischer Anlagen Hauptschaltern zu überlassen, deren Betätigung unsicher bleibt und in vielen Fällen z. B. im Straßenverkehr nicht durchführbar ist. Neben der Auswahl geeigneten Leitungsmaterials mit den erforderlichen Schutzschläuchen bzw. -Rohren ist mehr als bisher auf eine sinnvolle Leitungsführung und eine dauerhafte und kurzschlußfeste Befestigung der

Leitungen, insbesondere der Anschlußkabel, zu achten.

Das sollte auch bedacht werden bei den laufenden Inspektionen der Trecker, die in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

#### Schrifttum

1. Bosch, Technische Unterrichtung Batterien VDT-UBE 410/1 Schaltzeichen und -pläne der Kraftfahrzeuge VDT-UBE 001/10 Bilder 1, 4, und 14
2. Blumhagen, H.-J., Grundlagen der Kriminalistik, Bd. 8/2/1973 Steintor-Verlag, Hamburg
3. Dahlberg, H., Wenn es im Wagen brennt, Kieler Nachrichten, 11. 3. 1961

# Laserstrahlen, Gefahren und Schutzmaßnahmen

Walter Klost

## Erzeugung und Anwendung von Laserstrahlen

Laser ist eine Abkürzung des englischen Ausdrucks „Light amplification by stimulated emission of radiation“. Laserlicht ist ein streng einfarbiges Licht. Der zeitliche Beginn und die räumliche Ausdehnung sind für alle einzelnen Schwingungen gleich. Das Licht ist kohärent. Sonnenlicht oder künstliches Licht besteht dagegen aus verschiedenen Farben (Frequenzen). Ferner bestehen räumliche und zeitliche Unterschiede zwischen den einzelnen Schwingungen. Einige Werte für Wellenlängen und Frequenzen des natürlichen Lichts und des Laserlichts werden in Tabelle 1 angegeben.

Laserlicht ist wesentlich energiereicher und läßt sich besser bündeln als Sonnenlicht oder künstliches Licht. Licht entsteht durch Energievorgänge in der Elektronenhülle der Atome. Bei der Erzeugung von Laserlicht wird dieser Vorgang stimuliert und gesteuert.

Festkörper-Laser arbeiten impulsförmig, während Gas-Laser eine kontinuierliche Strahlung abgeben.

Helium-Neon-Laser gestatten die kontinuierliche Abgabe einer sehr gut sichtbaren Lichtstrahlung mit geringer Leistung (z. B. 1 mW und 10 mW). Dadurch sind diese Strahlungsquellen sehr gut geeignet für Demonstrations- und Unterrichtszwecke sowie für die Erzeugung von Leitstrahlen im Baubetrieb und besonders beim Tunnelbau. Abbildung 2 zeigt das Prinzip der Laserlichtentstehung im Helium-Neon-Laser.

Laserstrahlen lassen sich verwenden beispielsweise für die genaue Längenmessung, für die Holographie, für die Bearbeitung, wie z. B. Bohren, Schneiden, Schweißen, Trennen, als unblutiges steriles Messer in der Medizin, als Hilfsmittel bei Netzhautoperationen und für viele andere technische und wissenschaftliche Zwecke.

Hersteller von Laser-Schutzbrillen schätzen, daß zur Zeit in Deutschland weit mehr als 1000 Laser-Geräte in Betrieb sind. Dabei sind jedoch die zahlreichen Gas-Laser mit sehr geringen Leistungen für Meß- und Demonstrationszwecke noch nicht berück-

sichtigt. Abbildung 3 zeigt ein Siemens-Baulasersystem LG 68 für Anwendungen im Hoch- und Tiefbau und für die automatische Steuerung von Baumaschinen. Der Laser LG 68 liefert eine mit 17,75 KHz modulierte Wechselleistung von 0,2 mW bei der Wellenlänge 632,8 nm. Die mittlere Leistung beträgt 1 mW. Damit ist eine Arbeitsentfernung bis zu 400 m erzielbar.

## Gefahren durch Laserstrahlen

Laserlicht im sichtbaren Bereich wird durch das menschliche Auge praktisch nicht absorbiert. Die stark gebündelte Strahlung wird beim direkten Blick auf eine Laserquelle auf der Netzhaut konzentriert und kann dort sehr leicht irreparable Schäden hervorrufen. Netzhautschäden bedeuten partiellen oder totalen Verlust der Sehfähigkeit. Die Schädigung kann ohne besondere Wahrnehmung oder Schmerz eintreten. Aus diesem Grunde müssen Sicherheitsmaßnahmen das Ziel haben, direkte und reflektierte Strahlung vom Auge fernzuhalten.

Die Berufsgenossenschaftlichen Vorschriften geben Richtwerte für die höchst zulässige Bestrahlung am Auge

Walter Klost,  
Hauptsicherheitsingenieur, Berlin

(Hornhaut) im sichtbaren Spektralbereich und im angrenzenden Infrarot und Ultraviolett an (Wellenlänge 200

bis 1400 nm). Diese Werte berücksichtigen die Angaben verschiedener internationaler Gremien.

Riesenimpulsbetrieb 1 ns–1 µs	Normaler Impulsbetrieb > 1 µs–0,1 s	Dauerbetrieb > 0,1 s
$5 \cdot 10^{-8} \text{ J/cm}^2$	$5 \cdot 10^{-7} \text{ J/cm}^2$	$5 \cdot 10^{-6} \text{ W/cm}^2$

Das menschliche Auge empfindet als	Wellenlänge in $10^{-6} \text{ mm}$	Frequenzen in $10^{12} \text{ Hz}$
Violett .....	400–420	750–715
Indigo .....	420–460	715–650
Blau .....	460–490	650–610
Grün .....	490–575	610–520
Gelb .....	575–585	520–510
Orange .....	585–650	510–460
Rot .....	650–750	460–400
Rubin-Laser-Licht .....	694,3	432
Helium-Neon-Laser-Licht .....	632,8	478

Abb. 1. Wellenlänge für sichtbares Licht und sichtbare Laserstrahlen.

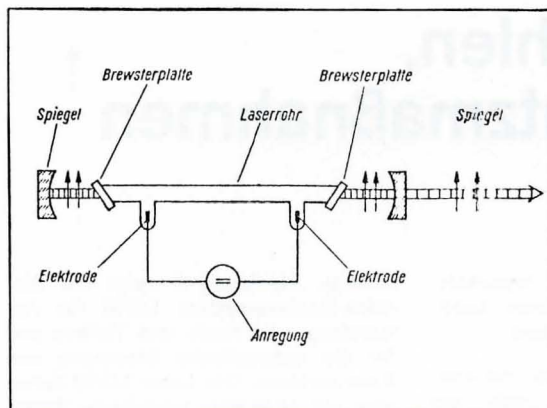


Abb. 2. Prinzip eines Helium-Neon-Lasers.

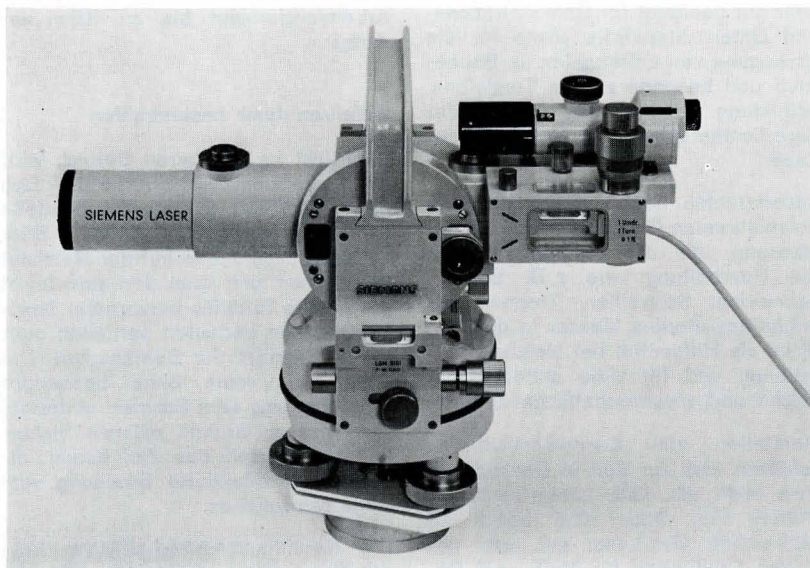


Abb. 3. Siemens-Baulasersystem LG 68.

Für kürzere Zeitabschnitte sind Richtwerte noch nicht bekannt. Nach dem Stand der Erkenntnisse sind sie niedriger anzusetzen als  $5 \cdot 10^{-8} \text{ J/cm}^2$ . Die Strahlung des  $\text{CO}_2$ -Laser (10 600 nm) gilt als gesundheitsgefährlich, wenn bei Dauerbetrieb die Leistungsdichte  $0,1 \text{ W/cm}^2$  oder bei Impulsbetrieb die Energiedichte  $0,01 \text{ J/cm}^2$  überschreitet.

Für die menschliche Haut sind selbstverständlich größere Energiebeträge zulässig. Als vorläufige Richtwerte gelten bei kontinuierlich arbeitenden Lasern  $0,1 \text{ W/cm}^2$  oder bei Lasern mit Impulsbetrieb  $0,01 \text{ J/cm}^2$ .

Die Angaben für die Leistungsdichte ( $\text{W/cm}^2$ ) bei kontinuierlich strahlenden Geräten und für die Energiedichte ( $\text{J/cm}^2$ ) bei Impulslasern beziehen sich auf die Strahler selbst. Sie stellen ein Maß für die Gefährdung dar.

Die Angaben über Bestrahlungsstärke ( $\text{W/cm}^2$ ) bei kontinuierlich strahlenden Lasern und über Bestrahlung ( $\text{J/cm}^2$ ) bei Impulslasern beziehen sich auf die bestrahlten Objekte. Als Maß für die Wirkung der Strahlung wird hier das Verhältnis der auftreffenden Strahlungsleistung bzw. der Impulsenergie zu der bestrahlten Fläche betrachtet.

Die oben angeführten Begriffe und Größen werden in der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlen“ benutzt und den Sicherheitsmaßnahmen zugrunde gelegt.

Die Benutzung von Laserstrahlen zum Bohren, Schmelzen, Schweißen und Trennen gibt einen deutlichen Hinweis auf die Möglichkeit der Entzündung brennbarer Stoffe. Der direkte Laserstrahl kann je nach Leistungs- oder Energiedichte selbst bei Entfernungen, die beispielsweise über die Abmessungen eines Labors hinausgehen, feste Stoffe, Gase oder Dämpfe brennbarer Flüssigkeiten entzünden. Aus diesem Grunde sind bei Versuchen mit freistrahlem Laserlicht auch Maßnahmen zur Verhütung von Bränden notwendig. Bei Bearbeitungslasern ist der energiereiche Lichtstrahl in der Regel völlig abgedeckt. Bei Lasern zur Entfernungsmessung oder bei der Benutzung als Leitstrahl kann die Energie soweit verringert werden, daß normalerweise Entzündungen von brennbaren Stoffen nicht möglich sind.

### Sicherheitsmaßnahmen

Die wichtigsten Sicherheitsmaßnahmen werden nachstehend angeführt:

**Anzeige:** Die erstmalige Inbetriebnahme eines Lasers ist sowohl der zuständigen Berufsgenossenschaft als auch der Gewerbeaufsicht anzuzeigen.

**Laserschutz-Beauftragter:** Für den Betrieb der Lasergeräte muß ein sachkundiger Laserschutz-Beauftragter bestellt werden, der für den unfallsicheren Betrieb zu sorgen hat.

**Geräte:** Laser-Geräte müssen den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen. Alle elektrischen Einrichtungen müssen die Forderungen der VDE-Bestimmungen erfüllen. Einschalter sind gegen unbeabsichtigte Betätigung zu sichern. Der Einschaltzustand ist durch Warn- oder Kontrolllampen anzuzeigen. Blitzlichtlampen sind so abzuschirmen, daß keine Gefahr durch Blendung oder Bruch der Röhren entstehen kann. Die bei Edelgas-Ionen-Lasern (Argon, Krypton) vom Entladungsgefäß ausgehende UV-Strahlung ist abzuschirmen. Für jedes Gerät muß eine Betriebsanleitung vorhanden sein. Werden energiereiche Laserimpulse für Versuchszwecke benutzt, so sind alle beteiligten oder anwesenden Personen vorher auf den Einschaltzeitpunkt des Gerätes hinzuweisen. Das Gerät soll einen möglichst festen Standort haben, so daß Schäden durch plötzliche Änderung der Strahlrichtung unmöglich sind. Bearbeitungslaser sind so zu gestalten, daß sowohl der direkte Strahl als auch reflektierte Strahlen vollständig abgeschirmt sind und daß keine Möglichkeit besteht, direkt in den Laserstrahl zu sehen. Mikroskope für die Kontrolle der Bearbeitungsstellen müssen so verriegelt sein, daß eine Benutzung nur bei ausgeschaltetem Laser oder über Schutzfilter möglich ist. Laser-Geräte sind periodisch zu überwachen.

**Laser-Geräte** dürfen nicht ohne Aufsicht betrieben werden, soweit sie nicht besonders gesichert sind. Bei der Benutzung als Leitstrahl ist der Laserstrahl so aufzufächern oder anderweitig zu schwächen, daß eine möglichst geringe Leistungsdichte übrigbleibt.

**Räume:** Die Räume oder Raumschnitte, in denen Laser-Geräte benutzt werden, sind abzugrenzen und mit dem in Bild 4 gezeigten Warnsymbol zu kennzeichnen. Gute allgemeine Beleuchtung ist empfehlenswert. Helles Licht in den Arbeits- und Laborräumen führt zu einer engen Pupillenöffnung beim menschlichen Auge. Dieser Umstand kann bei versehentlichen Reflektionen der Laserstrahlen von großem Vorteil sein, da durch enge Pupillen nicht so viel Licht in das Auge dringen kann. Alle blanken Flächen (z. B. Fenster, spiegelnde Tischbeläge, blanke Metallflächen an Geräten und Werkzeugen), die das Laserlicht reflektieren könnten, sind zu vermeiden oder abzudecken. Auch reflektierte Laserstrahlung kann gefährlich sein.

Leicht entzündliche feste Stoffe, Gase oder Dämpfe sind entweder aus den Räumen zu entfernen oder gegen versehentliche Bestrahlung zu sichern.

**Behrungen:** Die Mitarbeiter sind über die Eigenschaften der La-



Abb. 4. Warnschilder, Schrift schwarz, Grund gelb.

serstrahlung und die Benutzung der Geräte sowie über die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen wiederholt zu belehren. Nur unterwiesene und mit den Laser-Geräten vertraute Mitarbeiter dürfen solche Anlagen benutzen. Die Mitarbeiter sind besonders eindringlich darauf hinzuweisen, daß das Hineinschauen in den Laserstrahl unter allen Umständen vermieden werden muß. Genauso ist jede Bestrahlung anderer Körperteile zu vermeiden. Störungen an den Geräten oder mangelhaftes Funktionieren der Sicherheitseinrichtungen und Verriegelungen sind sofort dem Vorgesetzten zu melden. Die Belehrungen sind jährlich zu wiederholen.

**Ärztliche Überwachung:** Alle Personen, die mit Laserstrahlen arbeiten, sind dem Sicherheitsingenieur und dem Betriebsarzt zu melden. Jeder Mitarbeiter hat vor Beginn der Tätigkeit mit Laserstrahlen eine ärztliche Untersuchung und vor allem eine augenärztliche Kontrolle vornehmen zu lassen. Die Befunde der Augenuntersuchung sollen möglichst mit genauen Beschreibungen oder Skizzen der Netzhaut aufbewahrt werden. Die Augenuntersuchungen müssen jährlich wiederholt werden. Wird eine versehentliche Augenbestrahlung vermutet oder treten Nachbilder auf, so ist sofort ärztliche Hilfe in Anspruch zu nehmen. Für alle Beschäftigten, die ärztlich untersucht werden, ist eine Gesundheitskartei zu führen.

**Schutzbrillen:** Wenn komplette Abschirmungen des Laserstrahls nicht möglich sind und beispielsweise bei Versuchen Schutzbrillen getragen werden müssen, so sind geeignete Schutzgläser für diese Brillen vorzusehen. Es gibt ganz bestimmte Glasarten, die jeweils nur für bestimmte Wellenlängenbereiche wirksam sind.

Ferner geben die Hersteller die optische Dichte an. Dieser Wert (OD) ist der Logarithmus zur Basis 10 des Filterschwächungsfaktors.

Beispiel: Schwächungsfaktor =  $10^7$ , so ist die optische Dichte = 7.

Der erforderliche Schwächungsfaktor errechnet sich aus der Energie- beziehungsweise Leistungsdichte der Laserstrahlung, dividiert durch den Richtwert für die zulässige Bestrahlung.

Die Mitarbeiter sind über die begrenzten Schutzbereiche der Gläser eingehend zu unterrichten. Die Auswahl der Laser-Schutzbrille muß streng nach den Wellenlängen der Laserstrahlung erfolgen. Die Schutzbrillen müssen gekennzeichnet sein, so daß der Frequenzbereich, für welchen die Gläser ausreichende Schutzwirkung bieten, leicht abzulesen ist.

#### Literatur:

- Unfallverhütungsvorschrift VBG 93 „Laserstrahlen“ vom 1.4.1973
- Rauscher, G.: Neuzzeitliche Fertigungsverfahren mit Laserstrahlen. Werkstattstechnik 59 (1969) Heft 1, S. 6
- Röss, D.: Laser — Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. Arbeitsschutz, Facheil des Bundesarbeitsblattes (1970) Heft 5, S. 102
- Florian, H. J.: Laserstrahlen in der Medizin und Schädigungsmöglichkeiten aus ärztlicher Sicht. Arbeitsschutz, Facheil des Bundesarbeitsblattes (1970) Heft 5, S. 109
- Renz, K.: Anwendung der Laserstrahlen in der Technik, Schutzmaßnahmen und Schutzvorrichtungen. Arbeitsschutz, Facheil des Bundesarbeitsblattes (1970) Heft 5, S. 116
- Dettmers, D.: Arbeitsschutz bei der Laser-Leitstrahltechnik. Arbeitsschutz, Facheil des Bundesarbeitsblattes (1970) Heft 5, S. 118
- Rauscher, G.: UBL 5001, ein Universal-Bearbeitungs-Laser. Siemens-Zeitschrift 41 (1967) Heft 4, S. 273
- Dettmers, D. / Löffler, W. u. Renz, K.: Laser-Schutz bei der Anwendung von Helium-Neon-Dauerlicht-Lasern, Grundlagen und Beispiele. Die Berufsgenossenschaft (1970) Heft 7, S. 247
- Gefahren von Laserstrahlen. Bibliographie, BqH 8, Übersicht über internationale Literatur, CIS-Kartei, Internationales Arbeitsamt Genf
- Mini-Laser; Abstimmbare Farbstoff-Laser. VDI-Nachrichten (1970) Nr. 39, S. 17
- Technische Anwendungen des Lasers von Dieter Rosenberger, unter Mitarbeit von Ekkehard Klement, Ulrich Köpf, Manfred Lang und Gerhard Rauscher. Springer-Verlag, Berlin, 1975