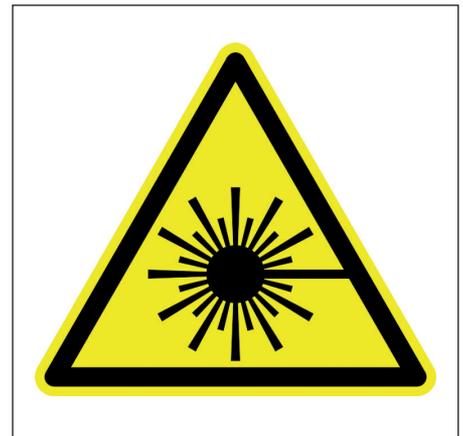


# Berücksichtigung des C6-Faktors (»Scheinbare Quelle«) bei der Laser-Klassifizierung

Durch die Berücksichtigung des C6-Faktors bei der Klassifizierung von Lasern mit netzhautgefährdender Emission (d. h.  $\lambda = 400 \text{ nm} - 1.400 \text{ nm}$ ) kann sich der Grenzwert zugänglicher Strahlung (GZS) erhöhen. Dadurch ist es möglich, die Ausgangsleistung eines Lasers innerhalb seiner Klasse zu erhöhen, oder diesen bei unveränderter Ausgangsleistung in eine niedrigere (d. h. sicherere) Laserklasse einzustufen. In Extremfällen kann dies dazu führen, dass beispielsweise ein Laser der Klasse 3B mittels C6-Faktor in die Klasse 1 eingeordnet werden kann.

Die Klassifizierung von Lasern basiert auf Grenzwerten zugänglicher Strahlung (GZS), die in der »Lasernorm« DIN EN 60825-1 dokumentiert sind. In dieser sind die GZS-Werte für alle Laserklassen tabellarisch in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Emissionsdauer sowie den Korrekturfaktoren C1 bis C7 zusammengefasst. Der C6-Faktor bezieht sich in diesem Tabellenwerk ausschließlich auf die Klassen 1, 1M, 2, 2M und 3R und den Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1.400 nm. So findet sich dort beispielsweise für die Einstufung eines Lasers in die Klasse 3R, mit der Wellenlänge

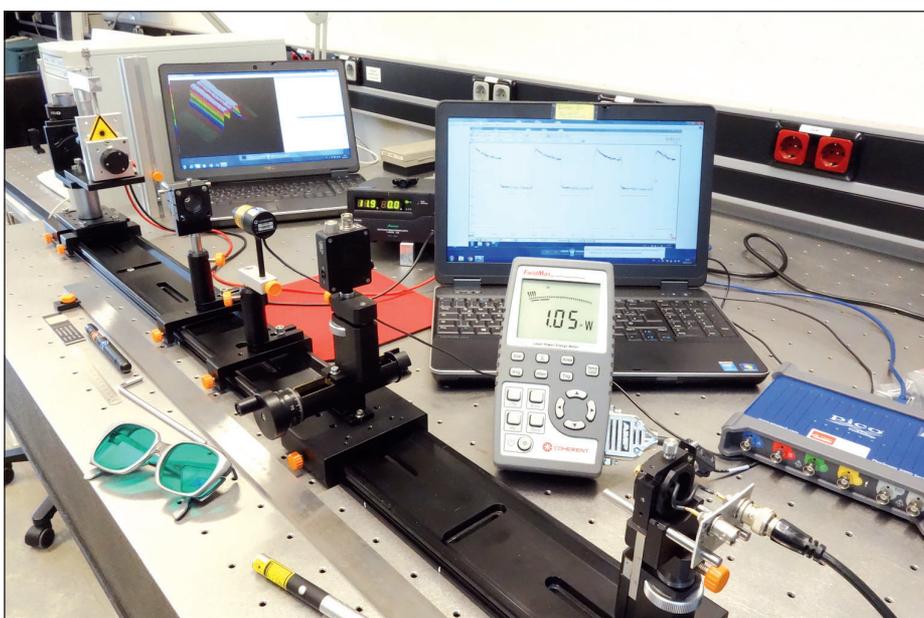
$\lambda = 680 \text{ nm}$  und einer Einwirkzeit von  $t=100 \text{ s}$ , der Grenzwert  $GZS=5 \cdot 10^{-3} \text{ C6 W}$  (Tab. 7 in o. g. Norm). Wie in diesem Beispiel, so erhöht sich auch in allen anderen Fällen der GZS-Wert für die thermische Netzhautgefährdung linear mit C6. In der Praxis sind maximale Werte von bis zu  $C6 = 66$  möglich. Das bedeutet für das ausgewählte Praxisbeispiel, dass unter bestimmten Bedingungen der Grenzwert für die Klasse 3R theoretisch bis zu 330 mW betragen kann (Hinweis: C6 kann per Definition nicht  $<1$  sein; s. unten). Zur Bestimmung des C6-Faktors wird die Winkelausdehnung  $\alpha$  der



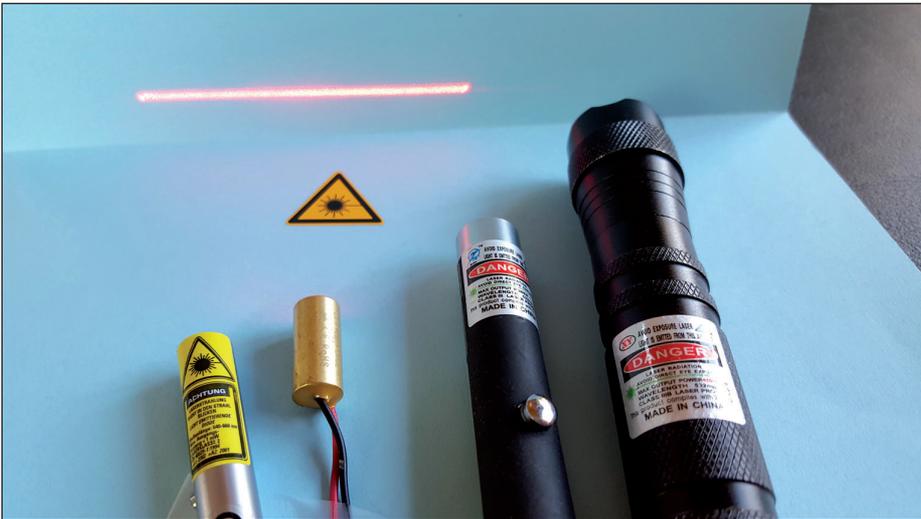
»scheinbaren Quelle« benötigt. Dies ist der Winkel, unter dem einem Betrachter die Ausdehnung der scheinbaren Laserquelle erscheint. Die Bezeichnung »scheinbar« berücksichtigt hierbei, dass der Ort der Quelle nicht zwingend der Laser selbst sein muss, sondern auch hinter diesem liegen kann ( $\alpha$  wird häufig irrtümlich mit der Divergenz der Laserstrahlung verwechselt!). Der Winkel  $\alpha$  hängt vom Abstand zur Laserquelle ab und geht von der erfolgten Akkommodation des Auges aus.

Für die Klassifizierung wird  $\alpha$  nach unten auf  $\alpha_{\min}=1,5 \text{ mrad}$  limitiert; die Begrenzung von  $\alpha$  nach oben hängt von der Einwirkdauer ab, d. h.  $\alpha_{\max}(t)$ , beträgt jedoch maximal 100 mrad. Der C6-Faktor bestimmt sich gem. Tab. 9 in DIN EN 60825-1 zu  $C6 = \alpha/\alpha_{\min}$  und ist somit ortsabhängig. Die Klassifizierung findet schließlich an dem restriktivsten Abstand zur Laserquelle statt, d. h. an der Position, an der das Verhältnis von zugänglicher Strahlung zum GZS ein Maximum aufweist. Dieser Abstand ist aufgrund der kleinsten Akkommodation des Auges immer  $\geq 100 \text{ mm}$ .

Das Messverfahren zur Klassifizierung von Lasern unter der Berücksichtigung von  $C6 > 1$  ist in Kap. 5.4.3/DIN EN



▲ Abb. 1: Messaufbau zur Klassifizierung von Lasern unter Berücksichtigung des C6-Faktors (»scheinbare Quelle«) im Labor »Lasersicherheit« des Autors.



▲ Abb. 2: Linienlaser sind typische Strahlquellen, die einen  $C_6$ -Faktor  $>1$  aufweisen. Ein dementsprechend höherer Grenzwert »GZS« kann somit für die Klassifizierung angewendet werden.

60825-1 detailliert erläutert. Es basiert darauf, dass die Abbildung der (scheinbaren) Laserquelle auf der Augennetzhaut in verschiedenen Abständen zwischen Laser und Auge experimentell inkl. Akkommodation simuliert wird. Dies erfolgt üblicherweise mit einem Messaufbau (Abb. 1), in dem eine Linse (»Auge«) auf einer optischen Schiene in variablen Abständen vor dem Laser platziert wird und auf einer dahinter angeordneten CCD-Matrix (»Netzhaut«) jeweils eine scharfe Abbildung eingestellt wird. Aus den geometrischen Verhältnissen

der Abbildung ergibt sich dann die Winkelausdehnung  $\alpha$ .

Diese experimentell nachgestellte Abbildung von Strahlung einer Laserquelle auf der Augennetzhaut führt zu einem GZS-Wert, in dem die tatsächliche Gefährdung authentisch berücksichtigt ist. Dies unterscheidet sich vom deutlich weniger aufwendigen einfachen Standardverfahren der Klassifizierung, bei dem vom »worst-case« mit  $C_6=1$  und der Abbildung in Form eines kleinen Brennflecks mit entsprechend hoher Intensität auf der Netzhaut ausgegangen wird.

Das einfache »Standard-Klassifizierungsverfahren« mit  $C_6=1$  (siehe o. g. Norm) kann grundsätzlich in jedem Fall verwendet werden. Jedoch beinhaltet die damit erzielte Laserklasse u. U. eine hohe Sicherheitsreserve. Es gibt zahlreiche Anwendungen, bei denen die maximal mögliche Laserleistung innerhalb einer Laserklasse vollständig ausgeschöpft werden soll (z. B. Entfernungsmessung, Geschwindigkeitsmessung).

In diesen Fällen bietet sich das »erweiterte Verfahren« für  $C_6>1$  an. Es ist für Laser im o. g. Wellenlängenbereich geeignet, bei denen die Strahldivergenz  $>1,5$  mrad beträgt. Typischerweise zählen dazu Linienlaser (Abb. 2), Laserdioden-Arrays, Multilayer-Laserdioden, Laserquellen mit Diffusor, evtl. auch Laserpointer. In der Praxis des Autors konnten bisher  $C_6$ -Faktoren bis zu 10 erzielt werden.

#### ■ INFO

Kontakt:  
 Prof. Dr.-Ing. Klaus Dickmann  
 Laserzentrum FH Münster (LFM)  
 Vereidigter Sachverständiger für  
 Lasertechnik und Lasersicherheit  
 Stegerwaldstr. 39 · 48565 Steinfurt  
 Tel.: 02551 962-324  
 E-Mail: dickmann@fh-muenster.de  
 www.gutachten-laser.de