

NIR 1999 Tagungsbericht

Die Neu-Ausgabe der internationalen Lasersicherheitsnorm IEC 60825-1 und die Änderungen der ICNIRP Grenzwerte

Karl Schulmeister

Bitte melden Sie sich für unseren ***Laser, LED & Lampen-Sicherheit* NEWSLETTER** (ca. 4 mal pro Jahr) an, um Infos über neue Downloads zu erhalten:
<http://laser-led-lamp-safety.seibersdorf-laboratories.at/newsletter>

Diese Veröffentlichung wird als PDF-Datei von der Seibersdorf Labor GmbH mit der Erlaubnis der TÜV Media GmbH zur Verfügung gestellt.

Die Weitergabe an Dritte ist nicht gestattet.

Die PDF-Datei kann von <http://laser-led-lamp-safety.seibersdorf-laboratories.at> heruntergeladen werden.

Quelleninformation

Titel: *Die Neu-Ausgabe der internationalen Lasersicherheitsnorm IEC 60825-1 und die Änderungen der ICNIRP Grenzwerte*

Autor: *Schulmeister K*

Tagungsbericht NIR 1999, Herausgeber: Norbert Krause, Markus Fischer, Hans-Peter Steimel
TÜV-Verlag GmbH, Köln, 1999
Seite 401-420

DIE NEU-AUSGABE DER INTERNATIONALEN LASERSICHERHEITSNORM IEC 60825-1 UND DIE ÄNDERUNGEN DER ICNIRP GRENZWERTE

THE REVISION OF THE INTERNATIONAL LASER SAFETY STANDARD IEC 60825-1 AND OF THE ICNIRP LASER EXPOSURE LIMITS

Karl Schulmeister

Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, A-2444 Seibersdorf, Österreich

Eingeladener Plenarvortrag, gehalten bei der 31. Jahrestagung NIR 99, Köln 1999

Proceedings: Fachverband für Strahlenschutz 31. Jahrestagung NIR 99, Köln 1999, TÜV Verlag Köln, Seiten 401-420

Zusammenfassung

Nach der Ausdehnung des Anwendungsbereiches der internationalen Lasersicherheits-Basisnorm IEC 60825-1 auf Leuchtdioden im Jahr 1993 zeigte sich, daß die damals für kollimierte Laserstrahlen gültigen vereinfachten Meßbedingungen und Grenzwerte sowie die Behandlung von ausgedehnten Quellen zu einer Überbewertung der potentiellen Gefährlichkeit von Leuchtdioden und Quellen mit ähnlichen Strahlcharakteristiken führte. In der Folge wurde eine Änderung zur Norm veröffentlicht, welche das Problem aber nur teilweise behob.

Seit mehr als drei Jahren wird an der Neu-Ausgabe der IEC 60825-1 gearbeitet, welche auch die Entwicklung und Verbreitung von neuartigen Strahlungsquellen berücksichtigt und diese möglichst allgemein gültig und korrekt bezüglich des Gefährungsgrades beurteilen soll. Das Dokument liegt zur Zeit als „Committee Draft for Vote“ den nationalen Normungskomitees zur Abstimmung vor. Parallel zu der Überarbeitung des IEC Dokumentes erarbeitete auch die internationale Strahlenschutzkommission für nicht-ionisierende Strahlung, ICNIRP, eine Änderung der Lasergrenzwerte, welche im Jahr 1999 in „Health Physics“ veröffentlicht werden soll. Da das IEC Komitee diese Grenzwerte als Maximal zulässige Bestrahlungswerte, MZB Werte, generell von ICNIRP übernimmt, sind die geplanten Änderungen der ICNIRP Grenzwerte bereits im IEC Änderungsvorschlag für IEC 60825-1 berücksichtigt.

Die wichtigsten Änderungen gegenüber der bisherigen Fassung betreffen:

- 1) Einführungen von „Subklassen“ 1M und 2M für die Klassen 1 und 2, mit der Bedeutung, daß die Laser der Klassen 1M und 2M mit dem unbewaffneten Auge sicher sind, mit optischen Hilfsmitteln wie Lupen und Ferngläsern sich aber eine potentielle Gefährdung ergibt.
- 2) Die Auflösung der Klasse 3A. Die Produkte der bisherigen Klasse 3A fallen größtenteils in die Klassen 1M oder 2M (je nach Wellenlängenbereich). Durch die Einführung einer Klasse 3R, mit Grenzwerten als Fünffaches der Klasse 1 bzw. 2 (je nach Wellenlängenbereich) wird ein Übergang zu Lasern der Klasse 3B geboten, mit eingeschränkten Anforderungen an den Hersteller und den Nutzer.
- 3) Die Berücksichtigung der erhöhten Gefährdungspotentiale durch optische Hilfsmittel wie Lupen und Ferngläser durch entsprechenden Meßbedingungen (Grenzblendendurchmesser und Meßabstände) für die Klassifizierung.
- 4) Die Trennung der MZB-Werte (Maximal zulässigen Bestrahlungswerte) im sichtbaren Bereich für Bestrahlungsdauern über 10 Sekunden in jene für thermische und jene für photochemische Schäden der Netzhaut. Den Effekten der Augenbewegungen und der Ausdehnung der scheinbaren Quelle wird damit auch in korrigierter Form Rechnung getragen. Die GZS Werte der Klasse 1 ändern sich entsprechend.

- 5) Die Festlegung von MZB-Werten für Pulsdauern kleiner als 1 ns. Die GZS-Werte der Klasse 1 ändern sich entsprechend.
- 6) Adaptierung der Benutzerrichtlinien und Beispiele im Anhang um die Änderungen der Klassen und der MZB-Werte widerzuspiegeln.

Summary

In 1993, the scope of the international laser safety standard IEC 60852-1 was extended to include light emitting diodes, LEDs. Soon thereafter it was realised that simplified measurement requirements, exposure limits as well as the treatment of extended sources which were defined for laser beams led to an over-estimation of hazards of LEDs and sources with similar spatial emission characteristics. Subsequently an amendment to the standard was published, this however represented only partial solution to the problems.

Since 1996, Working Group 1 of IEC Technical Committee TC76 has been working on a major revision of IEC 60825-1. The corresponding document was distributed to the national committees of IEC as „Committee Draft for Vote“ in May of this year. Concurrently, the International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP, has been working on a revision of the laser exposure limits, and this document should be published in “Health Physics” in the course of 1999. As the IEC committee adopts these limits for IEC 60825-1, as maximum permissible exposure (MPE) values, the revision of the ICNIRP exposure limits is reflected in the IEC document.

The main issues of the revision of the IEC standard and the ICNIRP exposure limits are:

- 1) Definition of subclasses 1M and 2M for Class 1 and Class 2, respectively. Laser products of Class 1M and 2M are not hazardous to the naked, unaided eye, however the hazard potential is increased with the use of optical instruments.
- 2) Class 3A is not used anymore. Products which are currently Class 3A will mostly fall into subclasses 1M and 2M depending on the wavelength. Class 3R is introduced with five times the limits of Class 1 and Class 2, respectively, depending on wavelength. Class 3R has reduced requirements for the manufacturer and the user and presents a transition class to Class 3B.
- 3) The potential increase of the hazard due to the use of optical instruments is reflected more realistically in newly defined measurement criteria, especially regarding aperture size and measurement distance.
- 4) Exposure limits for the eye are split into photochemical and thermal limits for exposure duration above 10 seconds. The effects of eye movements and of extended sources are accounted for appropriately. The AEL values of Class 1 change accordingly.
- 5) Exposure limits for pulse durations shorter than 1 ns have been defined. The AEL values of Class 1 change accordingly.
- 6) The user section and the examples in the appendix are changed to reflect the changes in the classification system and the MPEs.

1 Einleitung

Die Norm IEC 60825-1, „*Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user’s guide*“ kann als international anerkannte Basis-Norm für Lasersicherheit gesehen werden. Sie wurde vom Technischen Komitee TC 76 des internationalen elektrotechnischen Komitees, *International Electrotechnical Committee*, IEC entwickelt. Die erste Sitzung der IEC TC 76 fand im Jahr 1974 in Baden-Baden statt, die erste Ausgabe der Norm wurde als IEC 825 im Jahre 1984 veröffentlicht.

Im Jahre 1993 erfolgte die Neuausgabe der Norm, wobei dies als IEC 825-1 erfolgte – also als IEC 825-Part 1. Die IEC 825 Lasersicherheitsnormenserie umfaßt zur Zeit neben der Basisnorm Teil 1 auch noch Teile über Lichtwellenleiter (Teil 2), Lasershows (Teil 3) und Abschirmungen (Teil 4). Weitere Teile über medizinische Nutzerrichtlinien, Nicht-kohärente Strahlungsgrenzwerte und Freiraum-Informationsübertragung befinden sich in einem fortgeschrittenen Entwurfsstadium bzw. stehen knapp vor der Veröffentlichung.

1.1 Derzeitig gültige Fassung

Mit der Neuausgabe der Norm im Jahr 1993 erfolgte auch die Ausweitung des Anwendungsbereiches auf Leuchtdioden – d.h. wo immer in der Norm das Wort „Laser“ vorkommt, gilt dies auch für Leuchtdioden. Diese Erweiterung erfolgte am Schluß einer IEC TC 76 Sitzung knapp vor der Abstimmung zur neuen Ausgabe, wobei die Bedeutung und Folgen dieser Erweiterung nicht genügend erörtert wurden. Da sich diese Erweiterung auf Leuchtdioden auch nicht im Titel der Norm widerspiegelte („Safety of laser products“) war es vielen Herstellern und Anwendern von Leuchtdioden nicht bewußt, das diese Produkte nun auch unter das Laser-Klassifizierungsschema fielen. Die ursprüngliche Absicht des IEC TC 76 war die Inkludierung von Leuchtdioden, wie sie als Signalgeber in Lichtwellenleitersystemen alternativ zu Laserdioden verwendet werden – die Erweiterung des Anwendungsbereiches der Norm erfolgte aber generell auf alle Leuchtdioden. Es zeigte sich bald, daß die vereinfachten Meßbedingungen, die für typische Laserprodukte einen guten Kompromiß darstellten, bei Anwendung auf Leuchtdioden zu einer Überbeurteilung der möglichen Gefährlichkeit führten. Es zeigte sich zum Beispiel, daß für Leuchtdioden, die in Ampelanlagen und Kfz-Bremslichtern eingesetzt werden sollten, die gesetzlich vorgeschriebenen *Mindestleuchtstärken über* den Grenzwerten der IEC 825-1 lagen [1].

In der Folge wurde von IEC TC 76 ein Amendment A1 im Jahr 1997 veröffentlicht, in welchem die Meßbedingungen in gewissem Maße an die Messung von stark divergierender Strahlung und ausgedehnten Quellen angepaßt wurde, jedoch charakterisiert dieses zur Zeit gültige Amendment die Erhöhung des Gefährdungspotentials durch optische Instrumente nicht korrekt. Zudem war die Information bezüglich der Meßbedingungen verwirrend und teilweise sogar unvollständig dargestellt; so ist z.B. im derzeitig gültigen Dokument IEC 825-1 + A1 der Durchmesser der Meßblende für die Klassifizierung von Lasern im Ultraviolettbereich nicht definiert.

Viele der internationalen IEC Dokumente werden auf europäischer Ebene durch die äquivalente Normungsorganisation CENELEC ohne Abänderung übernommen und als EN veröffentlicht– so auch bei IEC 60825-1¹. In weiterer Folge müssen in Europa alle EN Normen als nationale Norm übernommen werden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Internationale und nationale Veröffentlichung der Norm

Ebene	Normungs-organisation	Dokument	Sprache
International	IEC	IEC 60825-1	nur Englisch und Französisch
Europäisch	CENELEC	EN 60825-1	auch Deutsch
National	DIN, VDE	DIN EN 60825-1 VDE 0837 Teil 1	

Aufgrund der offensichtlichen Mängel des IEC Amendments A1 in Bezug auf verwirrende und unvollständige Darstellung der Meßbedingungen (Meßblendendurchmesser und -abstand) wurden

¹ Im Jahr 1997 wurde das Nummerierungsschema der IEC Normen dem der EN Normen angepaßt, sodaß die Bezeichnung der ursprünglichen Norm IEC 825-1 nun IEC 60825-1 lautet.

die Meßbedingungen im europäischen CENELEC Amendment in einer Tabelle dargestellt. Das Amendment auf europäischer Ebene erhielt die Bezeichnung A11:1996 (siehe Tabelle 2) und ist vom Inhalt her als äquivalent mit dem internationalen Amendment A1 zu sehen, aber nicht als ident.

Tabelle 2: Bisherige Entwicklung der internationalen Lasersicherheits-Basisnorm

1984	IEC 825 „Radiation safety of laser products“
1993	IEC 825-1 „Safety of laser products - Part : Equipment classification, requirements and user’s guide (First edition)“
1996	IEC Amendment 1, EN Amendment A11
2000 (?)	Neuausgabe der Norm, „Second Edition“

In Europa wurde die Norm mit der Änderung auf nationaler Ebene häufig in konsolidierter Fassung veröffentlicht, wie z.B. DIN EN 60825-1:1997 = deutsche Fassung EN 60825-1:1994 + A11:1996.

1.2 Aktuelle Überarbeitung

Die Arbeit bezüglich der Entwicklung von neuen Normen und Änderungen auf dem Gebiet der Lasersicherheit und der Sicherheit von breitbandigen optischen Quellen ist im TC 76 je nach Fachgebiet auf derzeit 9 Working Groups aufgeteilt. Da sich der Inhalt der Norm IEC 60825-1 im Groben aufteilt in „Definitionen“, „Herstellieranforderungen“ und „Benutzerrichtlinien und MZB-Werte“, sind mit der Überarbeitung der Norm zwei Arbeitsgruppen beschäftigt. Mit der Ausnahme der Paragraphen über Benutzerrichtlinien ist für die derzeitige Überarbeitung der internationalen Norm IEC 60825-1 die Working Group 1, WG 1, verantwortlich, bei der in den vergangenen drei Jahren über 30 Experten aus 13 Nationen aktiv mitarbeiteten. Den Vorsitz der WG 1 hält Dr. David Sliney vom *US Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine* inne, das technische Sekretariat wird durch den Autor dieses Artikels besetzt.

Jener Teil des Hauptabschnitts 3 der Norm (Benutzerrichtlinien und MZB-Werte), der nicht die Messung und Festlegung der MZB-Werte betrifft, wird durch die Working Group 8 des TC 76 betreut. WG 8 hat zu den betreffenden Paragraphen der Benutzerrichtlinie ein eigenes Amendment auf Basis des Dokumentes der WG 1 erarbeitet. Da das Ziel dieses Dokumentes nur die Anpassung der Benutzerrichtlinien an das geänderte Klassifikationsschema war und nicht eine grundlegende Überarbeitung des Inhaltes, wurde das Dokument von WG 8 gleich als CDV veröffentlicht, und das CDC Stadium übersprungen (siehe dazu Tabelle 4 mit einer Erklärung der diversen Normenstadien).

Somit befinden sich zur Zeit zwei Dokumente, welche das nächste Amendment, also Amendment A2, zur IEC 60825-1 betreffen, im CDV Stadium (siehe Tabelle 4). Es ist geplant daß beide Dokumente gemeinsam zu einer Neu-Ausgabe der Norm IEC 60825-1 führen werden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Aktuelle Dokumente des Entwurfs von Amendment A2, erarbeitet von zwei verschiedenen Arbeitsgruppen in TC 76.

Working Group	Inhalt	Dokument-Bezeichnung
WG1	Definitionen, Klassifizierung, MZB - Werte, Meßbedingungen, Appendix B (medizinische Betrachtungen)	76/196/CDV
WG8	Benutzerrichtlinien, Appendix A (Beispiele), Appendix D (Tabellenübersicht)	76/197/CDV

Tabelle 4: Stadien von neuen Normen oder Änderungen zu bestehenden Normen

Abkürzung	Bezeichnung	Bedeutung
NWIP	New Work Item Proposal	Kurze Beschreibung des vorgeschlagenen neuen Projektes, wird international abgestimmt
CDC	Committee Draft for Comment	erster Entwurf, Verteilung an nationale Komitees. Änderungsvorschläge der nationalen Komitees werden in WG der IEC bearbeitet. Es erfolgt keine Abstimmung durch nationale Komitees.
CDV	Committee Draft for Vote	Das Dokument wird international abgestimmt (6 monatige Abstimmungsfrist), bei der folgenden Überarbeitung können jedoch keine größeren Änderungsvorschläge mehr verwirklicht werden.
FDIS	Final Draft International Standard	Schlußentwurf, 3 monatige Abstimmungsfrist. Vor der Veröffentlichung als internationale Norm können nur mehr editorielle, keine inhaltlichen Änderungen durchgeführt werden

Die Abstimmung der beiden CDVs wird am 30. September 1999 abgeschlossen, die Ergebnisse der Abstimmung und eventuelle Kommentare und Änderungsvorschläge der nationalen Komitees werden bei der IEC TC 76 Sitzung im November 1999 in Mailand bearbeitet. Unter der Voraussetzung, daß das Abstimmungsergebnis positiv verläuft, werden in weiterer Folge die Kommentare und Änderungsvorschläge in die Dokumente eingearbeitet, wobei aber zu berücksichtigen ist, daß im Stadium der Umarbeitung eines CDV auf ein FDIS keine bedeutenden inhaltlichen Änderungen mehr berücksichtigt werden können. Erfolgt die Bearbeitung der Dokumente nach Plan, sollte ein gemeinsames FDIS Anfang 2000 vorliegen, und nach einer dreimonatigen Abstimmungsfrist, also in der ersten Hälfte des Jahres 2000, die Neuausgabe der internationalen Norm veröffentlicht werden. Es wird damit gerechnet, daß ein dem IEC Dokument entsprechendes Dokument ohne Änderungen als EN Dokument veröffentlicht wird. In diesem Zusammenhang ist auch zu bemerken, daß im Sinne einer Parallelabstimmung zwischen IEC und CENELEC, keine Veröffentlichung oder Abstimmung eines eigenen CDV Dokumentes durch CENELEC erfolgt, d.h. daß die durch IEC veröffentlichten Dokumente in Europa auch zur Abstimmung im Sinne einer EN Norm vorliegen und daß bei positiver Abstimmung ein entsprechendes EN Dokument veröffentlicht wird.

Aufgrund des Umfangs der Änderungen kann angenommen werden, daß es nicht zu einer Veröffentlichung einer Änderung (Amendment) kommen wird, sondern zu eine Neuausgabe der Norm: EN 60825-1:2000, Second Edition.

2 Überblick über den Inhalt der Norm

Der Inhalt der Norm unterteilt sich in drei Hauptabschnitte und einer Anzahl von Anhängen:

	Bezeichnung	Unterpunkte
Hauptabschnitt eins	Allgemeines	Anwendungszweck, Begriffe
Hauptabschnitt zwei	Herstellieranforderungen	Klassifizierung, Konstruktionsanforderungen, Beschilderung
Hauptabschnitt drei	Richtlinien für den Benutzer	Sicherheitsvorkehrungen, Gefahren, MZB-Werte
Anhang A	Berechnungsbeispiele	
Anhang B	Medizinische Betrachtungen	Biophysikalische Hintergrundinformation
Anhang C	Literaturverzeichnis	
Anhang D	Zusammenfassende Tabellen	Überblickstabellen mit Herstellieranforderungen und Nutzerrichtlinien
Anhang E	Betrachtungen für Laser großer Leistungen	
Anhang F	Zitierte IEC Normen	
In europäischer Fassung:	Verweisungen auf europ. Publikationen	

Im Hauptabschnitt eins ist der Anwendungsbereich und Zweck der Norm enthalten. Hier wird unter anderem festgelegt, daß Licht emittierende Dioden (LEDs) eingeschlossen sind, wenn das Wort „Laser“ verwendet wird. Im Hauptabschnitt eins sind ferner Begriffsbestimmungen enthalten, die auch in gewissem Maße als Begriffserklärung gedacht sind.

Im Hauptabschnitt zwei sind die Anforderungen an den Hersteller enthalten. Zentraler Punkt ist hier die Klassifizierung der Produkte durch den Hersteller, d.h. die Einteilung in Gefahrenklassen, die dem Benutzer der Laserprodukte als Information über die größtmögliche Gefährdung durch das Laserprodukt dienen sollen. In Hauptabschnitt zwei ist ferner spezifiziert, mit welchen Meß- und Prüfbedingungen die Klassifizierung durchzuführen ist, und wie die Beschilderung der Laser-Einrichtungen durchzuführen ist. Je nach Klasse sind vom Hersteller auch die Verwirklichung von technischen Sicherheitseinrichtungen gefordert, wie Schlüsselschalter, Emissionswarneinrichtungen und Steckverbinder für fernbedienbare Sicherheitsverriegelungen.

Der Hauptabschnitt drei, Richtlinien für Nutzer, ist nicht normativ und dementsprechend als Empfehlung formuliert – im Englischen wird bei den Formulierungen „should“ statt „shall“ verwendet, in der deutschen Fassung „sollte“ statt „muß“. Dieser Hauptabschnitt enthält hinweise über betriebliche und organisatorische Schutzmaßnahmen wie die Bestellung eines Laserschutzbeauftragten, Ausbildung, Abschränkung und Markierung von Laserbereichen und Verwendung von Augenschutz.

2.1 MZB-Werte

Der Hauptabschnitt drei enthält auch Tabellen mit den maximal zulässigen Bestrahlungswerten (MZB-Werte) für das Auge und für die Haut. Diese MZB Werte sind wellenlängen- und zeitabhängig und beschreiben den Übergang von einem als ungefährlich betrachteten Bestrahlungsniveau zu einem Bestrahlungsniveau-Bereich, bei dem es bei Bestrahlung zu permanenten Schädigungen der Augen oder der Haut kommen kann. Es sei darauf hingewiesen, daß die MZB-Werte keine scharfe Grenze zwischen „sicher“ und „gefährlich“ darstellen, sondern daß sich bei Überschreiten der MZB-Werte die Wahrscheinlichkeit für eine Schädigung stetig erhöht. Jedoch gibt der Grenzwert selber keine Information über die Schädigungswahrscheinlichkeit und Grad bzw. Natur der Schädigung, wenn die Bestrahlung des Auges oder der Haut über dem jeweiligem Grenzwert liegt.

Die in der Norm IEC 60825-1 enthaltenen MZB-Werte stellen biologische Grenzwerte dar. Da die Internationale Elektrotechnische Kommission hat für Definition solcher Grenzwerte nicht die entsprechenden Kompetenzen hat, werden die entsprechenden Werte von der internationalen Strahlenschutzkommission für nicht-ionisierende Strahlung, ICNIRP, übernommen. ICNIRP ist eine unabhängige wissenschaftliche Organisation, deren Aufgabe es ist, Richtlinien über die möglichen Gefahren von Nicht-ionisierender Strahlung zu erarbeiten und entsprechende Informationen zur Verfügung zu stellen. Das wissenschaftliche Sekretariat wird durch DI Rüdiger Matthes und die derzeitige Präsidentschaft durch Prof. Jürgen Bernhardt, beide Bundesamt für Strahlenschutz, wahrgenommen. Als Schwesternorganisation der Internationalen Strahlenschutzorganisation IRPA (International Radiation Protection Association) die wiederum Dachorganisation von 44 nationalen Strahlenschutzorganisationen ist, ist auch eine weite Verbreitung und Möglichkeit der Kommentierung von Entwürfen der ICNIRP Richtlinien sichergestellt.

Der den MZB-Werten (im Englischen MPE, maximum permissible exposure) der IEC entsprechende Begriff bei ICNIRP ist „Exposure Limits, ELs“. Die Laser exposure limits der ICNIRP wurden als Richtlinien in der offenen Literatur veröffentlicht [2]. Initiiert durch die

Probleme der Anwendung der Grenzwerte auf spezielle Kategorien von Laserprodukten und LEDs arbeitet auch die ICNIRP seit zwei Jahren an der Änderung der Grenzwerte für Bestrahlungsdauern über 10 Sekunden im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm. Im Zuge der Diskussion zeigte sich auch, daß in den derzeit gültigen Grenzwerten für längerdauernde Bestrahlung durch Quellen im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm (Gefahr einer Netzhautschädigung) die Augenbewegungen und der Einfluß von ausgedehnten Quellen nicht korrekt beschrieben sind. Um das Gefährdungspotential möglichst allgemein gültig und genau zu charakterisieren, war es auch notwendig, die Augen-MZB Werte im sichtbaren Wellenlängenbereich entsprechend den beiden konkurrierenden Schädigungsmechanismen in thermische und photochemische Schädigungen zu trennen. In der Zeit der Überarbeitung der INCIRP Richtlinie ergab es sich auch, daß genügend biologische Untersuchungen über die Wirkung von ultrakurzen Pulsen vorlagen, die eine Ausweitung der Exposure Limits auf Pulsdauern von unter 10^{-9} s rechtfertigten. Die entsprechenden Änderungen der ICNIRP Laser Grenzwerte liegen zur Zeit den nationalen Mitgliedsorganisationen der ICNIRP/IRPA zur Kommentierung vor und werden in weiterer Folge in Health Physics veröffentlicht [3].

2.2 Meßbedingungen, optische Hilfsmittel

Wichtig bei der Gefahrenanalyse von optischer Strahlung sind aber nicht nur die Grenzwerte, sondern auch die Spezifizierung von Meßbedingungen, die angewendet werden müssen, um korrekte Meßwerte zu erhalten, die dann in weiterer Folge mit den Grenzwerten verglichen werden. Neben dem Abstand zur Quelle, der bei MZB-Analysen dem reellen Abstand entsprechen soll, kommt bei MZB-Analysen der Grenzblende eine besondere Bedeutung zu: die gemessene Bestrahlungsstärke (Einheiten W/m^2) ist über diese Grenzblende zu mitteln. Der Durchmesser der Grenzblende basiert auf biophysikalischen Gegebenheiten, die eine Mittelung über eine bestimmte Fläche ergeben [4]. Im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm ist z.B. eine Grenzblende mit einem Durchmesser von 7 mm definiert. Dies bedeutet, daß zur Bestimmung der Bestrahlungsstärke die durch diese Meßblende durchtretende Leistung durch die Fläche der Meßblende dividiert werden soll, um auf den korrekten Meßwert zu kommen. Dies gilt auch für Laserstrahlen, deren Durchmesser kleiner als 7 mm ist, wodurch die über 7 mm gemittelte Bestrahlungsstärke (Leistungsdichte) kleiner ist als die physikalisch reelle Leistungsdichte im Strahl. Der Durchmesser der Blende leitet sich vom maximalen Durchmesser einer dunkeladaptierten Pupille ab – die Mittelung über die Fläche einer 7 mm Blende ergibt sich aus der Definition der MZB-Werte, bei denen ja eigentlich die Bestrahlungsstärke auf der *Netzhaut* ausschlaggebend für eine Schädigung ist. Die MZB-Werte sind aber als Werte auf der Hornhaut des Auges definiert und der Durchmesser des Flecks auf der Netzhaut hängt von der Größe der (scheinbaren) Quelle und nicht vom Strahldurchmesser ab. Im Spektralbereich über 1400 nm leitet sich die Größe der Grenzblende von Wärmeleiteffekten und Streueffekten ab. In der derzeit gültigen Norm ändert sich der Durchmesser der Grenzblende bei 3 Sekunden Bestrahlungsdauer un stetig von 1 mm auf 3,5 mm. Im Entwurf zum Amendment wird ein kontinuierlichen Übergang als Funktion der Zeit definiert.

Die MZB-Werte sind generell in den Einheiten J/m^2 und W/m^2 festgelegt, also als Bestrahlung und Bestrahlungsstärke definiert, wobei über die Fläche der Grenzblende zu mitteln ist. Bei dem MZB-Wert für das Auge handelt es sich um einen Wert, der für das *unbewaffnete* Auge gilt. Für die Klassifizierung wird im Sinne einer „Worst-case“ Annahme auch die mögliche Verwendung von optischen Hilfsmitteln, wie Lupen und Ferngläser berücksichtigt. Für Strahlung im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4000 nm (dem Bereich in dem übliche optische Materialien durchlässig sind) können diese optische Hilfsmittel die potentielle Gefahr für eine

Schädigung erhöhen, da durch sie mehr Strahlungsleistung ins Auge gelangen kann, als es ohne optische Hilfsmittel der Fall wäre. Um diese mögliche Erhöhung der Gefährdung zu charakterisieren, werden für die Lasergefahren-Klassen maximal erlaubte Ausgangsleistungen (oder – Energien) festgelegt, die durch eine Meßblende mit definiertem Durchmesser durchtreten können, wobei der Abstand und die Größe der *Meßblende* (im Gegensatz zu einer *Grenzblende*) die Position und den Durchmesser der Eingangsoptik eines optischen Hilfsmittels repräsentieren soll. Diese Klassen-Grenzwerte leiten sich teilweise direkt von den biologischen Grenzwerten ab, und sind für die einzelnen Klassen in GZS Tabellen niedergelegt („Grenzwerte der zugänglichen Strahlung“). Die GZS Tabelle für die Klasse 1, also für Laser-Einrichtungen, bei denen auch eine direkte Bestrahlung zu keiner Schädigung führen kann, leitet sich direkt aus den MZB-Werten durch Multiplikation mit der Fläche der jeweiligen Grenzblende ab. Definiert man also z.B. zur Messung der Strahlung, die mit dem GZS-Wert der Klasse 1 verglichen werden soll, eine 7 mm Meßblende im Abstand von 10 cm von der Quelle, so kommt dies einer Risiko Analyse für das unbewaffnete Auge gleich: 7 mm ist der maximale Durchmesser der Pupille und 10 cm ist der minimale Abstand zur Quelle, bei der man die Quelle noch scharf auf der Netzhaut abbilden kann (minimaler Adaptationsabstand). Es stellt jedoch auch diese Analyse eine Worst-case Analyse dar, da die Pupille nur in Dunkelheit einen Durchmesser von 7 mm hat (ansonsten 1 mm – 3 mm) und da der Abstand zu einer Laserquelle im Falle einer unbeabsichtigten Bestrahlung, aber auch im Falle einer absichtlichen Beobachtung der Quelle, üblicherweise größer als 10 cm sein wird (der minimale Adaptationsabstand wird mit dem Alter größer, und beträgt bei Erwachsenen eher 20 cm und darüber, als 10 cm). Obige Worst-case Annahmen wirken sich besonders auf Risikobewertungen von Quellen wie LEDs aus, die eine starke Strahlverbreiterung mit wachsendem Abstand zur Quelle aufweisen.

Für die potentielle Erhöhung der Gefährdung durch die Verwendung von optischen Hilfsmitteln muß man zwei Gruppen von optischen Instrumenten unterscheiden: Lupen und Vergrößerungsgläser auf der einen Seite, und Ferngläser und Teleskope auf der anderen Seite.

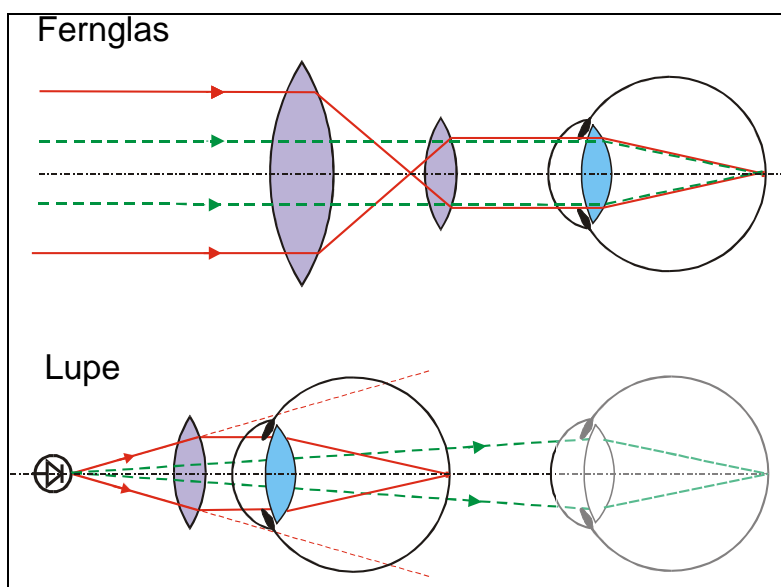


Abbildung 1: Durch optische Instrumente wie Teleskope und Lupen kann mehr Leistung auf das Auge treffen, als dies bei einem unbewaffneten Auge der Fall wäre. Die Wirkungsweise, der Durchmesser der Eingangsoptik und der Benutzungsabstand sind jedoch unterschiedlich (Zeichnung nicht maßstabsgerecht).

Beide Gruppen können die auf das Auge treffende Leistung erhöhen, jedoch unterscheiden sie sich nach Wirkungsweise, Durchmesser der Optik und Benutzungsabstand (Abbildung 1). Eingangsoptiken von Ferngläsern haben einen Durchmesser von üblicherweise 30 – 50 mm und einen großen Benutzungsabstand zu einer Quelle, bei Lupen kann man einen Durchmesser von 7 mm annehmen – Lupen mit starker Vergrößerung werden prinzipiell ganz nahe am Auge verwendet und bei entsprechend starker Vergrößerung ergibt sich ein Minimalabstand zur Quelle von 14 mm.

In der Fassung der IEC 60825-1 vor dem ersten Amendment war der Durchmesser der Meßblende mit 50 mm angegeben und der Meßabstand mit 10 cm. Dies stellte einen Kompromiß dar, bei dem sich der Durchmesser der Meßblende vom maximalen Durchmesser von handelsüblichen Ferngläsern ableitete, der Abstand von 10 cm aber von der Verwendung von Lupen: das Verhältnis von 50 mm / 10 cm ist gleich wie das Durchmesser/Abstandverhältnis für stark vergrößernde Lupen: 7 mm / 14 mm. Durch diesen Kompromiß kann aber die reelle Erhöhung der Gefährdung nicht korrekt beschrieben werden: Teleskope und Ferngläser können nur bei gut kollimierter Strahlung mit großem Strahldurchmesser zu einer Erhöhung der Gefährdung führen, da sie durch die Größe der Eingangsoptik mehr Strahlung auf das Auge gelangen lassen - der Mindestabstand zur Lasereinrichtung kann jedoch mit mindestens 2 m angenommen. Lupen hingegen führen nur bei stark divergenten Quellen zu einer Erhöhung der Gefährdung, da man durch Lupen in einem kleineren Abstand (bis zu 14 mm) zur Quelle scharf stellen kann, als mit freiem Auge (ca. 10 - 20 cm). Im Amendment A1 der IEC und A11 der CENELEC wurde das Konzept der beiden unterschiedlichen Gruppen von optischen Instrumenten ansatzweise aufgenommen, aber erst im aktuellen Entwurf für die Überarbeitung der Norm konsequent verwirklicht.

3 Änderungen

Im folgenden werden die wichtigsten Änderungen, die in der aktuellen Fassung der Überarbeitung der IEC 60825-1 (Amendment 2, Status: CDV) im Vergleich zur jetzt gültigen Fassung enthalten sind, besprochen.

3.1 MZB Werte – ICNIRP exposure limits

Die folgenden Informationen richten sich nach den Formulierungen und Darstellungen im IEC Draft Amendment. Da für dieses Draft Amendment aber die MZB-Werte direkt vom Entwurf für die Revision of Guidelines der ICNIRP übernommen und die ICNIRP Guidelines parallel zum IEC Dokument überarbeitet wurden, gelten diese Informationen auch für die Überarbeitung der ICNIRP Guidelines for Laser Exposure Limits.

Photochemische Schädigung

Gegen Ende der siebziger Jahren erkannte man, daß die Schädigung der Netzhaut durch länger dauernde Bestrahlung mit kurzwelligem sichtbarem Licht, nicht thermischer sondern, wie die Schädigung der Haut durch Sonnenbrand, photochemischer Natur ist [5]. Im Gegensatz zur Haut kann sich die Netzhaut aber nicht erneuern und es kann zu bleibenden Netzhautschädigungen kommen. Die photochemische Wechselwirkung mit der Netzhaut, auch „Blue light hazard“ genannt, ist bei einer Beobachtung der Sonne in der Nähe des Zenith, z.B. bei einer Sonnenfinsternis, für die Schädigung der Netzhaut verantwortlich. Typisch für die photochemische Wechselwirkung ist eine Dosisrelation, d.h. daß sich die Bestrahlung über einen längeren Zeitraum hin addiert (bei der photochemischen Netzhautschädigung werden dafür 10.000 Sekunden angenommen) und eine kurze intensive Bestrahlung hat die gleiche Wirkung

wie eine längerdauernde weniger intensive Bestrahlung. Typisch für photochemische Wirkungen ist ferner die unterschiedliche Wirksamkeit von verschiedenen Wellenlängen bei gleicher Bestrahlungsstärke, die durch eine Gewichtungskurve, oder bei Laserstrahlungsgrenzwerten durch einen wellenlängenabhängigen Korrekturfaktor (C_3) zum Grenzwert beschrieben werden. Bei der photochemischen Netzhautschädigung ist Strahlung mit Wellenlängen im Bereich von 400 nm bis 450 nm am „effizientesten“, und die relative Wirksamkeit nimmt mit längeren Wellenlängen hin stark ab und wird ab 600 nm nicht mehr berücksichtigt.

Die photochemische Schädigung der Netzhaut kann als mit der thermischen Schädigung „in Konkurrenz stehend“ betrachtet werden: für Pulse und kurze Bestrahlungsdauern führt die hohe (Spitzen)leistung (hohe Bestrahlungsstärke aber geringe Bestrahlungsdosis), in kurzer Zeit zu einer Erhöhung der Temperatur und damit zu einer thermischen Schädigung. Für längere Bestrahlungsdauern mit vergleichsweise geringeren Bestrahlungsstärken ergibt sich keine oder eine nur geringe Erwärmung des Gewebes, durch die Dosisbeziehung für photochemische Schädigung jedoch kann sich die Wirkung der Strahlung bis zu einer makroskopischen Schädigung aufaddieren.

Im Unterschied zur thermischen Schädigung der Netzhaut hängt der Grenzwert für photochemische Schädigung, wenn er als Bestrahlung(sstärke) auf der Netzhaut oder als Strahldichte gegeben ist, nicht von der Größe der bestrahlten Netzhautfläche ab. Für optische Breitbandstrahlung waren die Grenzwerte für thermische und photochemische Wirkung prinzipiell getrennt definiert [6], die bisher gültigen Laser-MZB-Werte für längerdauernde Bestrahlung (über 10 Sekunden) der Netzhaut stellten jedoch vereinfachte Grenzwerte mit einem entsprechend hohen Sicherheitsfaktor dar. Da es generelle Sicherheitsphilosophie bei der Laseranwendung ist, Laserstrahlung nicht absichtlich direkt zu beobachten, wurde auch auf die Genauigkeit der Grenzwerte für Netzhautschädigung für längere Bestrahlungsdauern keine sehr großen Anforderungen gestellt. Eine genauere und allgemein gültige Beschreibung des Schädigungspotentials von Laserstrahlung (und „LED-Strahlung“) für lange Beobachtungsdauern, wie sie nun von den Anwendern der Norm gefordert wird und wie sie durch die Einbeziehung von LEDs in die Norm notwendig wurde, machte es notwendig, daß die Grenzwerte im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 600 nm getrennt für thermische und photochemische Netzhautschädigung angegeben werden. In Tabelle 5 sind die MZB-Werte für die Netzhautschädigung für Bestrahlungszeiten über 10 Sekunden aus dem aktuellen Entwurf zur Änderung von IEC 60825-1 reproduziert.

Der Grenzwert von 100 J/m^2 für photochemische Netzhautschädigung wurde direkt aus den Richtlinien für optische Breitbandstrahlung übernommen und ist dort für Quellen mit einer Winkelausdehnung von kleiner als 11 mrad gültig. Für größere Quellen ist der Breitbandstrahlungs-Grenzwert als Strahldichte ($\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$) definiert, dieser kann aber Bestrahlungsstärke-Grenzwert ausgedrückt werden, wenn ein begrenzender Empfangswinkel, (limiting angle of acceptance, γ) für die Messung der Strahlung definiert wird. Dieser Empfangswinkel bewerkstelligt, daß Strahlung, die aus einem Bereich außerhalb des Empfangswinkels kommt, für die Messung nicht mitberücksichtigt wird – man erhält also einen kleineren Grenzwert als dies mit einem „offenen“ Empfangswinkel der Fall wäre. Für Quellengrößen, die kleiner als der begrenzende Empfangswinkel sind, beeinflußt der Empfangswinkel des Detektors die Messung nicht und der Detektor kann daher auch einen größeren Empfangswinkel als den begrenzenden Empfangswinkel γ aufweisen.

Obwohl die Dosisbeziehung für photochemische Schädigung der Netzhaut für Bestrahlungsdauern bis zu 10 000 Sekunden gilt, kann der Grenzwert ab 100 Sekunden als konstanter Bestrahlungsstärke-Wert definiert werden, da Augenbewegung die einfallende Strahlung über

einen größere Fläche auf der Netzhaut verteilt und so zu einer Verringerung der effektiven Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut führt [7]. Das Ausmaß der Augenbewegungen spiegelt sich auch direkt im begrenzenden Empfangswinkel (limiting angle of acceptance, γ) wieder: mit größer werdender Beobachtungsdauer (Bestrahlungsdauer) wird das Ausmaß der Augenbewegungen, und damit die Größe der bestrahlten Fläche auf der Netzhaut, größer [3]. Der Faktor C_3 beschreibt die Wellenlängenabhängigkeit der Wirksamkeit der Strahlung und ist gemeinsam mit den anderen Faktoren der MZB und GZS Tabellen in Tabelle 6 wiedergegeben.

Tabelle 5: Reproduktion der MZB-Werte für das Auge im Wellenlängenbereich von 400 bis 1400 nm und für Bestrahlungsdauern über 10 Sekunden.

Exposure time Wave-length t in s λ in nm	10 to 10 ²		10 ² to 10 ⁴		10 ⁴ to 3 × 10 ⁴	
	400 to 700*	retinal photochemical hazard				
100 C ₃ J·m ⁻² using $\gamma = 11$ mrad		1 C ₃ W·m ⁻² using $\gamma = 1,1 t^{0,5}$ mrad		1 C ₃ W·m ⁻² using $\gamma = 110$ mrad		
AND*						
400 to 700 nm*	retinal thermal hazard					
	(t ≤ T ₂) 18 t ^{0,75} C ₆ J·m ⁻²		$\alpha \leq 1,5$ mrad: 10 W·m ⁻² $\alpha > 1,5$ mrad: 18 C ₆ T ₂ ^{-0,25} W·m ⁻²		(t > T ₂)	
700 to 1400	(t ≤ T ₂) 18 t ^{0,75} C ₄ C ₆ C ₇ J·m ⁻²		$\alpha \leq 1,5$ mrad: 10 C ₄ C ₇ W·m ⁻² $\alpha > 1,5$ mrad: 18 C ₄ C ₆ C ₇ T ₂ ^{-0,25} W·m ⁻²		(t > T ₂)	

Bei einer Risikobeurteilung oder Klassifizierung müssen die Meßwerte mit beiden Grenzwerten verglichen werden. Je nach Wellenlängenbereich, Bestrahlungsdauer und Ausdehnung der scheinbaren Quellen wird entweder der eine oder der andere Grenzwert der niedrigere, d.h. der bestimmende sein. Die Grenzwerte sind in getrennter Form zwar nur ab 10 Sekunden definiert, für den besonderen Fall von Strahlung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 484 nm und Größen der scheinbaren Quelle zwischen 2 mrad und 82 mrad soll der photochemische Grenzwert aber auch schon ab Bestrahlungsdauern von 1 Sekunde verwendet werden.

Tabelle 6: Reproduktion der in den MZB und GZS Tabellen enthaltenen Faktoren

Parameter	Spectral region (nm)
$C_1 = 5,6 \times 10^{-3} t^{0,25}$	302,5 to 400
$T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295)} \times 10^{-15} \text{ s}$	302,5 to 315
$C_2 = 10^{0,2(\lambda - 295)}$	302,5 to 315
$T_2 = 10 \times 10^{[(\alpha - 1,5 \text{ mrad}) / 98,5]} \text{ s}^*$	400 to 1 400
$C_3 = 1,0$	400 to 450
$C_3 = 10^{0,02(\lambda - 450)}$	450 to 600
$C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$	700 to 1 050
$C_4 = 5$	1 050 to 1 400
$C_5 = N^{-1/4**}$	400 to 10^6
$C_6 = 1$ for $\alpha \leq \alpha_{\min}$	400 to 1 400
$C_6 = \alpha / \alpha_{\min}$ for $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$	400 to 1 400
$C_6 = \alpha_{\max} / \alpha_{\min} = 66,66$ for $\alpha > \alpha_{\max}$ ****	400 to 1 400
$C_7 = 1$	700 to 1 150
$C_7 = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$	1 150 to 1 200
$C_7 = 8$	1 200 to 1 400

* $T_2 = 10 \text{ s}$ for $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ and $T_2 = 100 \text{ s}$ for $\alpha > 100 \text{ mrad}$
 ** C_5 is only applicable to pulse durations shorter than 0,25 s.
 *** C_6 is only applicable to pulsed lasers and to CW lasers where thermal injury dominates
 **** The limiting angle of acceptance γ shall be equal to α_{\max}

Thermische Schädigung

Um einer thermische Schädigung der Netzhaut zu verursachen, ist es notwendig, eine bestimmte kritische Temperatur zu erreichen bzw. zu überschreiten, wobei die Zeit-Temperatur Geschichte relevant ist. Bei kurzen Bestrahlungsdauern können höhere Temperaturen bzw. Bestrahlungsstärken toleriert werden als bei längeren Bestrahlungen, d.h. der Grenzwert verringert sich mit größer werdender Bestrahlungsdauer.

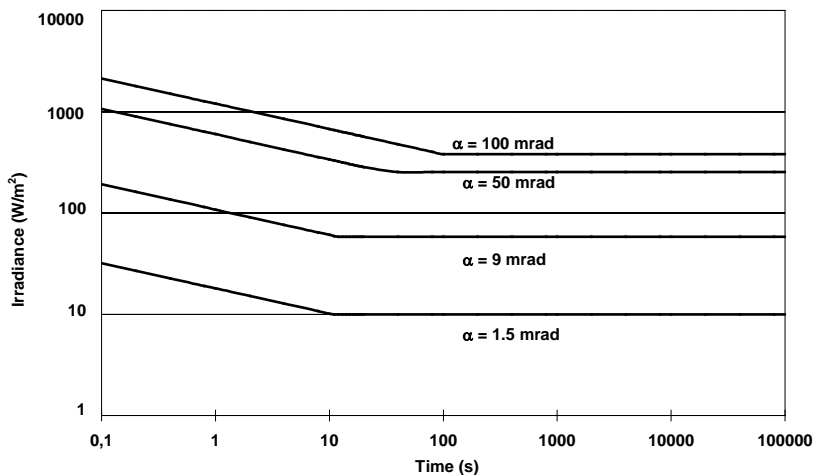


Figure 10a - MPE for direct ocular exposure to protect against thermal injury for exposure durations greater than 0.1 sec

Abbildung 2: Reproduktion der Abbildung des Änderungsentwurfs zu IEC 60825-1 zur Darstellung der Zeitabhängigkeit der Grenzwerte für thermische Schädigung für verschiedene Größen der scheinbaren Quelle α .

Bei Bestrahlungsdauern über ca. 0,25 s führen jedoch Augenbewegungen dazu, daß die in das Auge gelangende Strahlung auf eine größere Fläche auf der Netzhaut „verteilt“ wird, wodurch das Schädigungspotential sinkt. Dieser Einfluß der Augenbewegungen war bisher in den MZB-Werten nicht berücksichtigt und wird nun durch eine Konstant-Setzung der Grenzwerte ab einen bestimmten Wert für die Bestrahlungsdauer, T_2 , beschrieben (siehe Abb. 2). In der Praxis kann dieser Wert als kritischer Zeitpunkt mit der Bedeutung: „wenn bis dahin keine thermische Schädigung der Netzhaut eingetreten ist, wird es auch bei längerer Bestrahlung zu keiner Schädigung kommen“, gesehen werden.

Der Parameter T_2 ist von der Größe der scheinbaren Quelle² α abhängig, da die Verteilung der Energie auf eine größere Netzhautfläche für kleine scheinbare Quellengrößen effektiver ist als für größere Quellen. Das heißt, daß für größere scheinbare Quellen das Ausmaß der Augenbewegungen im Verhältnis größer sein muß (was wieder längeren Beobachtungsdauern entspricht), um eine Auswirkung auf den Grenzwert zu haben.

Faktor C_6

Der in den Grenzwerten enthaltene Faktor C_6 beschreibt die für thermische Schädigung gültige Abhängigkeit des MZB-Wertes von der Größe der scheinbaren Quelle (d.h. von der Größe der Abbildung der scheinbaren Quelle auf der Netzhaut). Diese Abhängigkeit ergibt sich aus radialen Kühlungseffekten für kleine Bestrahlungsflächen im Gegensatz zur Bestrahlung von größeren Flächen, bei denen die Wärme vom Zentrum der Bestrahlung nicht radial abgeleitet werden kann. Für Punktquellen (im Amendment: „kleine Quellen“), das sind Quellen mit einer Winkelausdehnung von weniger als 1,5 mrad, ist der Faktor $C_6 = 1$. Für Quellen mit mittlerer Ausdehnung („intermediate sources“) erhöht sich der Faktor C_6 linear mit der Ausdehnung der scheinbaren Quelle, α : $C_6 = \alpha/\alpha_{\min}$. Für große Quellen („large sources“), das sind Quellen mit Ausdehnung von mehr als 100 mrad, vergrößert sich der Faktor C_6 nicht weiter und bleibt konstant bei $C_6 = 100/\alpha_{\min}$.

Im Gegensatz zur derzeit gültigen Fassung der Norm, bei der sich α_{\min} als Funktion der Zeit erhöht, wodurch sich der Korrekturwert C_6 für längere Bestrahlungsdauern entsprechend erniedrigt, wird in der aktuellen Änderungen der Wert von α_{\min} jedoch konstant als gleich 1,5 mrad definiert. Der ursprüngliche Hintergrund des zeitabhängigen Verhaltens von α_{\min} war die Berücksichtigung von Augenbewegungen, und die dadurch entstehende Vergrößerung der Bestrahlungsfläche auf der Netzhaut. Jedoch beschreibt das zeitliche Verhalten von C_6 den Einfluß der Augenbewegungen nicht korrekt und im Zuge der Neu-Definition der MZB-Werte für lange Bestrahlungsdauern wurde der Einfluß der Augenbewegung direkt in die Grenzwerte aufgenommen. C_6 bezieht sich nun auf den Wert von α_{\min} , der für kurze Bestrahlungsdauern galt, 1,5 mrad, was gleichzeitig auch unabhängig von Augenbewegungen dem kleinstmöglichen Abbilddurchmesser auf der Netzhaut entspricht. α_{\min} ist in der gesamten Norm als $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad definiert, und daher auch: $C_6 = \alpha/\alpha_{\min} = \alpha/1,5$ mrad.

Wiederholte Pulse

Die Änderung der derzeit gültigen Norm bezüglich der Grenzwerte für wiederholte Pulse betrifft verschiedene Ergänzungen zum reduzierten Puls-kriterium. Das reduzierte Puls-kriterium beschreibt, wie sich der MZB-Wert für wiederholte Exposition im Vergleich zu einer einzelnen Exposition in Abhängigkeit der Anzahl der Pulse N mit $N^{-0,25}$ verringert.

² Die scheinbare Quelle ist jene Quelle, die man wahrnimmt, wenn man in den Strahl blickt. Bei gut kollimierter Laserstrahlung scheint die Quelle eine Punktquelle zu sein und hinter dem Laser zu liegen.

Pulse, die sich innerhalb eines Zeitfensters mit der Dauer T_i befinden, werden als ein Puls gezählt und die Bestrahlung der einzelnen Pulse wird addiert um mit dem Grenzwert für die Zeit T_i verglichen zu werden. Die Zeit T_i leitet sich vom Zeitpunkt ab, bei dem der MZB-Wert für die Augen von einem konstanten Bestrahlungswert zu einem MZB-Wert der von der Bestrahlungsdauer abhängt, übergeht („i“ für *inflection point*).

Tabelle 7: Zeiten T_i , die den Zeitrahmen angeben, innerhalb dessen Pulse gruppiert und Bestrahlungen addiert werden.

Wavelength	T_i
$400 \text{ nm} \leq \lambda < 1050 \text{ nm}$	$18 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
$1050 \text{ nm} \leq \lambda < 1400 \text{ nm}$	$50 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
$1400 \text{ nm} \leq \lambda < 1500 \text{ nm}$	10^{-3} s
$1500 \text{ nm} \leq \lambda < 1800 \text{ nm}$	10 s
$1800 \text{ nm} \leq \lambda < 2600 \text{ nm}$	10^{-3} s
$2600 \text{ nm} \leq \lambda \leq 10^6 \text{ nm}$	10^{-7} s

Die Dauer für die Bestimmung der Pulsanzahl N wird für Wellenlängen im Bereich von 400 nm bis 1400 nm nach oben hin durch die Zeit T_2 , für Wellenlängen über 1400 nm mit 10 s beschränkt. Die Einschränkung des Zeitrahmens zur Bestimmung von N nach unten und oben begründet sich einerseits in der thermischen Auflösung von einzelnen Pulsen und andererseits in Verteilung der einzelnen Pulse über einen bestimmten Bereich auf der Netzhaut, sodaß es zu keiner Überlagerung der einzelnen Pulse mehr kommt.

Für unregelmäßige Pulsfolgen wird ferner eine alternative zum reduzierten Puls-kriterium angegeben, die als TOTP-Methode (Total-On-Time-Pulse) bezeichnet wird. Dazu werden die Pulsdauern der einzelnen Pulse innerhalb eines Zeitraumes T_2 addiert, wobei Pulsen oder Pulsgruppen mit kürzeren Längen als T_i die Pulsdauer T_i zugeordnet wird. Die Energien der Pulse werden ebenfalls addiert, und mit dem Grenzwert, der für die Gesamt-Puls-On-Time bestimmt wird, verglichen. Für konstante Pulsmuster ist dieses Verfahren mathematisch jenem des reduzierten Puls-kriteriums ($N^{-1/4}$) äquivalent. Mittelt man die Energien pro Puls um sie mit dem $N^{-1/4}$ Kriterium zu vergleichen, sind die beiden Methoden auch für unregelmäßige Pulsfolgen äquivalent.

Ultrakurze Pulse

In Ermangelung von genaueren biologischen Daten werden in der zur Zeit gültigen Fassung der Norm die Augen MZB-Werte für Pulsdauern kürzer als 1 ns bei dem Wert von 1 ns in Form einer Bestrahlungsstärke (oder Leistung bei GZS Tabellen) konstant gehalten. Das heißt, mit kürzer werdender Pulsdauer sinkt die maximal erlaubte Bestrahlung pro Puls (oder Energie pro Puls) linear mit kleiner werdender Pulsdauer, was einen konservativen Ansatz mit großen Sicherheitsfaktoren darstellt. In den letzten Jahren wurden genügend Daten über die Wirkung von ultrakurzen Pulsen im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm verfügbar [8], sodaß sich ICNIRP imstande sah, Grenzwerte für ultrakurze Pulse in den Entwurf für die Überarbeitung der Guidelines für Laser Grenzwerte aufzunehmen. Die MZB-Werte für Pulse mit Pulsdauern kleiner als 1 ns sind in Tabelle 8 aus dem aktuellen Entwurf für das Amendment zu IEC 60825-1 für Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm wiedergegeben. Für andere Wellenlängen werden die konstanten Bestrahlungsstärke-Werte beibehalten.

Tabelle 8: Reproduktion der MZB-Werte für die Schädigung der Netzhaut durch ultrakurze Pulse (aus der aktuellen Änderung zu IEC 60825-1).

Exposure time t in s	10^{-13} to 10^{-11}	10^{-11} to 10^{-9}
400 to 700	$1,5 \times 10^{-4} C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$2,7 \times 10^4 t^{0,75} C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$
700 to 1050	$1,5 \times 10^{-4} C_4 C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$2,7 \times 10^4 t^{0,75} C_4 C_6 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$
1050 to 1400	$1,5 \times 10^{-3} C_6 C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$	$2,7 \times 10^5 t^{0,75} C_6 C_7 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$

Grenzblenden

In der zur Zeit gültigen Fassung der Norm IEC 60825-1 ergibt sich bei der Spezifikation des Durchmessers der Grenzblende für das Auge für Wellenlängen von 1400 nm bis 10^5 nm bei 3 Sekunden ein Sprung von einem Durchmesser von 1 mm auf 3,5 mm. In der Änderung zu IEC 60825-1 wird nun ein kontinuierlicher Übergang wie folgt spezifiziert:

1 mm for	$t \leq 0,35 \text{ s}$
$1,5 t^{3/8}$ for	$0,35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$
3,5 mm for	$t \geq 10 \text{ s}$

Aufgrund dieser Änderung des Durchmessers der Grenzblende ändern sich auch jene GZS-Werte, die durch Multiplikation der MZB-Werte mit der Fläche der Grenzblende erhalten werden.

3.2 Klassifizierung

Durch die Klassifizierung werden Laserprodukte in Gruppen mit bestimmten Eigenschaften bezüglich der potentiellen Gefährlichkeit eingeteilt, was eine einfache Information über die potentiellen Gefahren für Auge und Haut ermöglicht, sowie eine Zuordnung von notwendigen Konstruktionsmerkmalen und organisatorische Schutzmaßnahmen erleichtert. Durch das Amendment zu IEC 60825-1 ändert sich nichts Grundlegendes an der bisher gültigen Klasseneinteilung, es wird jedoch eine logischere Darstellung in Bezug auf die Erhöhung der potentiellen Gefährlichkeit durch die Verwendung von optischen Instrumenten vorgeschlagen, sowie eine eigene Bezeichnung für Laser der Klasse 3B mit geringen Ausgangsleistungen. Die Bedeutung der einzelnen Klassen, wie sie zur Zeit gelten, sind in Tabelle 9 überblicksmäßig zusammengefaßt.

Tabelle 9: Überblick über die Bedeutung der derzeit gültigen Klassen 1 bis Klasse 3B

Klasse 1	sicher auch bei längerer Bestrahlung – für nacktes Auge und mit optischen Hilfsmitteln
Klasse 2	sicher durch Lidschlußreflex – für nacktes Auge und mit optischen Hilfsmitteln
Klasse 3A	sicher wie Klasse 1 und Klasse 2 (je nach Wellenlänge) für nacktes Auge, bei Verwendung von optischen Hilfsmitteln Überschreitung der MZB-Werte möglich
Klasse 3B	Gefährdung des Auges (auch des unbewaffneten Auges) durch direkte Bestrahlung

Die mögliche Erhöhung der Gefährdung durch die Verwendung von optischen Hilfsmitteln wird traditionell in der Klassifizierung von Laserprodukten miteinbezogen. D.h. ein Laserprodukt der Klasse 1 ist nicht nur sicher bei Bestrahlung des nackten Auges, sondern es werden auch bei Verwendung von großen Feldstechern und starken Lupen die Grenzwerte für das Auge nicht

überschritten. Die Tradition der Berücksichtigung von optischen Instrumenten gründet sich besonders auf zwei spezielle Verwendungen von Laser-Einrichtungen: militärische Laserabstandsmeßgeräte und Lichtwellenleiter. Bei der Verwendung von militärischen Laserabstandsmeßgeräten (Rangefinder) mit großen Strahldurchmessern in militärischem Gelände besteht durch die Verwendung von großen Ferngläsern ein erhöhtes Gefährdungspotential. Bei Lichtwellenleitern, wie sie für die Datenübertragung eingesetzt werden, wurden Lupen dazu verwendet, die Endfläche der Lichtwellenleiter zu inspizieren. Ob es gerechtfertigt ist, generell alle Laserprodukte und Leuchtdioden unter der Berücksichtigung der möglichen Verwendung von optischen Instrumenten zu klassifizieren, wird schon seit einiger Zeit diskutiert, wobei dies eine Frage des akzeptierten Risikos im Sinne einer Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer Bestrahlung während der Verwendung von optischen Instrumente ist. In dieser Diskussion wird auch argumentiert, daß für die Klassifizierung mehrere „worst-case“ Annahmen zu treffen sind, wie z.B. sehr geringe Bestrahlungsabstände, und daß mit der Klasse eines Produktes auch wirtschaftliche und betriebliche Faktoren (Konstruktionsanforderungen, Laserschutzbeauftragter, behördliche Auflagen) verbunden sind. Zu Beginn der Überarbeitung der Norm wurde daher vorgeschlagen, die Klassen 1 und 2 in Sub-Klassen aufzuteilen, z.B. Klasse 1A mit der Bedeutung „sicher auch mit optischen Instrumenten“ und Klasse 1B „sicher für unbewaffnetes Auge, potentielle Gefahr bei Verwendung von optischen Instrumenten“. Bei der IEC TC 76 Sitzung in Frankfurt im Jahre 1997 wurde durch die deutsche Experten der WG1 eine logischere Einteilung vorgeschlagen, die den Vorteil hat, die Bedeutung und Definition der derzeit gültigen Klasse 1 und Klasse 2 unverändert zu lassen. Die Bedeutung des entsprechend adaptierten Klassenschemas ist in Tabelle 10 überblicksmäßig dargestellt („M“ für *Magnification*):

Tabelle 10: Überblicksmäßige Darstellung des Vorschlages für ein überarbeitetes Klassifizierungsschema.

Klasse 1	sicher auch bei längerer Bestrahlung – für nacktes Auge <i>und</i> mit optischen Hilfsmitteln
Klasse 1M	sicher auch bei längerer Bestrahlung des nackten Auges – mit optischen Hilfsmitteln potentielle Überschreitung des MZB Wertes am Auge
Klasse 2	sicher durch Lidschlußreflex – für nacktes Auge <i>und</i> mit optischen Hilfsmitteln
Klasse 2M	sicher durch Lidschlußreflex bei Bestrahlung des nackten Auges – mit optischen Hilfsmitteln potentielle Überschreitung des MZB Wertes am Auge

Durch das in Tabelle 10 beschriebene Schema ist die bisherige Klasse 3A nicht mehr notwendig. Die meisten Produkte, die bisher Klasse 3A waren, werden je nach Wellenlänge entweder zu Klasse 1M oder Klasse 2M (da sich auch die Meßbedingungen ändern, ist die Übereinstimmung von zur Zeit gültigen Klassifizierungen mit künftigen Klassifizierungen nicht eindeutig möglich). Die GZS-Werte der Klassen 1 und 2 gelten auch für die Klassen 1M und 2M, die Unterscheidung ergibt sich durch verschiedene Meßbedingungen, wie weiter unten beschrieben.

Folgend eines Vorschlages eines österreichischen Experten der WG1 bei der Sitzung in Frankfurt wurde auch eine eigene Bezeichnung für eine im Prinzip schon bestehende Klasse, die bisher jedoch auch mit „3B“ bezeichnet wurde, eingeführt. Es handelt sich hierbei um Laserprodukte mit Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich (400 nm bis 700 nm), deren Ausgangswerte kleiner als das Fünffache der GZS Werte der Klasse 2 waren, also weniger als 5 mW. Diese „Klasse“ von Lasern ist in der derzeit gültigen Fassung der Norm von vielen Konstruktionsanforderungen (Schlüsselschalter, Emissionswarnanzeige, etc.) sowie von Benutzerrichtlinien (Tragen von Schutzbrillen) ausgenommen, jedoch sind die Laserprodukte als Klasse 3B klassifiziert und auch dementsprechend mit einem Warnschild zu versehen. Da diese Inkonsistenz zwischen technischer Ausstattung und Verwendung (praktisch wie Klasse 2) auf der einen Seite und Beschilderung als Klasse 3B auf der anderen Seite immer wieder zu Mißverständnissen bei

Anwendern und Behörden führte, werden diese Produkte folgend der vorgeschlagenen Änderung als „Klasse 3R“ eingeteilt („R“ für *relaxed*). Die Definition der Klasse 3R wurde jedoch nicht nur auf den sichtbaren Wellenlängenbereich beschränkt, sondern gilt für Wellenlängen von 302,5 nm bis 10^6 nm, wobei sich die GZS-Werte der Klasse 3R direkt aus den GZS-Werten der Klasse 1 durch Multiplikation mit dem Faktor 5 herleiten (im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm gilt eine Zeitbasis von 0,25 s und der GZS Wert wird für Zeiten über 0,25 s gleich $C_6 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ W gesetzt).

3.3 Messbedingungen

In welche Klasse ein bestimmtes Produkt fällt, hängt nicht nur von den GZS-Werten ab, sondern auch in kritischer Weise von den Bedingungen, mit denen der Meßwert erhalten wird, der dann in weiterer Folge mit den GZS-Werten verglichen wird. Bei den Meßbedingungen geht es prinzipiell um den Durchmesser der Meßblende sowie um den Abstand dieser Blende von der (scheinbaren) Quelle. In Tabelle 11 ist die entsprechende Tabelle der Meßbedingungen des Änderungsvorschlags zu IEC 60825-1 reproduziert.

Tabelle 11: Reproduktion der Tabelle mit den Meßbedingungen für die Klassifizierung eines Laserproduktes (aus dem Entwurf zur Änderung von IEC 60825-1).

Table XX. Diameters of the measurement apertures and measurement distances

Wavelength (nm)	For values expressed in power (W) or energy (J)				For irradiance (W/m ²) or radiant exposure (J/m ²)	
	Condition 1 (divergence ≤ 5 mrad)		Condition 2 (divergence > 5 mrad)		In the wavelength range of 400 nm to 4000 nm, these values are also applicable for the test for Class 1M and Class 2M (see 9.3 c) and d))	
for Class 1 see also 9.3 c) for Class 2 see also 9.3 d)	Aperture stop (mm)	Distance (mm)	Aperture stop (mm)	Distance (mm)	Limiting Aperture (mm)	Distance (mm)
< 302,5 nm	-	-	7	14	1	0
≥ 302,5 nm to 400 nm	25	2000	7	14	1	100
≥ 400 nm to 1400 nm	50	2000	7*	r*	7	100
≥ 1400 nm to 4000 nm	25	2000	7	14	1 mm for t ≤ 0,35 s 1,5 t ^{3/8} for 0,35 s < t < 10 s 3,5 mm for t ≥ 10 s.	100
≥ 4000 nm to 10 ⁵ nm	-	-	7	14	1 mm for t ≤ 0,35 s 1,5 t ^{3/8} for 0,35 s < t < 10 s 3,5 mm for t ≥ 10 s.	0
≥ 10 ⁵ nm to 10 ⁶ nm	-	-	7	14	11	0

* For the thermal limits, r is given by (for the test for Class 1M and 2M, refer to 9.3 c) and d)):

$$r = (100 \text{ mm}) \sqrt{\frac{\alpha + 0,46 \text{ mrad}}{\alpha_{\max}}} \quad \text{If } \alpha < \alpha_{\min}, r = 14 \text{ mm. If } \alpha \geq \alpha_{\max}, r = 100 \text{ mm.}$$

For the photochemical limits, r is given by:

$$\begin{aligned} r &= 14 \text{ mm} && \text{for } \alpha \leq 1,5 \text{ mrad} \\ r &= 100 \text{ mm } (\alpha / 11 \text{ mrad}) && \text{for } 1,5 \text{ mrad} < \alpha \leq 11 \text{ mrad} \\ r &= 100 \text{ mm} && \text{for } \alpha > 11 \text{ mrad} \end{aligned}$$

Entsprechend den beiden unterschiedlichen Gruppen von optischen Instrumenten (siehe Absatz 2.2) werden zwei Sätze von Meßbedingungen definiert: "Condition 1", um die mögliche Erhöhung des Risikos durch Ferngläser zu berücksichtigen, und "Condition 2", um dies für Lupen zu tun. Jene Bedingung, die den größten Meßwert liefert, ist anzuwenden. Als Richtwert für die Unterscheidung der beiden Bedingungen ist eine Strahldivergenz von 5 mrad angegeben, d.h. für Strahlen mit großer Divergenz wird Condition 2 größere Meßwerte liefern, für gut kollimierte Strahlen mit großen Durchmessern aber Condition 1.

Die rechten beiden Spalten geben die Meßbedingungen für GZS-Werte an, die in W/m^2 oder J/m^2 gegeben sind, das sind jene Werte, die direkt aus der MZB-Tabelle für das Auge übernommen wurden. Die angegebenen Entfernungen beziehen sich für Condition 1 auf die Laseraustrittsöffnung der Laser-Einrichtung, für Condition 2 und die rechten beiden Spalten auf den Ort der scheinbaren Quelle. Für Wellenlängen unter 302,5 nm und über 4000 nm sind optische Materialien nicht durchlässig und es wird nur eine Meßbedingung definiert, die dem unbewaffneten Auge in 14 mm Abstand von der scheinbaren Quelle entspricht.

Der sich für ausgedehnte Quellen mit der Ausdehnung der Quelle vergrößernde Abstand der Meßblende (Formel für r unter der Tabelle) soll die Vergrößerung des Abbildes der scheinbaren Quelle durch die Verwendung der Lupe berücksichtigen (die Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle wird in einem Abstand von 10 cm von der scheinbaren Quelle bestimmt).

Die in Tabelle 11 angegebenen Werte für Meßblende und Meßabstand (Condition 1 und 2) gelten für die Bestimmung des Meßwertes, wenn optische Hilfsmittel berücksichtigt werden sollen. Liegen also die so bestimmten Meßwerte unter den GZS-Werten z.B. der Klasse 1, wäre das Produkt als Klasse 1 einzustufen. Überschreiten die Meßwerte nach Condition 1 oder 2 die GZS-Werte für Klasse 1 (oder Klasse 2), kann man die Messung mit den Meßbedingungen der rechten beiden Spalten durchführen, um zu prüfen, ob die Lasereinrichtung die Bedingung für Klasse 1M (oder Klasse 2M) erfüllt. Diese Meßbedingungen sind für eine Beurteilung des Risikos für ein unbewaffnetes Auge repräsentativ, und zeichnen sich im Vergleich zu Condition 1 und 2 durch eine kleiner Meßblende bzw. durch einen größeren Meßabstand aus. D.h. bei gleichbleibenden Laserparametern wird der Meßwert unter diesen Meßbedingungen kleiner sein als der größere der beiden Meßwerte unter Condition 1 oder 2. Liegt der mit den Bedingungen der rechten beiden Spalten bestimmte Meßwert unter den entsprechenden GZS-Werten, ist die Lasereinrichtung als Klasse 1M beziehungsweise Klasse 2M einzuteilen. Die maximale Leistung, die durch ein optisches Instrument eingefangen werden kann, ist für Klasse 1M und Klasse 2M durch die GZS-Werte der Klasse 3B beschränkt, wobei hier wieder Condition 1 oder 2 anzuwenden ist.

3.4 Sonstige Änderungen

Der Abschnitt am Beginn der Norm, welcher die Begriffsbestimmungen enthält, wurde entsprechend den oben beschriebenen Änderungen ergänzt oder korrigiert. Bestimmungen über thermische Schädigung, photochemische Schädigung, Empfangswinkel, beschränkter Empfangswinkel (limiting angle of acceptance), kleine Quellen, und die abgeänderten Klassen-Definitionen betreffen die wichtigsten Änderungen.

Im Hauptabschnitt zwei werden keine prinzipiellen Änderungen bezüglich der Konstruktionsanforderungen vorgeschlagen, jedoch vereinfachen sich viele Formulierungen, in denen sonst „außer der Klasse 3B mit nicht mehr als fünfmal den Strahlungsgrenzwerten (GZS) der Klasse 2 im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm“ vorkam – dies lautet jetzt „außer Klasse 3R“. Die derzeit gültigen Ausnahmen bezüglich der Klasse 3B mit nicht mehr als fünfmal den

Strahlungsgrenzwerten (GZS) der Klasse 2 im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm wurden direkt für die Klasse 3R übernommen (die ja im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4000 nm definiert ist), mit Ausnahme der Emissionswarneinrichtung, die für Lasereinrichtungen der Klasse 3R im Wellenlängenbereich außerhalb 400 nm bis 700 nm gefordert ist.

Beschilderung

Das adaptierte Klassifizierungsschema spiegelt sich auch in den Warnschildern wieder, wobei dem Nutzer bei den Klassen 1M und 2M auch die Information, welche Gruppe von optischen Instrumenten zu einer Erhöhung des Risikikos führt, gegeben wird (in einem Bereich, in dem mit Verwendung von Ferngläsern gerechnet wird, wäre z.B. der Einsatz einer Klasse 1M Leuchtdiodeneinrichtung unbedenklich).

Each Class 1M laser product which is classified 1M because it fails condition 1 of table xx (collimated, large diameter beam) shall have affixed an explanatory label bearing the words:

LASER RADIATION
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH BINOCULARS OR TELESCOPES
CLASS 1M LASER PRODUCT

Each Class 1M laser product which is classified 1M because it fails condition 2 of table xx (highly diverging beam) shall have affixed an explanatory label bearing the words:

LASER RADIATION
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH MAGNIFIERS
CLASS 1M LASER PRODUCT

Each Class 2M laser product which is classified 2M because it fails condition 1 of table xx (collimated large diameter beam) shall have affixed [] an explanatory label bearing the words:

LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO THE BEAM OR VIEW
DIRECTLY WITH BINOCULARS OR TELESCOPES
CLASS 2M LASER PRODUCT

Each Class 2M laser product which is classified 2M because it fails condition 2 of table xx (highly diverging beam) shall have affixed [] an explanatory label bearing the words:

LASER RADIATION
DO NOT STARE INTO THE BEAM OR VIEW
DIRECTLY WITH MAGNIFIERS
CLASS 2M LASER PRODUCT

Each Class 3R laser product in the wavelength range from 400 nm to 1400 nm shall have affixed [] an explanatory label bearing the words:

LASER RADIATION
AVOID DIRECT EYE EXPOSURE
CLASS 3R LASER PRODUCT

For other wavelengths, each Class 3R laser product shall have affixed [] an explanatory label bearing the words:

LASER RADIATION
AVOID EXPOSURE TO BEAM
CLASS 3R LASER PRODUCT

Die Beschilderung von Abdeckungen ändert sich entsprechend obigen Warnungen, jedoch soll bei den Schildern auf den Abdeckungen in Zukunft auch die Klasse des bei Öffnen der Abdeckung zugänglichen Lasers angegeben werden, z.B.:

CAUTION – CLASS 1M LASER RADIATION WHEN OPEN
DO NOT VIEW DIRECTLY WITH MAGNIFYING OPTICAL INSTRUMENTS

Ähnlich wie bei den Konstruktionsanforderungen sind in den Benutzerrichtlinien des Hauptabschnittes zwei und in den Anhängen der Norm keine grundlegenden Änderungen enthalten, sondern es spiegeln sich nur die Änderungen des Klassifizierungsschemas und der MZB-Werte wieder.

Literatur

[1] Werner Horak, *Risk Assessment of Light Emitting Diodes*, J. of Laser Appl. Vol 11: (1999), pp. 21-26

[2] ICNIRP. „*Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1,000 μm* “. Health Physics Vol. 71: (1997), pp. 804-819

[3] ICNIRP. “*Revision of Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1,000 μm* “. Health Physics to be published

[4] Karl Schulmeister, *Averaging Apertures and Field-Of-Views for Hazard Measurements*, in: *Measurement of Optical Radiation Hazards*, ICNIRP 1999

[5] W. T. Ham, H. A. Mueller and D.H. Sliney, *Retinal Sensitivity to damage from short wavelegnth light*. Nature Vol. 260: (1976), pp 153-155

[6] ICNIRP. *Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3 μm)*. Health Physics Vol. 73: (1997), pp. 539-554

[7] Karl Schulmeister, Martina Schwaiger, Georg Vees, Christian Schmitzer, *Measurement of Optical Radiation to Assess the Blue Light Hazard*. ILSC 99, Laser Institute of America 1999

[8] Benjamin A. Rockwell et al., *Ultrashort Laser Pulse Bioeffects and Safety*. J. of Laser Appl. Vol 11: (1999), pp. 42-44