

Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz

**Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung
relevanter optischer Strahlenquellen - Abschätzung von Risiken
für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung
- Vorhaben 3617S82441**

**Auftragnehmer:
Photometrik GmbH**

**W. Pepler
T. Collath
Prof. H.-D. Reidenbach**

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMU (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

BfS-RESFOR-146/19

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-2019032717803

Salzgitter, März 2019

Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen

Abschätzung von Risiken für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung

Wjatscheslaw Pepler

Photometrik GmbH, Eppertshausen

Thomas Collath

Ingenieurbüro Goebel GmbH, Darmstadt

Prof. Hans-Dieter Reidenbach

Technische Hochschule Köln

20.10.2018

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Rechtliche Regelungen	7
2.1	Arbeitsschutz	7
2.2	Produktsicherheit	8
2.2.1	Niederspannungsrichtlinie	9
2.2.2	Produktsicherheitsrichtlinie	10
2.2.3	RAPEX	11
2.2.4	Laser	12
2.2.4	Inkohärente Lichtquellen	15
2.3	Problematik	16
3	Empfehlungen nationaler und internationaler Gremien	18
3.1	Internationale Empfehlungen	18
3.2	Nationale Empfehlungen	24
4	Blendung	30
4.1	Blendung und Schädigung	32
4.2	Blendabstände	34
4.3	Grenzwerte und Abhängigkeiten vorübergehender Blendung	34
4.1	Arbeitsschutz	38
4.2	Straßenverkehr	39
5	Ergebnisse bisheriger Untersuchungen	45
5.1	Laserpointer	45
5.2	Gartenlaser	57
5.3	Geräte für Laserspiele ("Lasertags")	58
5.4	Fahradlampen	58
5.5	LED- und Lasertaschenlampen	59
5.6	Weitere LED- und Laserverbraucherprodukte	60
6	Charakterisierung von Strahlenquellen	62
6.1	Bewertung der photobiologischen Sicherheit inkohärenter Lichtquellen	62
6.1.1	Messvorgang	62
6.1.2	Auswertung und Grenzwerte	67

6.1.3	Klassifizierung	68
6.2	Bewertung der photobiologischen Sicherheit kohärenter Lichtquellen	69
6.2.1	Klassifizierung	69
6.2.2	Messverfahren	72
6.3	Weitere Messungen	75
7	Messergebnisse	76
7.1	Fahrradlicht	78
7.2	Taschenlampen	82
7.3	Laser-Taschenlampen	85
7.4	Laserpointer	87
7.5	Laser für Lichteffekte	90
7.6	Lasermesssysteme	93
7.7	Sonstige Laserprodukte	95
8	Blendungsbewertung	99
8.1	Blendung durch Fahrradlicht	99
8.2	Blendung durch Laserpointer	104
9	Zusammenfassung und Ausblick	107
10	Literaturverzeichnis	114
11	Anhang	125
11.1	Messergebnisse untersuchter Fahrradlampen	125
11.2	Messergebnisse untersuchter LED-Taschenlampen	140
11.3	Messergebnisse untersuchter Laser-Taschenlampen	161
11.4	Messergebnisse untersuchter Laserpointer	174
11.5	Messergebnisse untersuchter weiterer Laser- und LED-Verbraucherprodukte	204

1 Einleitung

Die technische Realisierung des Prinzips der stimulierten Emission von optischer Strahlung in Form des Lasers einerseits und die Entwicklung von lichtemittierenden Dioden (LEDs) auf der Basis von Halbleitermaterialien andererseits haben insbesondere in den letzten Jahren zu vielfältigen Anwendungen geführt. Vor allem hat die rasante Entwicklung der Halbleitertechnologien immer stärkere und günstige Lichtquellen sowohl in Form von LEDs als auch von Laserdioden hervorgebracht.

Laser werden heute nicht mehr nur in wissenschaftlichen Laboratorien oder im industriellen und medizinischen Bereich eingesetzt, sondern finden sich zunehmend auch als oder in Produkte(n), die der Allgemeinbevölkerung zugänglich sind oder sogar für diese hergestellt werden. Bei Lasern werden dabei insbesondere die charakteristischen Eigenschaften der Einfarbigkeit (Monochromasie), der geringen Strahlaufweitung (Divergenz), der guten Bündelbarkeit (quasi paralleler Strahl) und der ausgezeichneten Fokussierung der emittierten Strahlung in den entsprechenden Geräten und Produkten ausgenutzt.

Laser werden schon seit einiger Zeit in geschlossenen Systemen wie Kopierern, Druckern und CD-/DVD-/Blu-Ray-Playern verwendet. Auf der anderen Seite finden Laser bislang noch keinen Einsatz im Bereich der Beleuchtungstechnik und der Speziallampen, wenn man von den Fahrzeugscheinwerfern der "nächsten Generation" und den Laser-Taschenlampen absieht. Vielmehr werden Laser in den Anwendungen, bei denen es entweder auf die monochromatischen Eigenschaften der Laserstrahlung ankommt oder man diese durch Ausnutzung der anderen charakteristischen Laserstrahleigenschaften bewusst in Kauf nimmt, eingesetzt.

Bei der Verwendung von Lasern in Laser-Taschenlampen kommt es insbesondere darauf an, dass sich das in der Regel farbige Laserlicht zur Objektan- bzw. -ausleuchtung einerseits auf einen relativ großen Strahldurchmesser aufweiten, aber andererseits auch fokussieren lässt. Hierdurch unterscheiden sich Laser-Taschenlampen von den inzwischen weit verbreiteten Laserpointern, mit denen bestimmungsgemäß ein möglichst kleiner Laserstrahlfleck erzeugt werden soll. Darüber hinaus finden sich Laser als Verbraucherprodukte in Laserwasserwaagen, Lasernivelliergeräten, Kreuzlinienlasern und Rotationslasern, sowie in ganz neuen Anwendungen wie z. B. als sogenannte Gartenlaser zur Erzeugung bestimmter Laserlicht-Effekte vorwiegend im Außenbereich, aber auch bei den unterschiedlichsten Anlässen im Innenbereich. Dazu kommen Anwendungen für gezielte Show- und Projektionszwecke und neuerdings sogar als Laser-Projektoren (Laserbeamer) beim Public Viewing, als Heimkino- oder Office-Beamer.

Bei LEDs spielt die sichtbare optische Strahlungsemission (Licht) in Verbindung mit einer guten Energieeffizienz (Wirkungsgrad) eine wichtige Rolle. Dies hat letztlich entscheidend dazu beigetragen, dass sich LEDs als Lampen bzw. Lampensysteme inzwischen fast in allen Lichtanwendungen als künstliche optische Strahlungsquellen finden, und zwar nicht nur bei der Beleuchtung.

Dabei gibt es LEDs heute schon seit geraumer Zeit nicht mehr nur - wie anfangs - als fast unscheinbare Anzeigelämpchen, sondern sie kommen in immer mehr Anwendungen zum Einsatz, bei denen entweder ein relativ großer Lichtstrom oder eine hohe Leuchtdichte ("Helligkeit") bzw. Beleuchtungsstärke erwünscht ist. Außer in der Beleuchtungstechnik (Allgemeinbeleuchtung in Arbeitsstätten, öffentlichen Einrichtungen und im Wohnbereich; Straßenbeleuchtung; Beleuchtung für Spezialzwecke usw.) kommen LEDs heute im Wesentlichen in Taschenlampen, Fahrzeugscheinwerfern und Fahrradlampen oder als Fotoblitze zum Einsatz. Neben dem durch Lumineszenzkonversion von blauem bzw. violettem LED-Licht in speziellen Leuchtstoffen erzeugten weißen Licht bei den Weißlicht-LEDs werden für unterschiedlichste Zwecke auch relativ schmalbandige farbige LEDs verwendet. Infolge der technischen

Möglichkeiten, die heutige LEDs bieten, werden diese u. a. auch als sogenannte taktische Taschenlampen für Polizeieinsatzkräfte und Sicherheitsdienste (Security), sowie nicht zuletzt beim Militär, eingesetzt. Aber auch private Anwendungen finden inzwischen solche Spezialtaschenlampen im Heim- und Hobbybereich. Hierbei können besondere Betriebsarten und Lichtfunktionen wie Warnsignale, Blitze und Stroboskopeffekte ("Strobe") als Signalgeber oder sogar zur Selbstverteidigung aktiviert und eingesetzt werden. Darüber hinaus wird einer möglichst großen Leuchtweite meist ein hoher Stellenwert beigemessen.

Effizienzsteigerungen einerseits und technische Realisierungsmöglichkeiten andererseits haben entscheidend dazu beigetragen, dass heute eine relativ große Vielfalt an Verbraucherprodukten, die entweder Laserstrahlung oder inkohärente optische Strahlung emittieren, für die Allgemeinbevölkerung auf dem Markt verfügbar ist. Neben dem positiven Effekt der Verfügbarkeit von immer neuen, günstigen und leistungsstarken Geräten und Produkten, die früher nur im professionellen Bereich eingesetzt wurden, sind für die breite Masse der Privatanwender aber auch Gefahren durch unsachgemäßen Gebrauch, mangelndes Gefährdungsbewusstsein, unzureichende Kennzeichnung und unvollständige oder gar fehlende Benutzerinformationen hinzugekommen. Außerdem liegt bei besonders billigen Produkten häufig eine mangelhafte Qualitätskontrolle vor.

Soweit es potenzielle Gefährdungen durch optische Strahlung solcher Verbraucherprodukte betrifft, kommt es insbesondere darauf an, dass sowohl die entsprechenden Benutzerinformationen die bestimmungsgemäße und die vorhersehbare Verwendung für den Benutzer der jeweiligen Produkte, Geräte und Einrichtungen umfassend und verständlich beschreiben als auch nur Produkte auf den Markt gelangen, die die Sicherheit und die Gesundheit von Personen nicht gefährden. Letzteres kann im Hinblick auf die Emission optischer Strahlung insbesondere durch die Einhaltung von Expositionsgrenzwerten erfolgen. Allerdings lassen die am Markt in dieser Hinsicht – zumindest teilweise – vorliegenden Gepflogenheiten, wonach auch gegen geltende Regelungen verstoßende Produkte auf dem Markt zu finden sind, annehmen, dass auch gefährliche Produkte verfügbar sind.

Neben den direkten Gefährdungen durch sichtbare optische Strahlung (Licht), existiert auch eine mögliche indirekte Gefährdung durch die Blendung von Personen. In der Lichttechnik wird generell zwischen psychologischer und physiologischer Blendung unterschieden. Die psychologische Blendung, welche eher bei geringeren Leuchtdichten bzw. Beleuchtungsstärken stattfindet, beschreibt einen rein störenden Effekt von möglichen Blendlichtquellen im Sichtfeld. Dabei werden das Wohlbefinden und der Sehkomfort vermindert, was z. B. im Arbeitsumfeld durch größere Anstrengung und Abwenderaktionen kompensiert werden muss. Der Bereich der physiologischen Blendung wird in der Regel bei höheren Expositionswerten erreicht. Hierbei ist dann insbesondere das Streulicht im Augapfel selbst so hoch, dass der Kontrast von betrachteten Objekten zu ihrer Umgebung vermindert wird. Darüber hinaus entstehen als Folge einer Blendung Nachbilder, welche die Wahrnehmung zusätzlich stören. Durch die physiologische Blendung entsteht eine erhebliche Beeinträchtigung der Sehleistung, welche nicht durch eine erhöhte Anstrengung zu kompensieren ist. Dieser Effekt soll z. B. auch durch Taschenlampen hervorgerufen werden, welche zur Selbstverteidigung genutzt werden.

Ziel der vorliegenden Studie war es vornehmlich für einen möglichst repräsentativen Querschnitt an am Markt verfügbaren Verbraucherprodukten, die entweder Laserstrahlung oder inkohärente optische Strahlung emittieren, durch messtechnische Untersuchungen der betreffenden Produkte zu validen Aussagen hinsichtlich einer Abschätzung der potenziellen Risiken für die Augen zu gelangen. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf eine mögliche Blaulichtgefahr und auf Blendung als indirekte Gefährdung, die von Produkten im sichtbaren Spektralbereich ausgehen kann, gelegt.

2 Rechtliche Regelungen

Bei den rechtlichen Regelungen findet sich eine Unterscheidung zwischen solchen für Arbeitsschutz und denjenigen des Verbraucherschutzes bzw. zur Produktsicherheit für die Allgemeinbevölkerung.

2.1 Arbeitsschutz

Produkte, die optische Strahlung erzeugen und emittieren, werden heute als Arbeitsmittel verwendet sowie als Verbraucherprodukte auf dem Markt bereitgestellt. Hierzu sind nicht nur auf der Herstellerseite sondern auch auf der Benutzerseite eine Reihe von Vorschriften und Regelungen zu beachten.

Im Arbeitsschutz gilt die Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) zum Schutz der Beschäftigten bei der Arbeit vor tatsächlichen oder möglichen Gefährdungen ihrer Gesundheit und Sicherheit durch optische Strahlung aus künstlichen Strahlungsquellen (1). Mit der OStrV wurde 2010 die EG-Arbeitsschutz-Richtlinie zu künstlicher optischer Strahlung (2006/25/EG) (2) in nationales Recht umgesetzt. Der Anwendungsbereich der OStrV umfasst die direkten Gefährdungen der Beschäftigten am Arbeitsplatz als Folge direkter Einwirkung der am Arbeitsplatz durch den Arbeitsprozess auftretenden künstlichen optischen Strahlung, d. h. Gefährdungen von Augen und Haut. Ebenso sind die sich dabei ergebenden indirekten Gefährdungen, zu denen auch die Blendwirkung gehört, miteingeschlossen.

Durch die Festlegung von Expositionsgrenzwerten (EGW) in der OStrV sollen kurz- und langfristig schädigende Wirkungen insbesondere auf Augen und Haut infolge der Einwirkung künstlicher optischer Strahlung vermieden werden. Allerdings werden dazu in der OStrV lediglich EGW bis zu einer maximalen Expositionsdauer von 30.000 s (entsprechend 8 Stunden) festgelegt und insofern können langfristige Schädigungen nur bedingt damit verhindert werden. Zu den kurzfristigen Schädigungen durch optische Strahlung aus künstlichen Quellen gehören z. B. Verbrennungen der Haut, Erythembildung durch UV-Einwirkung, Hornhaut- und Bindehautschädigungen des Auges sowie photothermische und photochemische Netzhautschäden. Dazu kommen Risiken wie das Auftreten einer Katarakt bei langfristiger UV- oder IR-Exposition sowie eine als Blaulichtgefährdung bekannte photochemische bzw. phototoxische Reaktion in der Netzhaut des Auges durch hohen kurzwelligen Blaulichtanteil.

Der Regelsetzer hatte bei optischer Strahlung dem Ausschuss für Betriebssicherheit (ABS) den Beratungsauftrag erteilt, nach dem Muster anderer Verordnungen, wie z. B. der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, Gefahrstoffverordnung, Arbeitsstättenverordnung, etc., Technische Regeln zur Auslösung der Vermutungswirkung zu ermitteln.

Grundsätzlich hätte auch festgestellt werden können, dass im Falle der Laserstrahlung die Unfallversicherungsträger hierzu bereits Inhalte im Rahmen von DGUV Vorschriften (Unfallverhütungsvorschriften) erarbeitet wurden und hätte diese Vorschriften ganz oder teilweise in die entsprechende staatliche Regel übernehmen können. In diesem Fall hätte die Urheberschaft dieser Inhalte in der staatlichen Regel kenntlich gemacht werden müssen und die entsprechende DGUV Vorschrift 11 bzw. 12 "Laserstrahlung" (3; 4) wäre nach dem sogenannten Kooperationsmodell zurückgezogen worden. Trotzdem sind aber wesentliche Inhalte aus der Unfallverhütungsvorschrift "Laserstrahlung" und den verschiedenen berufsgenossenschaftlichen Informationen zur Laserstrahlung in die Technischen Regeln TROS Laserstrahlung (5) übernommen worden.

Da für inkohärente optische Strahlung keine Unfallverhütungsvorschrift bestand, konnte auch keine Übernahme von Inhalten aus einer diesbezüglichen Unfallverhütungsvorschrift in die entsprechenden Technischen Regeln erfolgen. Die TROS IOS (6) sind aber dennoch entsprechend dem Konzept der TROS

Laserstrahlung erarbeitet worden. Die in beiden Technischen Regeln dargestellten beispielhaften Lösungen sollen die Umsetzung nach dem Stand der Technik erleichtern und die Akzeptanz in der Praxis erhöhen.

Der Arbeitgeber kann bei Einhaltung der Technischen Regeln (TROS IOS und TROS Laserstrahlung) (6; 5) davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der OStrV (1) erfüllt sind. Dies gilt auch hinsichtlich der Einhaltung der in diesen beiden Technischen Regeln enthaltenen Expositionsgrenzwerte. Die Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung in den TROS IOS basieren auf dem Anhang I und für Laserstrahlung auf dem Anhang II der Richtlinie 2006/25/EG (2) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19). Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG (7).

2.2 Produktsicherheit

Der Schutz der Allgemeinbevölkerung vor optischer Strahlung in Deutschland wird wie folgt geregelt (8):

- Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSG) vom 08.04.2013, welches ausschließlich Anwendung für den Schutz und die Bestimmung hinsichtlich Nebenwirkungen von nichtionisierender Strahlung findet, die durch die Verwendung von nichtionisierender Strahlung auf den Menschen verursacht werden können (9),
- Verordnung zum Schutz der schädlichen Wirkung künstlicher ultravioletter Strahlung (UV-Schutz-Verordnung - UVSV) vom 20.07.2011, welche für den Betrieb von UV-Bestrahlungsgeräten, die für kosmetische Zwecke oder andere kommerzielle Anwendungen am Menschen oder bei sonstiger wirtschaftlicher Unternehmung, ausgenommen der Anwendung im Bereich der Medizin oder Zahnmedizin, zu berücksichtigen ist (10),
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vom 15.03.1974, zuletzt geändert am 29. Mai 2017 (11), und
- Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) vom 08.11.2011, zuletzt geändert am 31.08.2015 (12).

Hinsichtlich des Schutzes der Allgemeinbevölkerung gegenüber optischer Strahlung finden in Deutschland gemäß (8) folgende EU-Richtlinien Berücksichtigung:

- 89/392/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen (13) (zuletzt geändert durch die Richtlinie 91/368/EWG) (14),
- 89/686/EWG (Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstung) (15),
- 98/34/EG (Richtlinie über Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften) (16),
- 2001/95/EG (Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit) (17),
- 2005/36/EG (Berufsqualifikationsrichtlinie) (18),
- 2006/42/EG (Richtlinie über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG) (19),
- 2006/95/EG (Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen) (20), sowie
- 2006/123/EG (Dienstleistungsrichtlinie) (21).

Zwischenzeitlich wurde die Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen

(Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU (NSpRL)) neu gefasst (22). Dabei wurde die Richtlinie 2014/35/EU an den sogenannten "New Legislative Framework, NLF" ("Neuer Rechtsrahmen") angeglichen. Trotzdem sind aber sowohl der Anwendungsbereich als auch die Sicherheitsziele der bisherigen Richtlinie 2006/96/EG beibehalten worden.

Im Zusammenhang mit dem Schutz der Allgemeinbevölkerung vor optischer Strahlung kommt insbesondere der Produktsicherheitsrichtlinie (RaPS, 2001/95/EG) (17), der Niederspannungsrichtlinie (NSpRL, 2014/35/EU) (22) und der Richtlinie über Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften (98/48/EG) (23) eine besondere Bedeutung zu.

2.2.1 Niederspannungsrichtlinie

Die Niederspannungsrichtlinie dient insbesondere dem Zweck, ein hohes Schutzniveau von elektrischen Geräten bezüglich Gesundheit und Sicherheit der Menschen, Haus- und Nutztieren und Gütern zu gewährleisten und damit auch das Funktionieren des europäischen Binnenmarktes zu garantieren. Sie wurde in Deutschland durch die Verordnung über elektrische Betriebsmittel (1. ProdSV) (24) als sogenannte Bundesrechtsverordnung und teilweise auch direkt im Produktsicherheitsgesetz ProdSG (12) umgesetzt. Die Abschnitte in der NSpRL, die Vorschriften zur Bereitstellung und Ausstellung von elektrischen Produkten auf dem Markt enthalten, werden direkt im ProdSG behandelt und gelten einheitlich für alle Produkte.

Nach § 3 1. ProdSV "dürfen elektrische Betriebsmittel nur dann auf dem Markt bereitgestellt werden, wenn sie

1. mit den in Anhang I der Richtlinie 2014/35/EU (22) genannten Sicherheitszielen übereinstimmen,
2. entsprechend dem in der Europäischen Union geltenden Stand der Sicherheitstechnik hergestellt sind und
3. bei ordnungsgemäßer Installation und Instandhaltung und bei bestimmungsgemäßer Verwendung die Gesundheit und Sicherheit von Menschen, Haus- und Nutztieren sowie Gütern nicht gefährden." (24)

In Anhang I ("Wichtigste Angaben über die Sicherheitsziele für elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen") der Richtlinie 2014/35/EU wird unter Nr. 2 ("Schutz vor Gefahren, die von elektrischen Betriebsmitteln ausgehen können") Buchstabe b) gefordert, dass Technische Maßnahmen gemäß den Allgemeinen Bedingungen so festzulegen sind, damit "keine Temperaturen, Lichtbogen oder Strahlungen entstehen, aus denen sich Gefahren ergeben können" (22). Folglich gilt auch für elektrische Betriebsmittel, die optische Strahlung erzeugen und emittieren und soweit sie unter die NSpRL fallen, dass diese nach der 1. ProdSV nur dann auf dem Markt bereitgestellt werden dürfen, wenn sich durch optische Strahlung keine Gefahren ergeben können. Grenzwerte für optische Strahlung sind aber weder in der NSpRL noch in der 1. ProdSV festgelegt.

Auf der Grundlage des Artikels 10 Absatz 6 der Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 (25) veröffentlicht die EU-Kommission die Titel und Bezugsnummern der harmonisierten Normen i. S. der Richtlinie 2014/35/EU (22) im ABl. der EU Nr. C. Die aktuelle Veröffentlichung zu Normen gemäß der Verordnung über elektrische Betriebsmittel (1. ProdSV) ist als Verzeichnis 1: Harmonisierter Bereich – Teil 1 im ABl. C 249 S. 62 ff. vom 8. Juli 2016 (2016/C 249/03) (26) erfolgt. Die Normen des Verzeichnisses 1, Teil 1, Abschnitt 1 lösen die Konformitätsvermutung aus, d. h. der Hersteller kann davon ausgehen, dass bei korrekter Anwendung dieser Normen die grundlegenden Anforderungen an Sicherheit und Gesundheit der entsprechenden EU-Richtlinie erfüllt sind.

2.2.2 Produktsicherheitsrichtlinie

Die Produktsicherheitsrichtlinie (17) wurde in Deutschland durch das Produktsicherheitsgesetz (12) umgesetzt. Da die Produktsicherheitsrichtlinie nur allgemeine Sicherheitsanforderungen enthält, gehören zu den von der EU-Kommission in unregelmäßigen Abständen veröffentlichten harmonisierten Normen, bei deren Anwendung der Hersteller davon ausgehen kann, dass er die Sicherheitsanforderungen einhält, nur solche Normen über Produkte nach der Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit.

Das ProdSG ist die zentrale Rechtsvorschrift für die Sicherheit von Geräten, Produkten, Anlagen und für deren Bereitstellung auf dem Markt. Neben der Umsetzung der Produktsicherheitsrichtlinie (2001/95/EG) und den auf Grundlage § 8 ProdSG erlassenen Produktsicherheitsverordnungen (ProdSV) werden noch insgesamt elf weitere europäische Binnenmarkttrichtlinien in deutsches Recht umgesetzt. Dabei finden sich die produktspezifischen Regelungen der einzelnen Richtlinien, so insbesondere der Produktsicherheitsrichtlinie, in den nachgelagerten Produktsicherheitsverordnungen, zu denen auch die 1. ProdSV gehört.

Gegenüber dem 2011 ersetzten Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG) (27), in dem Produkte technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte waren, wurde der Begriff "Produkt" neu definiert. Zum einen wurde aus Gründen der Rechtssicherheit und -klarheit die bisherige begriffliche Untermenge "Technische Arbeitsmittel" aus dem ProdSG herausgenommen, da es zu Verwechslungen mit dem Begriff des Arbeitsmittels aus der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) kommen konnte. Zum anderen wurde der Begriff "Verbraucherprodukte" in das ProdSG aufgenommen, so dass jetzt insgesamt nur noch die beiden Begrifflichkeiten "Produkte" und "Verbraucherprodukte" im ProdSG unterschieden werden.

Nach § 2 Nr. 22 ProdSG "sind Produkte Waren, Stoffe oder Zubereitungen, die durch einen Fertigungsprozess hergestellt worden sind" (12). Nach § 2 Nr. 26 ProdSG "sind Verbraucherprodukte neue, gebrauchte oder wiederaufgearbeitete Produkte, die für Verbraucher bestimmt sind oder unter Bedingungen, die nach vernünftigem Ermessen vorhersehbar sind, von Verbrauchern benutzt werden könnten, selbst wenn sie nicht für diese bestimmt sind; als Verbraucherprodukte gelten auch Produkte, die dem Verbraucher im Rahmen einer Dienstleistung zur Verfügung gestellt werden" (12).

Eine zentrale Bedeutung hat der Begriff "Bereitstellung auf dem Markt" erhalten, der in § 2 Nr. 4 ProdSG als "jede entgeltliche oder unentgeltliche Abgabe eines Produkts zum Vertrieb, Verbrauch oder zur Verwendung auf dem Markt der Europäischen Union im Rahmen einer Geschäftstätigkeit" definiert ist, während das "Inverkehrbringen" nunmehr nach § 2 Nr. 15 ProdSG "die erstmalige Bereitstellung eines Produkts auf dem Markt oder die Einfuhr in den Europäischen Wirtschaftsraum" bedeutet.

Auch in der Produktsicherheitsrichtlinie und im ProdSG sind keine Grenzwerte festgelegt worden. Das ProdSG fordert aber ein rasches Eingreifen der Marktüberwachungsbehörden, wenn ein ernstes Risiko vorliegt, auch wenn das Risiko keine unmittelbare Auswirkung hat. Darüber hinaus wird es nicht näher spezifiziert.

Vom Hersteller wird eine Risikobewertung seiner Produkte vor dem Inverkehrbringen erwartet. Diese dient als Grundlage für seine Feststellung, ob das betreffende Produkt die allgemeine Sicherheitsanforderung erfüllt und vermarktet werden darf.

2.2.3 RAPEX

Für den Schutz vor gefährlichen Produkten wurde RAPEX (Rapid Exchange of Information System, System für den schnellen europaweiten Informationsaustausch über gefährliche Produkte) (28) auf der Grundlage des RaPS eingeführt.

Gemäß Artikel 2 Buchstabe a der RaPS fallen folgende Verbraucherprodukte unter das RAPEX-Verfahren (28):

- „für Verbraucher bestimmte Produkte“, also Produkte, die für den Verbraucher konzipiert, hergestellt und ihnen bereitgestellt werden;
- „auf den Verbrauchermarkt gelangende Produkte“, also Produkte, die zwar für die gewerbliche Nutzung konzipiert und hergestellt werden, jedoch unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen auch von Verbrauchern verwendet werden dürften. Diese für gewerbliche Zwecke hergestellten Produkte werden auch Verbrauchern zur Verfügung gestellt, welche sie ohne besonderes Wissen oder besondere Schulung erwerben und bedienen können; Beispiele sind Bohrmaschinen, Winkelschleifer oder Tischsägen, die zwar für die gewerbliche Nutzung konzipiert und hergestellt werden, aber auch auf den Verbrauchermarkt gelangen.

Beide Produktarten (für Verbraucher bestimmte Produkte und auf den Verbrauchermarkt gelangende Produkte) können Verbrauchern kostenlos überlassen oder von Verbrauchern erworben oder Verbrauchern im Rahmen einer Dienstleistung bereitgestellt werden. Alle drei Sachverhalte fallen in den Anwendungsbereich von RAPEX. (28)

Darüber hinaus gibt es noch Produkte, die nur für gewerbliche Nutzer konzipiert, hergestellt, nur ihnen bereitgestellt werden und die unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen nicht von Verbrauchern verwendet werden dürften („Produkte für die gewerbliche Verwendung“). Diese fallen nicht unter das RAPEX-Verfahren. (28)

Für die Bereitstellung und Verwendung von Verbraucherprodukten, welche ein ernstes Gesundheits- und Sicherheitsrisiko für Verbraucher darstellen, sind alle präventiven und restriktiven Maßnahmen, im Rahmen von RAPEX meldepflichtig. Diesbezüglich werden in Artikel 8 Absatz 1 Buchstaben b bis f der RaPS die verschiedenen im Rahmen von RAPEX meldepflichtigen Maßnahmen aufgelistet. Meldepflichtig sind demnach Maßnahmen, die z. B.

- das Anbringen geeigneter Warnhinweise über Risiken verlangen, die von einem Produkt ausgehen können,
- die Bereitstellung eines Produkts auf dem Markt von bestimmten Voraussetzungen abhängig machen bzw.
- vorschreiben, dass bestimmte Personen vor Risiken gewarnt werden, die für sie von einem Produkt ausgehen können. (28)

Grundsätzlich gilt, dass Verbraucherprodukte sicher sein müssen. Insofern ist der "Leitfaden für die Risikobewertung von Verbraucherprodukten" (TEIL IV — Anlagen, Nr. 5) "auch nicht dazu konzipiert, dass Hersteller ihn bei der Entwicklung und Fertigung von Produkten nur dazu heranziehen, die (sehr) ernstesten Risiken zu vermeiden" (28). Vielmehr soll der Leitfaden den Behörden dabei helfen, ernste Risiken festzustellen, wenn ein Produkt trotz aller Anstrengungen des Herstellers nicht sicher ist.

Soweit es eine Risikobewertung betrifft, ist zunächst festzuhalten, dass ein Risiko die Kombination aus Gefahr und Wahrscheinlichkeit darstellt. Gemäß dem RAPEX-Verfahren ergibt sich ein Risiko „aus dem Schweregrad einer möglichen Verletzung des Verbrauchers in Verbindung mit der Wahrscheinlichkeit, dass es zu dieser Verletzung kommt". (28)

Da die Expositionsgrenzwerte der OStrV für Verbraucherprodukte keine Bedeutung haben, kann die Orientierung einer möglichen Gefährdung auch nicht unmittelbar daran festgemacht werden. Hier ist vielmehr das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) (12) zugrunde zu legen. So können prinzipiell bestimmte Produkte, die Quellen optischer Strahlung sind (z. B. Lasereinrichtungen oder Lampen) bzw. beinhalten, nicht ohne jede Verwendungseinschränkungen als Verbraucherprodukte auf dem Markt bereitgestellt werden. Grundsätzlich gilt nach § 3 Absatz 2 ProdSG (12), dass **"ein Produkt, soweit es nicht Absatz 1 unterliegt, nur auf dem Markt bereitgestellt werden darf, wenn es bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung die Sicherheit und Gesundheit von Personen nicht gefährdet"**. Ausgenommen davon wären Produkte nach § 3 Absatz 1 ProdSG, die einer oder mehreren Rechtsverordnungen nach § 8 Absatz 1 ProdSG unterliegen. In diesen Rechtsverordnungen könnten unter anderem

- Anforderungen an die Beschaffenheit von Produkten,
- die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt und
- die Kennzeichnung von Produkten

geregelt werden. Gegenwärtig liegen solche Rechtsverordnungen nicht für Produkte, die optische Strahlung erzeugen und emittieren, vor. Damit gilt § 3 Absatz 2 ProdSG uneingeschränkt.

Gemäß § 2 Nr. 5 bzw. 28 ProdSG "ist eine bestimmungsgemäße Verwendung

- a) die Verwendung, für die ein Produkt nach den Angaben derjenigen Person, die es in den Verkehr bringt, vorgesehen ist oder
- b) die übliche Verwendung, die sich aus der Bauart und Ausführung des Produkts ergibt" und

„ist vorhersehbare Verwendung eines Produkts in einer Weise, die von derjenigen Person, die es in den Verkehr bringt, nicht vorgesehen, jedoch nach vernünftigen Ermessen vorhersehbar ist". (12)

Da Expositionsgrenzwerte in den Regelungen zum Schutz der Allgemeinbevölkerung bislang nicht festgelegt sind, beruht der entsprechende Schutz, außer auf den Festlegungen zur Produktsicherheit, auf den in technischen Normen festgelegten Anforderungen an Produkte zur Erzeugung optischer Strahlung, die vom jeweiligen Hersteller und dem Inverkehrbringer zu erfüllen sind.

2.2.4 Laser

Soweit es die Laserklassifizierung betrifft, kann unter Berücksichtigung der Norm DIN EN 60825-1 davon ausgegangen werden, dass Laser der Klasse 1 als Lasereinrichtungen gelten, die während des Normalbetriebes sicher sind. Dies schließt den langzeitigen direkten Blick in den Strahl mit ein, auch wenn die Bestrahlung unter Benutzung von Optiken stattfindet. (29)

Für Laser der Klasse 2 gilt dagegen, dass es sich um Lasereinrichtungen mit emittierter sichtbaren Strahlung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm handelt, die sicher sind für kurzzeitige Bestrahlungen, aber gefährlich sein können für absichtliches Starren in den Strahl. Die Zeitbasis von 0,25 s hängt mit der Definition der Klasse zusammen, und es wird angenommen, dass für vorübergehende Bestrahlungen, die etwas länger sind, ein sehr geringes Risiko einer Verletzung besteht. (29)

Laser der Klasse 3R, also Laser, bei denen der Grenzwert zugänglicher Strahlung (GZS) auf das 5-Fache des GZS von Klasse 2 (für sichtbare Laserstrahlung) oder das 5-Fache des GZS von Klasse 1 (für unsichtbare Laserstrahlung) begrenzt ist, sollten nicht als Verbraucherprodukt auf den Markt gebracht werden. So wäre es kaum vermittelbar, dass einerseits für Laser der Klasse 3R, wenn sie als Arbeitsmittel am Arbeitsplatz betrieben werden sollen, nach der OStrV ein Laserschutzbeauftragter bestellt werden muss und Maßnahmen ergriffen werden müssen, wenn in der betreffenden Gefährdungsbeurteilung von einer möglichen Überschreitung der Expositionsgrenzwerte ausgegangen werden kann.

Andererseits wären solche einschränkende Maßnahmen bei Verbraucherprodukten weder gefordert noch durchführbar.

Vor dem Hintergrund, dass sich weder der Lidschlussreflex noch andere Abwendungsreaktionen als zuverlässiger Schutz gegenüber Laserstrahlung aus Lasern relativ geringer Leistung erwiesen hatten (30) und dass in zunehmendem Maße Blendungsattacken mit Lasern durchgeführt wurden, sowie falsch gekennzeichnete Laserprodukte auf dem Markt erschienen, war eine erste Fassung der "Technischen Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" (30) von einem Arbeitskreis "Laserstrahlung" erarbeitet worden und ist 2009 erschienen. Eine weitere Motivation für diese technische Spezifikation war die zunehmende Verbreitung von Lasern als Verbraucherprodukte und die Tatsache, dass diese oftmals von Personen eingesetzt wurden, die keine ausreichenden Kenntnisse über die Gefährdungen durch Laserstrahlung haben.

Die gegenwärtige Fassung aus dem Jahr 2013 der "Technischen Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" beinhaltet eine Risikobewertung von Verbraucherprodukten, die Laser sind oder beinhalten. Sie richtet sich an die Wirtschaftsakteure, d. h. an Hersteller, Bevollmächtigte, Einführer und Händler. In ihr werden Anforderungen an Laser als bzw. in Verbraucherprodukte(n) konkretisiert, damit bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung die Sicherheit und Gesundheit von Personen nicht gefährdet wird. (30)

Gegenwärtig lässt die bestehende "Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" (30) der Marktaufsicht keine andere Wahl als bei einem Laserprodukt (Laser-Einrichtung) der Klasse 3R einzuschreiten, wenn ein solches auf dem Markt als Verbraucherprodukt bereitgestellt wird. Die "Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukten" konkretisiert als nationale technische Spezifikationen (Technische Spezifikationen nach § 3 Absatz 2 ProdSG) die allgemeine Forderung des ProdSG für Laserprodukte. Die "Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" gilt für Laserprodukte, für die keine speziellen Rechtsverordnungen bestehen oder die nicht durch harmonisierte Normen geregelt sind. Dies sind beispielsweise Laserpointer, Laserwasserwaagen, Laser für Astronomie Zwecke, Motivlaser sowie Distanzmess- und Nivelliergeräte. Für diese Produkte gelten die grundlegenden Festlegungen nach § 3 Abs. 1 des Produktsicherheitsgesetzes (ProdSG).

Die in (31) beschriebene mögliche Problematik, die sich aus einer vorhersehbaren Verwendung eines Lasers der Klasse 2M oder 1M (bei Emission im sichtbaren Spektralbereich) zur Blendung ergibt, und zwar bei vergleichsweise zu Lasern der Klassen 2 oder 1 (im sichtbaren Bereich) deutlich größeren Entfernungen, wird von der "Technischen Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" derzeit nicht gesehen. Sie sollte aber im Hinblick auf den vielfachen Missbrauch bei der Blendung von z. B. Piloten in Verkehrsflugzeugen, aber auch in Hubschraubern bei einer möglichen Überarbeitung noch einmal kritisch hinterfragt werden.

Die "Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" gilt nicht für:

- Produkte, für die Rechtsverordnungen nach § 8 Absatz 1 ProdSG bestehen (z. B. Niederspannungsverordnung (1. ProdSV) (24), Spielzeugverordnung (2. ProdSV) (32), Maschinenverordnung (9. ProdSV)) (33)
- Produkte, für die harmonisierte Normen bestehen (z. B. DIN EN 60065 (Audio-, Video- und ähnliche elektronische Geräte) (34), DIN EN 62115 (Elektrische Spielzeuge) (35), DIN EN 60950-1 (Einrichtungen der Informationstechnik)) (36).

Zu beachten ist, dass seit dem Erscheinen der "Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" zwar Neuauflagen der beiden Normen DIN EN 60065 und DIN EN 60950-1 im Jahr 2015 bzw. 2014 erschienen sind. Beide wurden aber gemeinsam durch die Norm DIN EN 62368-1:2016-05 (Einrichtungen für Audio/Video-, Informations- und Kommunikationstechnik) ersetzt, die komplett

neu strukturiert wurde und von einem neuen sicherheitstechnischen Ansatz ausgeht (37). Außerdem findet sich im "Verzeichnis 1: Harmonisierter Bereich – Teil 20 (Normen über Produkte nach der Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit) (38) der Hinweis: "Für diese Fundstelle besitzt bislang nur die DIN EN 60065:2002 und DIN EN 60065/A12:2011 die Konformitätsvermutung." Bei der Norm DIN EN 60950-1 (VDE 0805-1) erfolgte die Listung bislang nur für die Ausgabe November 2006, DIN EN 60950-1/A12 (VDE 0805-1/A12): August 2011 und DIN EN 60950-1/A12 Berichtigung 1 (VDE 0805-1/A12 Berichtigung 1): September 2012. (38)

Zu beachten ist, dass es sich um Normen des sogenannten "nicht harmonisierten Bereichs des ProdSG" handelt. Der deutsche Gesetzgeber hat aber das europäische Konzept der harmonisierten Normen, das in § 4 Absatz 1 ProdSG verankert ist, auf den nationalen Produktbereich übertragen. § 3 Absatz 2 ProdSG formuliert für Produkte, soweit sie nicht § 3 Absatz 1 unterliegen, zunächst eine allgemeine Anforderung an deren Sicherheit, welche durch nationale Normen und technische Spezifikationen konkretisiert werden kann. Nach deren Ermittlung durch den Ausschuss für Produktsicherheit (AfPS) (vorher vom AtAV) und der Bekanntmachung der Fundstellen durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (bislang im Bundesanzeiger, künftig im Gemeinsamen Ministerialblatt), entfalten diese Normen und technischen Spezifikationen die Vermutungswirkung gemäß § 5 Absatz 2 ProdSG. (39)

Darüber hinaus sind die Normen DIN EN 60065, DIN EN 62115 und DIN EN 60950-1 unter der Richtlinie 1999/5/EG (40) und der Richtlinie 2006/95/EG (20) gelistet. (41; 42)

Soweit es sich um Lasereinrichtungen handelt kommt der Norm DIN EN 60825-1 eine zentrale Rolle zu. In ihr sind insbesondere Anforderungen an die Herstellung von Lasereinrichtungen festgelegt und es sind deren Klassifizierungsregeln angegeben.

Die Tatsache, dass es in der Norm DIN EN 60825-1 im Anwendungsbereich aber heißt: "Dieser Teil 1 beschreibt die Mindestanforderungen. Das Erfüllen der Anforderungen dieses Teils 1 reicht möglicherweise nicht aus, um das erforderliche Niveau der Produktsicherheit zu erreichen." (29) und dazu in einer Anmerkung steht: "Andere Normen können zusätzliche Anforderungen enthalten. Zum Beispiel kann eine Lasereinrichtung der Klasse 3B oder der Klasse 4 möglicherweise nicht für die Benutzung als Verbraucherprodukt geeignet sein." (29), hat unter anderem dazu geführt, dass von der EU-Kommission an CENELEC ein Normungsmandat gerichtet wurde (43). Im Auftrag des Normungsmandats heißt es: "Überarbeitung der Norm EN 60825-1 oder Erarbeitung einer neuen Norm bzw. neuer Normen für Lasereinrichtungen für Verbraucher gemäß den Anforderungen des Beschlusses 2014/59/EU."

Im Erwägungsgrund 4 des Beschlusses der Kommission 2014/59/EU heißt es: "Die Übereinstimmung mit dieser Norm (EN 60825-1:2014) gewährleistet jedoch nicht, dass sich eine Lasereinrichtung von Verbrauchern sicher verwenden lässt" (44). Des Weiteren steht im Erwägungsgrund 5: "Es besteht derzeit ein breiter Konsens, dass Lasereinrichtungen, die den Klassen 1, 1M, 2 und 2M der Klassifizierung entsprechen, welche mit der in Erwägungsgrund 4 genannten Norm eingeführt wurde, als sicher gelten können, wenn sie von Verbrauchern verwendet werden (sofern die Exposition gegenüber Laserstrahlung bei Einrichtungen, die den Klassen 1M und 2M entsprechen, nicht mit optischen Sichtgeräten erfolgt). Dies ist jedoch bei Lasereinrichtungen anderer Laserklassen nicht der Fall." (44) Hier wird deutlich, dass bei der entsprechenden Formulierung die entsprechenden Aussagen der "Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" bezüglich der als sicher geltenden Laserklassen Berücksichtigung fanden.

Im Beschluss der Kommission 2014/59/EU wird auch der Begriff „Lasereinrichtung für Verbraucher“ als ein Produkt oder eine Anordnung von Bauteilen beschrieben, das bzw. die

- a) für Verbraucher bestimmt ist oder von Verbrauchern unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen verwendet werden könnte, selbst wenn es bzw. sie nicht für sie bestimmt ist, und
- b) einen Laser oder ein Lasersystem darstellt oder umfasst und während des Betriebs Zugang zu Laserstrahlung ermöglicht, und

zusätzlich derjenige für „Lasereinrichtung für Verbraucher, die auf Kinder ansprechend wirkt“ als eine Lasereinrichtung für Verbraucher, die

- c) von ihrer Form oder Beschaffenheit etwas anderem ähnelt, das gemeinhin als ansprechend für Kinder empfunden wird oder zur Verwendung durch Kinder bestimmt ist, oder
- d) ein sonstiges, für ihre Funktion nicht notwendiges Merkmal oder eine sonstige, für ihre Funktion nicht notwendige Eigenschaft aufweist, das bzw. die auf Kinder ansprechend wirken könnte.

Durch die Klassifizierung von Lasereinrichtungen bzw. -produkten in der DIN EN 60825-1 mit Zahlen von 1 bis 4 entsprechend einem steigenden Gefährdungsgrad war ein System geschaffen worden, durch das es dem Benutzer von Lasern ermöglicht werden sollte, Kenntnis über die potenziellen Gefährdungen von einem solchermaßen klassifizierten Produkt und die angezeigten Maßnahmen zu erlangen. Dabei war dies unabhängig davon, ob das entsprechende Laserprodukt als Arbeitsmittel oder als Verbraucherprodukt zum Einsatz kommen sollte.

Dieses Konzept ist in den vergangenen Jahren zunehmend relativiert worden, und zwar insbesondere durch die Einführung neuer Laserklassen (1M, 2M, 3R und 1C) und aufgrund der den Laserklassen zugeordneten Grenzwerte zugänglicher Strahlung (GZS) und den damit implizit verknüpften maximal zulässigen Bestrahlungswerten (MZB-Werte). Diese sind wiederum Expositionsgrenzwerten gleichzusetzen, weiche aber aktuell von denjenigen in der Arbeitsschutz-Richtlinie 2006/25/EG zum Teil nicht unerheblich abweichen. Dadurch kann es zu einer unterschiedlichen Risikobewertung kommen, wenn Laser, die nach DIN EN 60825-1:2015 (29) klassifiziert sind, entweder als Arbeitsmittel oder als Verbraucherprodukt zum Einsatz kommen. Auf die sich aus der Klassifizierung der sogenannten M-Laserklassen, der Klasse 3R und der neuen Klasse 1C ergebende Problematik wird in der Publikation (31) näher eingegangen, und zwar auch unter Berücksichtigung bestimmungsgemäßer und vorhersehbarer Verwendung.

Aus der aktuell vorliegenden 3. Ausgabe der DIN EN 60825-1 (29) kann der Gefährdungsgrad nicht mehr ohne weitere Kenntnis nur anhand der Klassifizierungsangaben und der damit verbundenen Kennzeichnungen sowie der Benutzerinformationen (insbesondere Betriebs-, Gebrauchs- oder Bedienungsanleitungen) abgeleitet werden.

2.2.5 Inkohärente Lichtquellen

Für Quellen inkohärenter optischer Strahlung liegt derzeit keine der "Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" vergleichbare Regelung vor. Im Zusammenhang mit der Steigerung der Effizienz von Lumineszenzdioden (Licht emittierende Dioden, Leuchtdioden, LED) war 2005 eine "Stellungnahme zur Risikobewertung von Lasern und LED der Klassen 2, 2M und 3A im sichtbaren Wellenlängenbereich (400 nm bis 700 nm)" von der BAuA erarbeitet worden. (45) Die Stellungnahme richtete sich an die Inverkehrbringer, Unfallversicherungsträger und an die für die Marktaufsicht zuständigen Behörden. Sie war aber auch für Anwender von Lasern und LEDs interessant. Adressiert wurden darin LED mit höherer elektrischer Leistung und Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich, und zwar insbesondere vor dem Hintergrund, dass zunehmend Produkte auf den Markt gebracht werden, die mit Hochleistungs-LED ausgestattet sind. Deren Einsatzgebiete reichen von der Anzeige von Messwerten und Betriebszuständen bis hin zu Strahlungsquellen für Signalgebung, Not- und

Hinweisleuchten, Taschenlampen sowie Fahrrad- und PKW-Beleuchtung. Inzwischen werden LEDs vielfach als Lampen bei der Allgemeinbeleuchtung eingesetzt.

Zum Zeitpunkt der Stellungnahme erfolgte eine Risikobewertung von LED-Einrichtungen noch nach DIN EN 60825-1:2003 (46), da zu diesem Zeitpunkt die in der Norm beschriebenen Licht emittierenden Dioden (LED) immer dann mit einbezogen waren, wenn das Wort "Laser" verwendet wurde. Insofern ist die vorstehend benannte Stellungnahme gegenstandslos, da inzwischen LED in der Norm DIN EN 62471 als Lampen Berücksichtigung finden.

Die Aussagen in der "Stellungnahme zur Risikobewertung von Lasern und LED der Klassen 2, 2M und 3A im sichtbaren Wellenlängenbereich (400 nm bis 700 nm)" bezüglich der möglichen Augengefährdungen treffen aber weiterhin zu. Diese unterscheiden sich bei LED nicht von einer Gefährdung durch konventionelle Lichtquellen. Aufgrund der allgemein großen Strahldivergenz und ihrer flächenhaften Quellenausdehnung besitzen LED kein mit kollimierter Laserstrahlung vergleichbares Gefährdungspotenzial. Allerdings kann es aufgrund der großen Leuchtdichten von LED zu Blenderscheinungen kommen.

2.3 Problematik

Wie in beiden vorhergehenden Abschnitten dargestellt, entsteht durch die unterschiedliche rechtliche Behandlung von Arbeitsmitteln und Verbraucherprodukten eine Verwirrung bezüglich der anzuwendenden Gesetze und Regelungen, obwohl es sich um die gleiche Produkte handeln kann, die aber in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden. So sind Produkte, die als Arbeitsmittel gedacht sind und entsprechende strenge Schutzvorkehrungen, Einweisungen und Schutzbeauftragte zur Überwachung der Sicherheit bedürfen, in der heutigen Zeit auch für den privaten Verbraucher verfügbar. Dieser verfügt jedoch nicht über das Wissen auch bei einer sachgemäßen Verwendung des Produkts die möglichen Gefahren richtig einzuschätzen und abzuwenden.

Der Gesetzgeber hat mit der Einbeziehung von für die gewerbliche Nutzung hergestellten Geräten, die auf den Verbrauchermarkt gelangen können, in die entsprechenden Produktsicherheitsrichtlinien reagiert, wobei die anzuwendenden Vorschriften keine konkreten Grenzwerte oder Maßnahmen enthalten. Stattdessen wird mit der Konformitätsvermutung auf Grundlage des aktuellen Stands der Technik, so heißen den aktuell gültigen (harmonisierten) Normen, gearbeitet. Die Normen gehen aber nicht vom gleichen Sicherheitsansatz der Arbeitssicherheit aus und garantieren – auch bei Erfüllung der Mindestanforderungen – nicht „das erforderliche Niveau an Produktsicherheit“. Dies ist ein nicht zufriedenstellender Zustand.

Durch die Klassifizierung von Produkten in Klassen bzw. Risikogruppen mit aufsteigenden Zahlen für den entsprechend steigenden Gefährdungsgrad in den zugehörigen Normen, war ein relativ leicht verständliches System geschaffen worden. Dieses ist aber in den letzten Jahren durch den Versuch der Angleichung an die Vorschriften der Arbeitssicherheit mit der Einführung von weiteren „Zwischenklassen“ verwaschen worden. Dadurch können jetzt gleiche Produkte je nach Zweck in unterschiedliche Klassen eingeordnet werden.

Wünschenswert wäre ein einheitliches System, das Produkte, die entweder für den Verbrauchermarkt bestimmt sind oder auf diesen gelangen können, bei einem sachgemäßen bzw. vorhersehbaren Gebrauch als gefährlich oder unbedenklich kennzeichnet. Der Anwender muss auch ohne technisches Vorwissen erkennen können, dass das Produkt für ihn ungefährlich ist.

Im Hinblick auf den Schutzbereich kann außerdem festgestellt werden, dass keine speziellen Rechtsnormen für den Schutz einzelner Bevölkerungsgruppen vorgesehen sind. Relevant wären hierbei im Zusammenhang mit dem Umgang mit Quellen optischer Strahlung als Verbraucherprodukte

insbesondere die Bevölkerungsgruppen Kinder (Kleinstkinder: Kinder zwischen 0 und 36 Monaten, Kleinkinder: Kinder über 36 Monaten und unter 8 Jahren, Kinder: Kinder zwischen 8 und 14 Jahren), Minderjährige (Person unter 18 Jahre), Personen mit eingeschränkten körperlichen, sensorischen oder geistigen Fähigkeiten (z. B. teilbehinderte Menschen, ältere Menschen über 65 Jahre, Menschen mit gewissen körperlichen und geistigen Einschränkungen) und Personen mit mangelnder Erfahrung und mangelnden Kenntnissen.

Auch die missbräuchliche Verwendung der Produkte müsste bei Klassifizierung der Produkte zumindest mitberücksichtigt werden, um den möglichen Schaden begrenzen zu können.

3 Empfehlungen nationaler und internationaler Gremien

Zu Grenzwerten für Expositionen von Personen gegenüber optischer Strahlung bzw. zum Schutz vor Gefährdungen durch optische Strahlung liegen mehrere internationale und nationale Empfehlungen vor, die in diesem Kapitel vorgestellt werden. Solche Empfehlungen können sowohl staatliche Empfehlungen bzw. Richtlinien (bspw. aus der EU) oder Empfehlungen privater Organisationen sein.

3.1 Internationale Empfehlungen

Weltgesundheitsorganisation (WHO)

Die wohl ältesten internationalen Empfehlungen zu optischer Strahlung sind diejenigen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) in der Serie der Environmental Health Criteria zu "Lasers and Optical Radiation" (47). Bereits im Jahre 1982 wurde – wie im Vorwort zu lesen ist – das rasante Wachstum der Elektrooptik und der Lasertechnik sowie der zunehmende Einsatz von elektrooptischen Geräten und Lasern, einschließlich optischer Scan-Ausrüstungen, Hochleistungslampen, Schweißlichtbögen und UV-Härtungsgeräten, Justierlaser und medizinischer Laser zur Kenntnis genommen. Dabei wurde eine zunehmende Möglichkeit der Exposition von Personen gegenüber optischer Strahlung erkannt und zugleich die Besorgnis über gesundheitliche Auswirkungen zum Ausdruck gebracht. (47)

Aus diesem WHO-Dokument ist zu entnehmen, dass Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung und andere optische Strahlung einen breiten Bereich an Wellenlängen und Expositionsbedingungen abdecken und biologische Effekte sowohl für das Auge als auch für die Haut gelten können. Daher kann auch eine einzige Begründung nicht für alle spezifischen Expositionsgrenzwerte (exposure limits, ELs) gelten. Nach WHO ist zwischen akuten und chronischen (oder verzögerten) Effekten zu unterscheiden. Für akute Effekte existieren Schwellen und Techniken der Statistik (Probit-Analyse) können diese Schwellen mit einem gewissen Unsicherheitsgrad angeben. (47)

Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung

Der fachliche "Input" zu der Environmental Health Criteria-Ausgabe zu Laser und optischer Strahlung der WHO kam im Wesentlichen aus der Arbeitsgruppe "International Non-Ionizing Radiation Committee" (IRPA/INIRC) der International Radiation Protection Association (IRPA), die 1977 zu Aktivitäten auf dem Gebiet der Nichtionisierenden Strahlung gebildet wurde. Diese Arbeit wurde dann in der Folgezeit von der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on non-ionizing radiation protection, ICNIRP) übernommen.

Aufgrund seiner Satzung ist ICNIRP eine internationale Vereinigung von Wissenschaftlern zur Erforschung der Auswirkung nichtionisierender Strahlung auf die menschliche Gesundheit und gründet ihre Schlussfolgerungen und Empfehlungen ausschließlich auf etablierten wissenschaftlichen Prinzipien (48). Die Bundesregierung betrachtet ICNIRP als „anerkanntes unabhängiges internationales Fachgremium“ (49). Die Empfehlungen der ICNIRP erfahren weltweit eine hohe fachliche und politische Akzeptanz. Sie bilden die Grundlage für Rechtsregelungen sowohl mit rechtlich bindender Wirkung als auch mit empfehlendem Charakter auf weltweiter, europäischer und nationaler Ebene. Diesbezüglich findet sich eine Übersicht der entsprechenden verschiedenen nationalen rechtlichen Regelungen bei optischer Strahlung, die auf die verschiedenen ICNIRP-Leitlinien (ICNIRP-Guidelines) zu optischer Strahlung im Ressortforschungsbericht (8) Bezug genommen haben. Die Bundesregierung unterzieht die Empfehlungen der ICNIRP einer eigenen fachlichen Bewertung. Dabei stützt sie sich u. a. auf die

Strahlenschutzkommission (SSK), wissenschaftliche Fachgespräche und eine öffentliche Diskussion im Rahmen des Risikomanagements bei der Grenzwertdiskussion (49).

Für den Bereich optischer Strahlung wurden von ICNIRP bereits mehrere Leitlinien (Guidelines) veröffentlicht, und zwar für

- a) inkohärente optische Strahlung:
 - a) UV INIRC Gdl – 1985 (50)
 - b) UV INIRC Gdl – 1989 (51)
 - c) UV Guidelines (180 nm – 400 nm) – 1996 (52)
 - d) Guidelines (0.38 – 3µm) – 1997 (53)
 - e) UV Guidelines (180 nm – 400 nm) – 2004 (54)
 - f) Guidelines Visible and Infrared Radiation (up to 3000 nm) – 2013 (55) und für
- b) Laserstrahlung:
 - a) Laser Guidelines (180 nm – 1 mm) – 1996 (56)
 - b) Laser Guidelines – Revision (400 nm – 1.4 µm) – 2000 (57)
 - c) Guidelines on Laser Radiation (180 nm – 1000 µm) – 2013 (58)

Gegenwärtig gelten als aktuelle Richtlinien für inkohärente optische Strahlung die ICNIRP Guidelines zu UV-Strahlung aus dem Jahr 2004 (52) und zu inkohärenter sichtbarer und infraroter Strahlung aus dem Jahr 2013 (55). Für die Laserstrahlung sind diejenigen aus dem Jahr 2013 gültig (58).

Die Empfehlungen von ICNIRP zu optischer Strahlung zur Begrenzung der Exposition gelten nicht nur für Beschäftigte/Arbeitnehmer („workers“) am Arbeitsplatz, sondern gleichzeitig auch für die Allgemeinheit („general public“). Dabei werden die Grenzwerte für die Bestrahlung des Auges und der Haut auf internationaler Ebene vom Expertengremium der ICNIRP empfohlen. Ein unmittelbares Mandat zur Festlegung von Grenzwerten hat ICNIRP allerdings nicht. Wie die vorstehende Auflistung zeigt, unterliegen die ICNIRP-Guidelines durchaus einem gewissen Revisionsprozess, wobei die vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse eine ganz wichtige Rolle spielen.

Besondere Bedeutung haben die in den ICNIRP-Guidelines empfohlenen Grenzwerte insbesondere durch die Übernahme in die Arbeitsschutz-Richtlinie 2006/25/EG als Expositionsgrenzwerte erhalten, da die Einhaltung der in den Anhängen I und II angegebenen Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung und für Laserstrahlung im Arbeitsschutz rechtsverbindlich ist. (2)

Eine gewisse Rechtsverbindlichkeit liegt auch unter Berücksichtigung der NSpRL vor. Die beiden wesentlichen internationalen Normen, nämlich IEC 60825-1 (59) oder IEC 62471 (60), die Grenzwerte als "Maximal zulässige Bestrahlung (MZB; maximum permissible exposure, MPE)" oder als "Grenzwerte für Bestrahlungen (exposure limits, ELs)" entweder im informativen Anhang, wie in der IEC 60825-1 auflisten, oder aber sogar im normativen Teil, wie in der IEC 62471, und deren europäischen Ausgaben unter der Niederspannungsrichtlinie (NSpRL) gelistet sind. Der Umstand, dass Grenzwerte im normativen Teil der IEC 62471 enthalten waren, hatte seinerzeit dazu geführt, dass die europäische Fassung EN 62471 und mithin auch die deutsche Fassung der EN 62471, d. h. die DIN EN 62471 (61) nur als modifizierte IEC 62471 möglich war. Auch in dieser Norm mussten die Grenzwerte für Bestrahlungen in den informativen Anhang verschoben werden.

Neben den in den ICNIRP-Leitlinien angegebenen Grenzwertempfehlungen hat ICNIRP auch zu bestimmten Produkten, die optische Strahlung emittieren, wie z. B. Laserpointer (62), Laserdioden und LEDs (63), Stellungnahmen („statements“) bezüglich eines möglichen Gefährdungspotenzials abgegeben.

Hinsichtlich Laserpointer wird in der ICNIRP-Stellungnahme empfohlen, die Leistung von Laserpointern signifikant zu verringern, indem Wellenlängen verwendet werden, für die das menschliche Auge empfindlicher ist. Als Beispiel wird angegeben, dass ein Laser der Klasse 2 mit 0,12 mW (Anmerkung: Heute

wäre das ein Laser der Klasse 1 nach DIN EN 60825-1:2015) bei einer Wellenlänge von 555 nm ("grün") dieselbe photopische Helligkeit hätte wie ein Laser mit typisch 4 mW bei einer Wellenlänge von 670 nm ("rot"). Durch diese Maßnahmen könnte das Risiko einer Netzhautverletzung weiter verringert werden. Allerdings würden dennoch nachteilige Auswirkungen von Sehstörungen nicht ganz beseitigt werden und Sicherheitsbehörden sollten erkennen, dass eine Unterrichtung der Öffentlichkeit in der sicheren Benutzung von Laserpointern erforderlich ist. So muss das Anstrahlen von Personen mit einem Laserpointer ebenso wie das absichtliche Hineinstarren in den Strahl unterbleiben. Der Grad der Sehstörung hängt dabei von den Lichtverhältnissen der Umgebung ab und die Effekte sind nachts am stärksten. Durch Expositionen unterhalb der Grenzwerte kann es trotzdem zu unerwünschten vorübergehenden visuell erzeugten Störungen wie Blenden ("dazzle") und Nachbilder kommen, wodurch erhebliche Nebenwirkungen entstehen können, und zwar z. B. beim Führen eines Fahrzeugs oder an einer Maschine. Daher wird die Verwendung von Laserpointern der Klasse 2 empfohlen und - wo immer möglich - keine mit einer höheren Leistung. Außerdem sollten selbst Laser der Klasse 2 nicht Kindern zum Spielen gegeben werden.

Kritisch zu sehen ist, dass in dieser Empfehlung durchaus eine Möglichkeit zur Verwendung von Lasern der Klasse 3R besteht (Diese Klasse entspricht im Wesentlichen der Klasse 3A in USA zum Zeitpunkt der Empfehlung.). Damit ist eine EGW-Überschreitung möglich. Die EGW werden nicht, wie es in der Empfehlung heißt, eingehalten ("Class 3A lasers have an output power between 1 and 5 mW with a 0.25-s maximum permissible exposure (MPE) irradiance limitation") (62). Diese ICNIRP-Empfehlung zu Laserpointern verweist zu weiteren Informationen auf ein Fact Sheet No. 202, 1998 der WHO (64).

In der ICNIRP-Empfehlung zu Laserdioden und LEDs wird geschlussfolgert, "dass alle oberflächenemittierenden LEDs und IREDs (infrarot emittierende Diode, Infrarot-Leuchtdiode) bei Anwendung der ICNIRP ELs für inkohärente Strahlung sowie der Empfehlungen des Komitees CIE TC 6-38 (Lampensicherheit, lamp safety) unter realistischen Sehbedingungen als sicher betrachtet werden können. Diese Schlussfolgerung gilt gemäß dieser Empfehlung für jedes LED-Bauelement, das keinen optischen Gewinn (optical gain) besitzt. Lediglich da in die gegenwärtigen Produktsicherheitsstandards außergewöhnliche Worst-Case-Annahmen eingebaut sind, könnte der Schluss gezogen werden, dass LEDs oder IREDs die Netzhaut gefährden könnten.

Auf der anderen Seite könnte die Bewertung von LEDs mit den Expositionsgrenzwerten für Laserstrahlung zu einer Unterbewertung des Risikos für die Augenlinse durch Überhitzung im Falle einer großen Quelle führen. Aufgrund dessen sollten für LEDs die Messverfahren nach den Empfehlungen von ICNIRP aus dem Jahr 1997 (53) erfolgen, wodurch Probleme vermieden werden, die sich aus den Annahmen für kollimierte Laserstrahlen ergeben.

Diodenlaser und VCSELs (vertical cavity surface emitting laser, "Oberflächenemitter") sollten laut Empfehlung in allen Standards eindeutig als Laser behandelt werden.

Es wurde festgestellt, dass für unterschiedliche Benutzungsbedingungen sachgemäße Expositionsdauern und Abstände zur Bestimmung der Risikobewertung erforderlich sind, dies jedoch derzeit nicht in allen Sicherheitsrichtlinien der Fall ist.

Zukünftige Entwicklung von anwendungsspezifischen Sicherheitsnormen, die für realistische Betrachtungsbedingungen angewendet werden können, könnten dazu beitragen, unnötige Bedenken hinsichtlich der LED- und IRED-Sicherheit zu reduzieren". (63) Anzumerken ist, dass zum Zeitpunkt dieser ICNIRP-Empfehlung LEDs normativ noch als Laser behandelt wurden.

Neben den Empfehlungen von ICNIRP gibt es weitere Festlegungen von Grenzwerten für optische Strahlung, und zwar insbesondere für inkohärente optische Strahlung.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)

Die von der ACGIH empfohlenen Grenzwerte für höchstzulässige Bestrahlungen, die meist als Schwellengrenzwerte (threshold limit values, TLV) angegeben sind, werden z. B. in den USA, England, Frankreich und der Schweiz angewendet. (65)

Die TLV-Angaben werden von unabhängigen Experten festgelegt, und zwar so, dass es bei deren Einhaltung nicht zu Schädigungen kommen kann. Die Werte selbst begründen aber keine Standards, sondern stellen Empfehlungen dar, wie dies für die von ICNIRP in den Leitlinien (Guidelines) angegebenen Expositionsgrenzwerte in gleichem Maße gilt. Abweichungen zwischen den ICNIRP- und ACGIH-Werten sind auch schon deshalb nicht unbedingt zu erwarten, da, zumindest soweit es die US-amerikanischen Mitglieder in den Expertengremien betrifft, dieselben Personen aktiv sind bzw. waren.

Im Gegensatz zu den von ICNIRP empfohlenen Grenzwerten werden die von ACGIH als Schwellengrenzwerte definierten Werte vielfach typischerweise für einen 8-Stunden-Arbeitstag und 40 Stunden Wochenarbeitszeit angegeben, indem sie eine zeitlich gewichtete durchschnittliche Exposition (time-weighted average, TWA) darstellen. Dabei geht man davon aus, dass fast alle gesunden Arbeiter diesen wiederholt ausgesetzt werden können, also Tag für Tag, und ohne nachteilige Wirkung.

Die ACGIH TLVs und ICNIRP ELs haben seit vielen Jahren die Grundlage für daraus abgeleitete Emissionsgrenzwerte und Sicherheitskriterien bei der International Electrotechnical Commission (IEC) gebildet. Dabei haben z. B. die Grenzwerte von ICNIRP aus den Jahren 1996 und 1997 direkten Bezug auf diejenigen in den damaligen ACGIH-Publikationen genommen, die praktisch bereits seit 1974 vorliegen. (66)

International Commission on Illumination (CIE)

Von der CIE liegen mehrere Veröffentlichungen zu optischer Strahlung vor, und zwar insbesondere als Technische Berichte und Leitfäden. Die im Zusammenhang mit Strahlungsquellen und Grenzwerten stehenden Publikationen sind nachstehend in der Reihenfolge des zeitlichen Erscheinens aufgelistet:

- a. 031-1976: Glare and Uniformity in Road Lighting Installations (67)
- b. 055-1983: Discomfort Glare in the Interior Working Environment (68)
- c. 103-1993: Technical Collection 1993 (69)
- d. 106-1993: CIE Collection in Photobiology and Photochemistry (1993) (70)
- e. 112-1994: Glare Evaluation System for Use within Outdoor Sports and Area Lighting (71)
- f. 117-1995: Discomfort Glare in Interior Lighting (72)
- g. 134-1999: CIE Collection in Photobiology and Photochemistry, 1999 (73)
- h. 135-1999: CIE Collection 1999: Vision and Colour, Physical Measurement of Light and Radiation, 1999 (74)
- i. 138-2000: CIE Collection in Photobiology and Photochemistry, 2000 (75)
- j. 146:2002/147:2002: CIE Collection on Glare 2002
- k. 127:2007 (2nd edition): Measurement of LEDs (76) (Update der Publikation CIE Technical Report CIE 127-1997)
- l. 190:2010: Calculation and Presentation of Unified Glare Rating Tables for Indoor Lighting Luminaires (77)

Die Publikationen der CIE werden in verschiedenen Technischen Komitees erarbeitet.

Die Internationale Beleuchtungskommission widmet sich der weltweiten Zusammenarbeit und dem Informationsaustausch über alle Fragen der Wissenschaft und Kunst von Licht und Beleuchtung, Farbe und dem Sehen, Photobiologie und Bildtechnik. Insofern finden sich in den CIE-Publikationen auch Abhandlungen zur Blendung, und zwar sowohl zur psychologischen als auch zur physiologischen.

Wissenschaftlicher Ausschuss für Gesundheit, Umwelt- und neu auftretende Risiken (SCHEER)

Der Wissenschaftliche Ausschuss „Gesundheits- und Umweltrisiken“ (Scientific Committee on Health and Environmental Risks, SCHER) und der Wissenschaftliche Ausschuss „Neu auftretende und neu identifizierte Gesundheitsrisiken“ (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR) der Europäischen Kommission wurden im April 2016 zu einem einzigen "Wissenschaftlichen Ausschuss für Gesundheit, Umwelt- und neu auftretende Risiken" (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks, SCHEER) zusammengefasst.

Wesentliche Aufgabe von SCHEER ist es die EU-Kommission dabei zu unterstützen, faktengestützte politische Entscheidungen in den Bereichen Gesundheit, Umwelt und Verbrauchersicherheit treffen zu können. Dazu überprüft und bewertet SCHEER sachdienliche wissenschaftliche Daten und zieht daraus Schlussfolgerungen, bewertet mögliche Risiken und gibt faktengestützten Rat. Die daraus zu ziehenden politischen Folgerungen bleiben Aufgaben der EU-Kommission.

In Bezug auf optische Strahlung liegen gegenwärtig folgende Stellungnahmen von SCHEER bzw. dem Vorgänger SCENIHR vor:

- a. 23 September 2008: Light Sensitivity, the SCENIHR adopted this opinion at the 26th Plenary on 23 September 2008 (78)

In dieser Stellungnahme lag ein besonderes Augenmerk auf Kompaktleuchtstofflampen. Aus der Zusammenfassung kann man u. a. entnehmen:

"Während sich bei einigen Bedingungen, entweder durch Flimmern und/oder UV/blauges Licht, Symptome verschlimmern könnten, gab es keinen zuverlässigen Beweis dafür, dass die Verwendung von Leuchtstoffröhren einen signifikanten Beitrag dazu leistet. Von allen Eigenschaften von Kompaktleuchtstofflampen wurde nur UV-/Blaulichtstrahlung als potenzieller Risikofaktor für die Verschlimmerung der lichtempfindlichen Symptome bei einigen Patienten mit solchen Erkrankungen wie chronische aktinische Dermatitis und Sonnen-Urtikaria identifiziert".

- b. 19 March 2012: Health Effects of Artificial Light, adopted by the SCENIHR during the 17th plenary meeting (79)

Aus der Zusammenfassung lassen sich im Wesentlichen folgende Aussagen ableiten:

Im Allgemeinen ist die Wahrscheinlichkeit gering, dass künstliche Beleuchtung akute pathologische Effekte erzeugt, da die zu erwartenden Expositionsniveaus viel geringer sind als diejenigen, bei denen schädliche Wirkungen auftreten und viel geringer als diejenigen des typischen Tageslichts. Gewisse Lampen (einschließlich Glühlampen) emittieren einen geringen Anteil an UV-Strahlung. Bei einem Worst-case-Szenarium könnte sich aufgrund der höchsten gemessenen UV-Emissionen bei Lampen in Büros und Schulen, aber nicht bei solchen in Haushalten, ein additiver Beitrag zum Auftreten von Plattenepithel-Karzinomen ergeben. Es liegt keine Evidenz dazu vor, dass Blaulicht aus Lampen der künstlichen Beleuchtung der sogenannten "Freien Gruppe" (Risk Group 0, "exempt from risk") einen ernsteren Effekt haben könnte als derjenige von Sonnenlicht. Blaulicht aus unsachgemäß verwendeten Lampen der Risikogruppen 1, 2 oder 3 könnte theoretisch photochemische Netzhautschäden hervorrufen. Es gibt keine Daten dazu, dass dies bei normalen Beleuchtungsbedingungen von Bedeutung ist. Andere Augenschädigungen durch chronische künstliche Lichtexposition sind unwahrscheinlich. Expositionen durch Licht bei Nacht (unabhängig von der Lichttechnologie) während des Wachstadiums (z. B. bei Schichtarbeit) kann mit einem erhöhten Risiko von Brustkrebs verknüpft sein und außerdem Schlafstörungen, Magen-Darm-Beschwerden, Stimmungsbeeinflussungen und Herz-Kreislauf-Störungen bewirken.

- c. 6 July 2017: Vorläufige Stellungnahme (Preliminary Opinion on "Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs)" - The SCHEER adopted this Opinion by written procedure on 6 July 2017 (80)

Am 4. Mai 2016 wurde SCHEER von der EU-Kommission in einem Mandat um eine wissenschaftliche Stellungnahme zu den möglichen Risiken der menschlichen Gesundheit durch Licht-emittierende Dioden (LEDs) ersucht. Als Deadline wurde April 2017 genannt. "Auslöser" für dieses Ersuchen waren die beiden folgenden Publikationen:

Behar-Cohen, F. et al.: Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye?; Progress in Retinal and Eye Research 2011 Jul; 30(4):239-57 (81)

und

Chamorro, E. et al.: Effects of Light-emitting Diode Radiations on Human Retinal Pigment Epithelial Cells In Vitro; Photochem Photobiol. 2013 Mar-Apr;89(2):468-73 (82)

In diesen beiden Publikationen, die Beispiele von zwischenzeitlich mehreren anderen zu dem Themenkomplex möglicher Risiken sind, die mit der Exposition durch LEDs verbunden sein könnten, waren zum einen Empfehlungen zur Vermeidung von Gefährdungen (81) und zum anderen Mutmaßungen zu Effekten der LED-Strahlung auf das retinale Pigmentepithel (RPE) (82) ausgedrückt worden.

Die jetzt aktuell vorliegende vorläufige Stellungnahme der SCHEER (83), zu der bis zum 17. September 2017 eine öffentliche Konsultation möglich ist, kommt zu folgenden Schlüssen:

"Es gibt keine Hinweise auf direkte gesundheitliche Beeinträchtigungen durch LEDs im normalen Gebrauch (Beleuchtung und Displays) auf die gesunde allgemeine Bevölkerung.

Gefährdete und empfindliche Mitglieder der Allgemeinbevölkerung (Kleinkinder, Jugendliche und ältere Menschen) wurden getrennt untersucht. Kinder haben eine höhere Empfindlichkeit gegenüber blauem Licht. Obwohl die Emissionen möglicherweise nicht schädlich sind, können blaue LEDs sehr blendend sein und eine photochemische Retinopathie hervorrufen, wodurch es besonders für Kinder unter drei Jahren Sorge bereitet. Darüber hinaus können ältere Menschen die Exposition gegenüber LED-Systemen als unangenehm empfinden, einschließlich blauer LED-Displays (z. B. werden Ziellanzeigen an der Vorderseite von Bussen verschwommen wahrgenommen).

Trotz des Vorliegens von zellulären und tierexperimentellen Studien, die nachteilige Auswirkungen der LED-Exposition zeigen, ergeben sich dennoch nur Schlussfolgerungen aus Ergebnissen, die unter Verwendung von Expositionsbedingungen erhalten wurden, die schwer mit menschlichen Expositionen in Zusammenhang gebracht werden können oder bei Expositionswerten, die größer sind als diejenigen, die mit LED-Beleuchtungssystemen in der Praxis erreicht werden können. Es gibt eine geringe Beweislage, dass die Lichteinwirkung am späten Abend, einschließlich derjenigen von LED-Beleuchtung und/oder Bildschirmen, einen Einfluss auf den zirkadianen Rhythmus haben kann. Dabei ist jedoch noch nicht klar, ob diese Störung des zirkadianen Systems zu nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen führt.

Da sich der Einsatz der LED-Technologie noch weiterentwickelt, ist der Ausschuss der Auffassung, dass es wichtig ist, das Risiko von gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch die langfristige LED-Nutzung für die Allgemeinbevölkerung genau zu überwachen" (84).

Darüber hinaus kann der vorläufigen Stellungnahme noch weitere Angaben entnommen werden. Bei der Beurteilung der vorhandenen wissenschaftlichen Forschungsergebnisse ist SCHEER zu dem Schluss gekommen, dass bei Expositionen unterhalb der international von ICNIRP empfohlenen Expositionsgrenzen keine gesundheitlichen Gefahren für das Auge oder die Haut bestehen. Allerdings können Probleme in Bezug auf Flimmern, Ablenkung und Blendung auftreten.

Es wird darüber hinaus angenommen, dass das Risiko von direkten schädlichen Wirkungen zunimmt, wenn die Grenzwerte überschritten werden. Allerdings gibt es in der wissenschaftlichen Literatur nur unzureichende Informationen über die Dosis-Wirkungs-Beziehung für gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die optische Strahlungsbelastung der gesunden Allgemeinbevölkerung.

Darüber hinaus wurde kein Beweis für ein erhöhtes Risiko der Lichtempfindlichkeit gegenüber LED-Lampen im Vergleich zu anderen Lichttechnologien gefunden. Die Abwesenheit von Ultraviolettstrahlung von allgemeinen LED-Lampen kann das Risiko der Lichtempfindlichkeit verringern. Auf der anderen Seite könnte das Fehlen von Infrarotanteilen - und möglicherweise auch von ultravioletter Emission - einen Einfluss auf den normalen biologischen Prozess bei Menschen haben. Dieser Aspekt wird noch untersucht.

3.2 Nationale Empfehlungen

In Deutschland berät die Strahlenschutzkommission (SSK) das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) in allen Angelegenheiten des Schutzes vor ionisierenden und nichtionisierenden Strahlen. Die Ergebnisse der Beratungen der SSK werden als naturwissenschaftliche und technische Empfehlungen oder Stellungnahmen an das BMU gerichtet und u. a. auf der Website der SSK veröffentlicht oder aber auch im Bundesanzeiger.

Mit Fragen zur Nichtionisierenden Strahlung befasst sich der Ausschuss Nichtionisierende Strahlen (A6) der SSK. Zu dessen dauerhaften Beratungsthemen gehören u. a. auch die Bewertung der gesundheitlichen Risiken und der Relevanz optischer Strahlung (einschließlich UV, IR), sowie die Beratung über aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse auf dem Gebiet der optischen Strahlung.

Folgende Empfehlungen sind in den vergangenen Jahren erschienen, die einen Bezug zu optischen Strahlungsquellen haben:

- 23.04.1998 Gefahren durch Laserpointer (85)
- 08.12.2005 Gefährdungen durch Laserpointer (86)
- 16.02.2006 Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren (87)
- 01.07.2010 Moderne Lichtquellen (88)
- 02.12.2010 Blendattacken durch Laser (89)

Darüber hinaus wurden noch folgende Empfehlungen verabschiedet, die als Ergänzungen der vorstehend aufgelisteten betrachtet werden können:

- 11.02.1998 Vorschlag zur Weiterentwicklung der Forschung zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (90)
- 31.10.2000 Gefahren bei Laseranwendung an der menschlichen Haut (91)
- 11.04.2002 Weiterentwicklung der Forschung zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (92)
- 28.04.2010 Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung (93)
- 11.02.2016 Gefährdungspotenzial bei der Anwendung von Lasern und anderen optischen Strahlungsquellen an der menschlichen Haut (94)

Im Einzelnen wurden in den vorstehend aufgelisteten SSK-Empfehlungen folgende Einzelempfehlungen, und zwar in der Regel mit einer wissenschaftlichen Begründung gegeben:

Gefahren durch Laserpointer

Hauptanlass zu dieser Empfehlung war der Umstand, dass ein zunehmender unsachgemäßer Gebrauch von Laserpointern durch Kinder und Jugendliche beobachtet wurde. Im Vordergrund standen dabei die eigene Blendung und diejenige von anderen zusammen mit Mutproben, bei denen "getestet" wurde, wie lange man in einen Strahl eines Laserpointers schauen kann. Vermehrt waren durch unsachgemäßen Gebrauch und Missbrauch verursachte Augenschäden berichtet worden.

Aus diesen Gründen hatte die Strahlenschutzkommission bereits 1998 u. a. empfohlen:

- a. nur Laserpointer zu verwenden, die nach Klasse 2 klassifiziert sind, und deren Leistung damit 1 mW nicht überschreitet,
- b. Laserpointer richtig zu klassifizieren und deutlich zu kennzeichnen sowie die Gebrauchsanleitung mit entsprechenden Warnhinweisen zu versehen,
- c. Laserpointer wegen ihres Gefährdungspotentials nicht als Spielzeug zu verwenden und
- d. von Seiten der Bundesregierung darauf hinzuwirken, dass Laserpointer der Klasse 3B vom Markt genommen werden, da sie eine Gefahr für die Gesundheit darstellen (Anmerkung: Zum Zeitpunkt dieser SSK-Empfehlung war die Laserklasse 3R noch nicht eingeführt, so dass alle Laser mit einer Leistung von mehr als 1 mW zur Klasse 3B gehörten.).

Außerdem hat die SSK in dieser Stellungnahme davor gewarnt, den Strahl eines Laserpointers auf Personen zu richten, da die Gefahr einer Augenschädigung besteht.

Gefährdungen durch Laserpointer

Schon relativ bald nach der Veröffentlichung der ersten SSK-Empfehlung zu den Gefahren durch Laserpointer hatte sich bei Messungen unterschiedlicher Institutionen gezeigt, dass bei den im Handel erhältlichen Laserpointern gefährlich hohe Ausgangsleistungen vorhanden waren. Dazu kamen Laserpointer, die entweder falsch oder nicht klassifiziert waren. Eine erneute Empfehlung zu Gefährdungen durch Laserpointer entstand durch die Tendenz auf dem Markt die Laserstrahlleistung bei Laserpointern auf den gefährlich hohen Wert von 5 mW anzuheben und zwar entsprechend der seit 2001 in der Normung neu eingeführten Laserklasse 3R, statt auf 1 mW zu begrenzen.

Dabei sah es die SSK aufgrund neuer Untersuchungen als besonders bedenklich an, dass natürliche Schutzreaktionen wie der Lidschlussreflex und andere Abwendungsreaktionen nicht sicher funktionierten. Die bisherige Sicherheitsphilosophie bei Lasern der Klasse 2 war davon ausgegangen, dass Pupillen-, Lidschlussreflex und andere Abwendungsreaktionen eine zufällige Bestrahlung des Auges durch einen Laserpointer in weniger als 0,25 s beenden würden. Damit wäre bei einer kurzzeitigen Exposition der Augen durch einen Laserstrahl mit einer Leistung bis 5 mW kein Augenschaden (weder unmittelbar noch verzögert) zu erwarten. Zu dieser Aussage der ICNIRP aus dem Jahr 1999 gab es durchaus fachliche Bedenken (62).

In dieser SSK-Empfehlung wird darauf hingewiesen, dass bei jeder 5. Person ein Schutz durch Lidschlussreflex und Abwendungsreaktionen fehlt, und zwar unter Bezug auf (95). In dieser heißt es aber richtigerweise: "Untersuchungen an mehr als 1 400 Probanden unter Labor- und Feldbedingungen haben gezeigt, dass nur in etwa 20 % der Fälle ein Lidschlussreflex auftritt, wenn Menschen mit einem typischen Laser der Klasse 2 bestrahlt werden." Die entsprechende Aussage müsste in der SSK-Empfehlung zu den Gefährdungen durch Laserpointer korrigiert wie folgt heißen: Neuere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass dieser Schutz bei etwa 4 von 5 Personen fehlt, weil weder der Lidschlussreflex noch Abwendungsreaktionen innerhalb von 0,25 s auftreten.

Die in der SSK-Empfehlungen getroffenen Schlussfolgerungen treffen aber dennoch zu, wonach es aus diesem Grund selbst bei Lasern der Klasse 2, d. h. bereits bei einer maximalen Ausgangsleistung von 1 mW, bei längeren Einwirkungsdauern als 0,25 s zu einer Überschreitung der maximal zulässigen

Bestrahlung (MZB) und einer Gefährdung der Augen kommen kann. Beim beabsichtigten Blick in den Laserstrahl können außerdem bereits bei relativ kurzer Expositionsdauer Blendungseffekte und Nachbilder auftreten, die mit sekundären Gefährdungen verbunden sein können.

Die SSK stellte somit fest, dass das Risiko, durch am Markt befindliche Laserpointer einen Augenschaden zu erleiden, nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Darüber hinaus können durch Blendung erhebliche indirekte Gefahren auftreten.

Die SSK

- a. warnt daher vor dem Kauf und der Verwendung nicht klassifizierter Laserpointer,
- b. warnt davor im privaten Bereich Laserpointer mit Klassen höher als 2 zu verwenden und
- c. rät, eine verstärkte Marktüberwachung durchzuführen.

Auch im gewerblichen Bereich sollten keine Laser mit Klassen höher als 2 verwendet werden.

Die SSK empfiehlt,

- a. im privaten Bereich nur Laserpointer der Klasse 1 zu verwenden und
- b. Laserpointer mit grünem Licht zu bevorzugen, da diese mit kleinerer Leistung größere Helligkeiten erreichen können.

In Bezug auf das zunehmende Erscheinen von Lasern der Klasse 3R weist die SSK darauf hin, dass unter dem Aspekt eines fehlenden Lidschlussreflexes Augenschäden nicht mehr ausgeschlossen werden können. Auch die ständigen Augenbewegungen, durch die eine örtliche Exposition am Augenhintergrund verringert wird, können eine Schädigung der Netzhaut am Augenhintergrund nicht verhindern.

Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren

Mehrere Umstände haben den Ausschuss A6 der SSK dazu veranlasst, sich mit Blendungseffekten zu befassen. Hierzu hat wesentlich beigetragen, dass in zunehmendem Maße neue Lichtquellen, wie z. B. Licht-emittierende Dioden (LED) eingesetzt werden, die zum Teil über eine sehr hohe Leuchtdichte verfügen und daher auch ein entsprechend hohes Blendungspotenzial aufweisen. Auch wurde festgestellt, dass für wichtige Anwendungen Vorschriften und technische Regeln zur Vermeidung von Blendungen fehlen. Dies trifft auch z. B. für Kfz-Scheinwerfer zu.

Ziel der SSK-Empfehlung zur Blendung war es, insbesondere auf Gefährdungen hinzuweisen, die als indirekte Wirkungen durch das Auftreten von Blendungen entstehen können, und konkrete Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minimierung der Blendung aufzuzeigen.

Hierzu wird in einer wissenschaftlichen Begründung zur Stellungnahme auf die Zusammenhänge und Effekte eingegangen, die für das Auftreten von Blendung von Bedeutung sind. Es werden die verschiedenen Blendungsbegriffe wie Adaptations-, Relativ-, Absolutblendung, direkte und indirekte Blendung u. a. m., sowie unterschiedliche Bewertungsmethoden beschrieben. Außerdem werden zahlreiche Beispiele für Blendungssituationen dargestellt.

Die SSK fordert die Hersteller auf, bei der Konstruktion auf das erhöhte Blendungspotential neuer Lichtquellen besonders Rücksicht zu nehmen und deren Leuchtdichte durch geeignete Maßnahmen so zu begrenzen, dass eine Blendung vermieden wird. Die SSK weist auf die Blendungsgefahr insbesondere durch neue künstliche Lichtquellen hin und empfiehlt u. a. folgende Maßnahmen zu deren Vermeidung bzw. Minimierung.

Die SSK empfiehlt

- a. den Herstellern, bei der Entwicklung neuer Lichtquellen die erhöhte biologische Gefährdung durch nachteilige spektrale Lichtverteilungen zu beachten und insbesondere den Blaulichtanteil zu minimieren,

- b. bei der Aufstellung von Lichtquellen mit erhöhtem Blendungspotential, z. B. Flutlichtanlagen, Reklameleuchttafeln oder Signalleuchten, durch geeignete Maßnahmen Blendungen zu vermeiden, z. B. durch das Anbringen von Lamellen,
- c. die in internationalen Zulassungen von Kfz-Scheinwerfern geforderte Prüfung auf Blendung in die Praxis umzusetzen und ein einheitliches, die Leuchtdichte bewertendes Messverfahren zur Prüfung der Blendung vorzuschreiben,
- d. die Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen zur Beschränkung der Blendung durch Lichtquellen und
- e. Forschungen zur Entwicklung eines geeigneten Verfahrens für die psycho-physiologische Bewertung der Blendung durchzuführen.

Moderne Lichtquellen

Vor dem Hintergrund, dass Glühlampen aus dem Handel genommen und durch Energiesparlampen ersetzt werden, die ein anderes Spektrum aussenden, wie dies bei Kompaktleuchtstoff- und LED-Lampen der Fall ist, galt ein Hauptaugenmerk in dieser SSK-Stellungnahme dem häufig deutlich höheren Blauanteil im Vergleich zu Glühlampen und dem vorliegenden diskontinuierlichen Spektrum. Insofern wurde auch eine gesundheitliche Bewertung von heute zur Innenraumbeleuchtung eingesetzten Lampentypen durchgeführt.

In dieser Empfehlung kommt die SSK zu dem Ergebnis, dass moderne Lichtquellen in den für die Nutzung relevanten Abständen die strahlenschutzrelevanten Grenzwerte sicher einhalten. Diese Einschätzung ergibt sich aus eigens für diese Stellungnahme durchgeführten Messungen und ist in guter Übereinstimmung mit Ergebnissen nationaler und internationaler Untersuchungen (wie z. B. (96) zur Aussendung von EMF).

Die SSK sieht aufgrund der Feststellung, dass die von Kompaktleuchtstofflampen erzeugte Lichtqualität nicht grundsätzlich von bereits seit Jahrzehnten verwendeten Leuchtstofflampen verschieden ist, derzeit keine Veranlassung für besondere Empfehlungen hinsichtlich des Gebrauchs moderner Lichtquellen.

Blendattacken durch Laser

Die SSK hat mit großer Sorge die Zunahme von gefährlichen Blendattacken durch "Laserpointer" hoher Leistung beobachtet. Dabei gehören zu den betroffenen Personen neben Piloten von Verkehrsflugzeugen und Hubschraubern zunehmend Straßenbahn-, LKW- und Autofahrer, Sportler bei der Ausübung der jeweiligen Sportdisziplin, aber auch Besucher von Sportveranstaltungen.

Durch den missbräuchlichen Umgang mit Lasern können außer einer vorübergehenden Blendung je nach Leistung, Wellenlänge, Strahlquerschnitt und Betriebsart (Dauerstrich, Pulsung) auch irreversible Netzhautschäden bis hin zu dauerhafter Erblindung entstehen.

Die SSK stellt in diesem Zusammenhang fest, dass die derzeitigen Vorschriften für die bestehende Situation nicht ausreichend sind. Die Gefährdungslage ist laut SSK-Empfehlung den folgenden Tatsachen zuzuschreiben:

- a. Entwicklung von kleinen Halbleiterlasern (Laserdioden) großer Leistung mit Wellenlängen im grünen, blauen und ultravioletten Spektralbereich, sowie
- b. Betrieb von leistungsstarken Halbleiterlasern durch Batterien, dadurch Einsatz als transportable Quelle und leichte Beschaffbarkeit von leistungsstarken Halbleiterlasern durch Bestellungen aus dem Internet.

Die SSK empfiehlt mit Nachdruck, den Besitz und Erwerb von "Laserpointern" der Klassen 3B und 4 (entsprechend DIN EN 60825-1: 2008) gesetzlich zu regeln, so dass missbräuchliche Nutzung verhindert

wird. Außerdem könnten Laserpointer der Klassen 3B und 4 aufgrund ihres Gefährdungspotenzials z. B. als Waffen eingestuft werden.

Vorschlag zur Weiterentwicklung der Forschung zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen

In dieser SSK-Empfehlung zur Forschungsweiterentwicklung werden aus dem Bereich optischer Strahlung die UV-Strahlung mit verschiedenen Fragestellungen und die Laserstrahlung adressiert. Bei der Laserstrahlung werden die Themen

- "Erfassung der optischen Parameter unsensibilisierter und sensibilisierter lebender Haut und Modellierung der Wechselwirkungsprozesse",
- "Bestimmung der Kohärenz von Laserstrahlung im Gewebe" und
- "Experimentelle und epidemiologische Untersuchungen zum Studium bzw. Ausschluss berufsbedingter Schäden durch Hochleistungslaser"

als Forschungsschwerpunkte vorgeschlagen.

Gefahren bei Laseranwendung an der menschlichen Haut

Die SSK zeigt mit der vorliegenden Empfehlung die Gefahren für die Personen auf, die sich einer kosmetischen Behandlung von Hautveränderungen mit Lasern unterziehen wollen, und stellt Forderungen auf, um Abhilfe vor Gesundheitsgefahren zu schaffen. Die Hauptforderung besteht darin, gesetzliche Regelungen zu schaffen, die sicherstellen, dass die Laseranwendung auf die menschliche Haut ausschließlich durch einen speziell dafür ausgebildeten Arzt erfolgt.

Weiterentwicklung der Forschung zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung

In dieser SSK-Empfehlung wird festgestellt, dass sich bei vielen Fragestellungen eine Vertiefung und Erweiterung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen durch Forschung als notwendig erweist. Zumal haben sich neue Gebiete seit den von der SSK zuletzt 1991 abgegebenen Vorschlägen zur weiteren Entwicklung des Forschungsprogramms des BMU (heute BMUB) ergeben. In Fortschreibung der Empfehlung aus dem Jahr 1991 werden neue Vorschläge unterbreitet.

Zum Bereich optischer Strahlung werden neben Themen zur UV-Strahlung als solche für sichtbare und Infrarot (IR)-Strahlung einschließlich Laserstrahlung die Themen "Schutzreaktionen und Schädigungsschwellen bei sichtbarer optischer Strahlung" und "Bestimmung der Schädigungsschwellen für Linsentrübungen (Katarakte) bei langfristiger Einwirkung von IR-Strahlung" als Forschungsschwerpunkte aufgeführt und dringend für aktuelle Forschung als erforderlich bezeichnet.

Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung

In dieser SSK-Publikation werden "Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung", die Thema der SSK-Klausurtagung 2009 waren, zusammengefasst dargestellt. Im Themenblock Risikowissen "Nichtionisierende Strahlung" wird auch bei optischer Strahlung auf UV- und IR-Strahlung eingegangen.

Gefährdungspotenzial bei der Anwendung von Lasern und anderen optischen Strahlungsquellen an der menschlichen Haut

Diese SSK-Empfehlung ist zunächst als "Update" der Empfehlung aus dem Jahr 2000 (91) zu sehen. Darüber hinaus trägt sie der zwischenzeitlich stattgefundenen technologischen und methodischen Entwicklung bei den Anwendungsmöglichkeiten von Lasern zu ästhetischen und kosmetischen Zwecken Rechnung.

Die aktuell verfügbaren sogenannten IPL-Geräte werden ebenso wie Laser zunehmend auch bei medizinisch nicht indizierten Anwendungen und durch nicht ausreichend geschulte Anwender eingesetzt. Um für die behandelten Personen Schäden und unerwünschte Wirkungen zu vermeiden, sind jedoch aus Sicht der SSK umfangreiche fachliche und technische Kenntnisse des Anwenders unverzichtbar.

In der neuen SSK-Empfehlung werden die neuen gerätetechnischen Entwicklungen berücksichtigt und die mit ihrer Anwendung am Menschen verbundenen Risiken neu bewertet. Die SSK gibt nunmehr keine Empfehlung dazu ab, welche Berufsgruppe Laser und andere optische Strahlungsquellen mit vergleichbaren Wirkungen zu kosmetischen/ästhetischen Zwecken einsetzen darf. Diese Entscheidung muss dem Gesetzgeber überlassen bleiben, der von der SSK aber insofern unterstützt wird, dass die technischen und naturwissenschaftlichen Erkenntnisse zu diesen Geräten und zu den mit dem Einsatz dieser Geräte verbundenen Gefahren dargestellt werden. Darüber hinaus empfiehlt die SSK Ausbildungsanforderungen, die diejenigen Personen erfüllen sollen, die diese Geräte am Menschen einsetzen.

4 Blendung

Die durch sichtbare Strahlung verursachte vorübergehende Blendung kann betroffene Personen nicht nur stören oder ablenken, sondern bei manchen Aktivitäten im schlimmsten Fall zu indirekten Effekten führen, die durch das eingeschränkte Sehvermögen potenziell gefährlich sind. Die Ursache einer vorübergehenden Blendung liegt zunächst in der spezifischen molekularen Absorption von Photonen in den Chromophoren der Fotorezeptoren in der Netzhaut.

Blendung wird als ein Sehzustand definiert, der entweder aufgrund zu großer absoluter Leuchtdichte, zu großer Leuchtdichteunterschiede oder aufgrund einer ungünstigen Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld als unangenehm empfunden (psychologische Blendung) wird oder zu einer Herabsetzung der Sehleistung (physiologische Blendung) führt (97).

Bekannt ist das Auftreten einer Blendung z. B. beim Blick in eine grelle Lampe eines Scheinwerfers; sie tritt aber auch auf, wenn man von einem sichtbaren Laserstrahl im Auge getroffen wird. Es kann dann zu einem Nachbild kommen, wie es z. B. durch einen Kamerablitz erzeugt wird. Anschließend dauert es eine Weile, bis das volle Sehvermögen wiedererlangt wird. Daher spricht man von einer vorübergehenden Blendung. Während der refraktären, also nicht von außen beeinflussbarer Zeitdauer ist die betroffene Person in ihrem Sehvermögen behindert und eingeschränkt, und zwar neben einer eventuell auftretende sogenannte Blitzlichtblindheit insbesondere durch ein primär photochemisch induziertes Nachbild. Dieses stellt einen Seheindruck dar, der nach der Exposition des Netzhautbereichs genau an diesem für eine mehr oder weniger lange Zeitdauer anhält und das Sehvermögen in verschiedenerlei Hinsicht beeinträchtigen kann. Das temporär eingeschränkte Sehvermögen und Nachbilder können je nach Situation zu Irritationen, Belästigungen, Beeinträchtigungen und sogar zu Unfällen führen.

Nicht zuletzt fordert die neue Arbeitsschutzverordnung für künstliche optische Strahlung die Berücksichtigung indirekter Gefährdungen durch vorübergehende Blendung bei der Gefährdungsbeurteilung. Insofern war es nur folgerichtig, dass das bisherige Wissen zur Blendung, und zwar insbesondere bezüglich neuerer Lichtquellen, wie helle LEDs und Laser, durch entsprechende Forschung aktualisiert und im Hinblick auf die Parameterabhängigkeit untersucht werden musste. Hierzu liegen inzwischen umfangreiche experimentelle Ergebnisse vor, die auch quantitative funktionelle Abhängigkeiten von z. B. Wellenlänge, Strahlungsleistungen und Expositionsdauern enthalten (98; 99)

Aus Sicht der ICNIRP wird Blendung durch breitbandige inkohärente optische Strahlung im sichtbaren Spektralbereich auch in den aktuellen Guidelines (55) noch kein besonderes Augenmerk geschenkt. So heißt es bei ICNIRP erstmals, dass vorübergehende Sehstörungen wie physiologische Blendung, psychologische Blendung, Nachbilder und "Blitzlicht-Blindheit" durch kurzzeitige Exposition gegenüber hellen Lichtquellen unterhalb der Expositionsgrenzwerte verursacht werden können (177), und es sollten Vorkehrungen gegen die sekundären Sicherheitsrisiken getroffen werden, die aus vorübergehender Sehbehinderung resultieren können (178). Darüber hinaus werden von ICNIRP keine genaueren Angaben gemacht.

Andererseits liegen zur Thematik vorübergehende Blendung, insbesondere zu deren Auswirkungen auf die Sehbeeinträchtigung inzwischen umfangreiche Forschungsberichte vor, aus denen wesentliche Erkenntnisse zu den zu erwartenden Sehfunktionsstörungen durch Blendung abgeleitet werden können, und zwar auch in Bezug auf farbige und Weißlicht-LEDs (98; 99). In den Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (6) wird zwar die Gefährdung durch vorübergehende Blendung an mehreren Stellen angesprochen, es finden sich aber keine diesbezüglichen quantitativen Angaben. Dagegen wird hinsichtlich Situationen, in denen Blendungserscheinungen auftreten

können, und bezüglich Verfahren zur Bewertung von Blendungen auf den Bericht zum Forschungsprojekt F 2185 (98) hingewiesen.

Als neuere Erkenntnisse lassen sich z. B. festhalten, dass als Folge einer Blendung durch Exposition mittels LED-Strahlung z. B. das Farbkontrastsehvermögen bis zu ca. 3 Minuten beeinträchtigt werden kann, mit anderen Worten können farbige Gegenstände eine relativ lange Zeitdauer nicht in ihrer Objektfarbe korrekt wahrgenommen werden (98). Hierbei liegt die Ursache solcher Farbsehstörungen im Wesentlichen in den photochemischen Vorgängen in der Netzhaut, die von der jeweiligen Bestrahlung ausgehen und zu einem langanhaltenden Nachbild führen.

Sehfunktionsstörungen, die z. B. die Sehschärfe und die Lesefähigkeit betreffen, sind individuell zwar sehr verschieden und dauern etwa 3 % bis 5 % der Nachbilddauer an, ihnen sollte aber in jedem Fall die entsprechende Beachtung im Umgang mit Lichtquellen geschenkt werden, die über ein entsprechendes Blendungspotenzial verfügen. Bislang kann auch hier festgestellt werden, dass dieser Paradigmenwechsel in der Gefährdungsbeurteilung bei Laserstrahlung bereits vollzogen wurde. Bei Lampen, zu denen auch LEDs gehören, wird aber der Blendung – zumindest was die damit zusammenhängende photobiologische Gefährdung betrifft – noch nicht im erforderlichen Maße Rechnung getragen und findet z. B. in der sogenannten Lampennorm DIN EN 62471 (61) nicht einmal Erwähnung.

Bei Laserstrahlung konnte gezeigt werden, dass bereits Laser der Klasse 1, wenn sie sichtbare Strahlung emittieren, durch ihre Blendungswirkung ein hohes sekundäres Gefahrenpotenzial besitzen. Grad und Abklingzeit der Blendung sind nicht einfach quantifizierbar. Sie hängen aber maßgeblich vom Helligkeitsunterschied zwischen Blendlichtquelle und Umgebung sowie von den Expositionsparametern wie Bestrahlungsstärke und Expositionsdauer ab. So kann z. B. eine Exposition aus einem Klasse 1 Laser bei einer Dauer von 1 s oder aus einem Klasse 2 Laser bei 0,25 s für etwa 10 s bis 30 s eine vorübergehende, aber während dieser Zeitdauer bedeutsame Sehfunktionsstörung bewirken. Daraus wird ersichtlich, dass z. B. diese Erkenntnis in eine Gefährdungsbeurteilung bzw. Risikobewertung einbezogen werden muss, und zwar selbst dann, wenn lediglich Laser der Klasse 1 zum Einsatz kommen.

Da eine Blendung durch die Sonne zu den Alltagserscheinungen gezählt werden kann, können die in einem Leitfaden zur Laserstrahlung angeführten Vergleiche diesbezüglich eine entsprechende Orientierung liefern: "So ist eine Exposition durch einen grünen Laserstrahl (Wellenlänge von 532 nm) bei einer Leistung von ca. 40 μ W, d. h. 10 % des Grenzwertes für einen Laser der Klasse 1 nach DIN EN 60825-1, für eine Zeitdauer von nur 0,5 s hinsichtlich der Sehbeeinträchtigung beim Lesen eines Textes vergleichbar mit einem Blick in die Sonne für eine Zeitdauer von 1 s und eine kurzzeitige Exposition von einer Viertelsekunde mit einem grünen Laserstrahl (532 nm) bei einer Leistung von 60% der Klasse 2 nach DIN EN 60825-1, also 0,6 mW, entspricht diesbezüglich dem Blick in die Sonne für immerhin ca. 3 s. Die gleiche Sehbeeinträchtigung würde sich auch beim Blick in einen roten Laserstrahl (Wellenlänge ca. 635 nm) eines Klasse 1-Lasers mit maximal erlaubter Leistung bei einer Zeitdauer von nur 1 s ergeben. Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass ein 1 bis 3 s dauernder Blick in die Sonne zu einer Sehbeeinträchtigung beim Lesen von 3 bis 11 s, also von etwa dreifacher Dauer, führt" (100).

Die Notwendigkeit der Befassung mit dem Thema Blendung durch neue Lichtquellen hat dazu geführt, dass auch die Strahlenschutzkommission 2006 eine Empfehlung zur Blendung und ihre Gefahren verabschiedet hat (101). Darin werden in einer wissenschaftlichen Begründung auch die wesentlichen Grundlagen der Blendung dargestellt.

Mit der Frage, wie Blendung im Zusammenhang mit Gesundheit und Risiko eingeordnet werden könnte, befasst sich z. B. der Abschlussbericht des Forschungsprojektes 2185 der BAuA näher (98). Legt man danach z. B. den Maßstab der Gesundheitsdefinition nach WHO an, wie er in der Präambel der Verfassung der Weltgesundheitsorganisation steht (102), wonach "Gesundheit ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit

oder Gebrechen" ("Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity.") ist, dann müsste Blendung als ein Ereignis betrachtet werden, das die Gesundheit nachteilig beeinflussen kann.

4.1 Blendung und Schädigung

In (98) wird vorgeschlagen, stattdessen vom Risikobegriff auszugehen, der als „Kombination der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schadens und der Schwere dieses Schadens“ (risk: combination of the probability of occurrence of harm and the severity of that harm) definiert ist. Dabei wird ein Schaden gemäß ISO/IEC-Guide 51 als „Verletzung oder Schädigung der Gesundheit von Menschen, oder Schädigung des Eigentums oder der Umwelt“ (harm: injury or damage to the health of people, or damage to property or the environment) definiert (103).

Bei der Bemühung Blendung in die Begriffswelt von Gefährdung, Risiko, Schädigung bzw. Schaden einzuordnen muss berücksichtigt werden, dass eine Auswirkung einer Blendung zwischen "nicht wahrnehmbar" bzw. "nicht beeinträchtigend" und "bleibend" auftreten kann. Dabei ist unter "nicht wahrnehmbar" bzw. "nicht beeinträchtigend" zu verstehen, dass der durch eine solche Blendung hervorgerufene Effekt entweder nicht bemerkt wird oder aber, dass er in Bezug auf eine Tätigkeit, die im Moment des Blendungsereignisses ausgeübt wird, diese nicht behindert bzw. beeinflusst.

Hier muss dann noch außerdem in Auswirkungen unterschieden werden, die z. B. zwar messbar praktisch keine zeitliche Beeinträchtigung der Sehfähigkeit beinhalten, andererseits aber durch Erschrecken oder Überrascht- oder Abgelenktsein je nach gerade ausgeübter Tätigkeit einen bedeutsamen Einfluss auf die Fortführung der Tätigkeit haben können. Es ist sicherlich keine Frage, dass eine "bleibende" Auswirkung, wie sie durch photochemische oder photothermische Wirkung sichtbarer optischer Strahlung im Auge auftreten kann, nicht unter der Begrifflichkeit "vorübergehende Blendung" subsumiert werden kann. Allerdings ist der Übergang von einer vorübergehenden Blendung in eine Schädigung nicht einfach festzulegen, zumal dann in jedem Fall auch eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte in Kauf genommen werden würde.

Eine Publikation von Hirsch befasst sich mit der Bedeutung von Netzhautschädigungen, die potenziell durch "Blendelaser" (dazzling laser) erzeugt werden können (104). Es handelt sich dabei um sogenannte nichtletale Waffen, d. h. solche, die Personen kampfunfähig machen oder vertreiben sollen, aber nicht tödlich sind und im Falle von Lasern um solche Einrichtungen, deren Zweckbestimmung darin besteht Menschen zu blenden. Dies erklärt auch warum solche Geräte auch als „dazzler“, was so viel wie „Blender“ heißt, bezeichnet werden.

Auch wenn die Empfehlungen aus der Publikation (104) nicht als "Gradmesser" zu einer möglichen Einordnung von Blendung betrachtet werden sollten, so ist das Ergebnis der Studie dennoch insofern interessant, da mit einer - wie auch immer gearteten - "abgespeckten" Version solcher Laserprodukte über kurz oder lang auch auf dem Verbrauchermarkt gerechnet werden kann, zumal heute schon Themen wie die Verwendung von Taschenlampen zur Selbstverteidigung usw. in Produktkatalogen zu finden sind.

Aus dem Studium vorliegender Abhandlungen zu Netzhautschädigungen durch Laserstrahlung leiten die Autoren um Hirsch unter Benutzung des Begriffs der Signifikanz im Hinblick auf die Sehfähigkeit (Visus) von Personen und auf das Gesichtsfeld folgende Empfehlungen ab:

"Eine Beeinträchtigung der bestkorrigierten Sehschärfe wird als signifikant bezeichnet, wenn diese schlechter als 20/40 beträgt." (20/40 nach der in USA gebräuchlichen Angabe des Visus in sogenannten Snellen-Stufen entspricht im deutschsprachigen Raum der Dezimalangabe von 0,5 als Visus-Wert.)

Bezüglich der Beeinträchtigung des Gesichtsfeldes wird von Signifikanz dann gesprochen, "wenn das durchschnittlich verbleibende Gesichtsfeld 60° oder weniger beträgt oder wenn ein Skotom (Gesichtsfeldausfall) 1/4 oder mehr des Gesichtsfeldes einnimmt oder wenn ein Skotom beliebiger Größe zentral gelegen ist (d. h. innerhalb der Makula und nicht mehr als 2,75 mm von der Mitte der Foveola entfernt)."

"Eine Beeinträchtigung des Gesichtsfeldes außerhalb der vorstehend genannten Abmessungen wird als nicht signifikant bezeichnet."

Die vorstehend aufgeführten Empfehlungen wurden aus der wissenschaftlichen Literatur insofern abgeleitet, dass zur Signifikanzzugehörigkeit auch eine Unterscheidung unter Bezug auf die Kategorien "Unterhalb der Schwelle (subthreshold)", "Schwelle (threshold)" und "Oberhalb der Schwelle (suprathreshold)" und deren Auswirkungen auf den Ort bzw. Bereich auf der Netzhaut vorgenommen wurde. Dabei wurde dann eine Läsion (Schädigung) außerhalb eines Radius von mindestens 2,75 mm vom Zentrum der Foveola ausgerechnet, die einer "Schwellenläsion" entsprach, als nicht signifikant aufgrund vorliegender Berichte eingestuft, und zwar da Läsionen in der Peripherie der Netzhaut das Sehen nicht beeinträchtigen. Daher wurde davon ausgegangen, dass Schwellenschädigungen außerhalb der Makula nie zu einer signifikanten Sehbeeinträchtigung führen.

Es muss aber hinzugefügt werden, dass die in der Publikation von Hirsch (104) angegebenen Empfehlungen im Wesentlichen auf subjektiven und qualitativen Schädigungscharakterisierungen (z. B. unter-schwellig, Schwelle oder überschwellig) von Medizinern beruhen. Die zugrundeliegende Recherche ergab wenig Informationen über Beziehungen zwischen der qualitativen, medizinischen Charakterisierung und quantitativen Eigenschaften wie Größe und Tiefe der Läsion. Aus der Literatur sind allerdings quantitative Zusammenhänge zwischen der medizinischen Charakterisierung einer Schädigung und der Temperatur des betreffenden Netzhautareals bekannt, wonach z. B. eine Spitztemperatur von 65°C mit einer Wahrscheinlichkeit von fast 50 % zu einer Schwellenläsion bei der Photokoagulation zur Behandlung der diabetischen Retinopathie führt (105).

Ob eine Korrelation zwischen einer länger andauernden optischen Strahlungseinwirkung bzw. einer intermittierenden bzw. wiederholten Einwirkung auch im Hinblick auf die Gefahr eines photochemischen Schadens bedacht werden muss – zumindest bei kürzeren Wellenlängen – bleibt in diesem Zusammenhang zunächst unbeantwortet. Dazu kommt außerdem, dass es gewisse Hinweise darauf gibt, dass selbst relativ kurze Expositionsdauern bei Expositionswerten unterhalb der geltenden Expositionsgrenzwerte im violetten Bereich des Spektrums (insbesondere bei 405 nm) zu langanhaltenden, d. h. mehrere Stunden andauernden Nacheffekten ("Nachbilder zweiter Art") führen können (106).

Welche Mechanismen dafür verantwortlich sind, ist gegenwärtig noch unbekannt und bedarf im Hinblick auf die belastbare Gültigkeit der Expositionsgrenzwerte in diesem Wellenlängenbereich dringend einer entsprechenden experimentellen Klärung. Da die Erscheinungen von Blitzlichtblindheit und eines Nachbildes als vorübergehende Effekte einer Blendung hinlänglich bekannt sind, passt jedoch eine Nachwirkung von bis zu ca. fünf vollen Tagen nicht in das bisher bekannte wissenschaftliche Bild einer vorübergehenden Blendung (106). Es wird angenommen, dass Chromophore wie Lipofuszin eine wichtige Rolle bei der beobachteten Erscheinung spielen könnten. Bekannt ist, dass die Menge an Lipofuszin in den Zellen eines Organismus mit dem Alter zunimmt. Lipofuszin wird daher auch als Alterspigment gedeutet. Im Auge sammeln sich in den Zellen des retinalen Pigmentepithels (RPE), die beim Stoffwechsel der Photorezeptoren eine wichtige Rolle spielen, im Laufe des Lebens Restprodukte des Abbaustoffwechsels als Einlagerungen an, und zwar im Wesentlichen als Lipofuszin.

4.2 Blendschwellenabstände

Insgesamt kann festgestellt werden, dass vorübergehende Blendung nicht nur als eine neue Qualität der physikalischen Einwirkung optischer Strahlung in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen ist, sondern dass vorübergehende Blendung und deren mögliche Auswirkungen auch in einer Risikobewertung bei Verbraucherprodukten zu beachten sind. Aus den inzwischen vorliegenden funktionalen Abhängigkeiten im Hinblick auf die Dauer einer möglichen Sehstörung durch eine vorübergehende Blendung lassen sich quantitative Angaben auch zu entsprechenden Blendschwellenabständen NBD (nominal blinding distance) oder als vorübergehender Blendungsabstand NOBD (temporary blinding distance) (107) in Analogie zum Augensicherheitsabstand NOHD angeben.

Nicht zuletzt als Folge des Missbrauchs von Laserpointern beim Einsatz dieser Produkte zur Blendung von insbesondere Piloten und Fahrzeugführern wurden in den letzten Jahren Studien und Untersuchungen zur Blendung durch Laserstrahlung durchgeführt und die dabei erhaltenen Erkenntnisse veröffentlicht (siehe z. B. (98; 99)). Auszugsweise wurden die Ergebnisse dieser Studien auch in die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher Strahlung (TROS Laserstrahlung (5)) aufgenommen. Dies ist einerseits mehr allgemein gehalten bei der Beschreibung möglicher Gefährdungen bei den verschiedenen Laserklassen der Fall, aber auch sehr konkret dann, wenn es darin heißt, dass vorübergehende Blendung durch sichtbare Laserstrahlung schon relativ weit unterhalb der Expositionsgrenzwerte auftreten kann, und zwar z. B. auch beim Einsatz von Lasern der Klasse 1 im sichtbaren Bereich. In der Regel müssen dann nämlich bei der Gefährdungsbeurteilung wegen möglicher vorübergehender Blendung bereits Laser mit Strahlungsleistungen typisch zwischen $1 \mu\text{W}$ und $10 \mu\text{W}$ in einer 7-mm-Blende, entsprechend Bestrahlungsstärken in der Hornhautebene zwischen $0,025 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ und $0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, berücksichtigt werden. Mithin also bereits bei Laserstrahlleistungen bzw. Bestrahlungsstärken, die um Faktoren bis zu tausend unterhalb der Expositionsgrenzwerte bzw. der Grenzwerte zugänglicher Strahlung für Laser der Klasse 2 liegen und die für Verbraucherprodukte gemeinhin als sicher gelten (siehe z. B. (30; 43)).

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich auch Festlegungen eines Blendschwellenabstandes bzw. diesbezügliche Abschätzungen machen. Für sichtbare Laserstrahlung ergibt sich nämlich ein Blendschwellenabstand (engl.: Nominal Ocular Blinding Distance) NOBD $\approx 33\cdot\text{NOHD}$ bis $100\cdot\text{NOHD}$ (107), d. h. Blendung erstreckt sich entfernungsmaßig ca. 33- bis 100mal weiter als der Augensicherheitsabstand NOHD. Dabei wurde eine Mindestsehbeeinträchtigungsdauer von ca. 1 s durch vorübergehende Blendung zugrunde gelegt, die nach einer Laserstrahlexposition mit einer Dauer zwischen ca. 0,1 s und 0,25 s zu erwarten ist.

4.3 Grenzwerte und Abhängigkeiten vorübergehender Blendung

Wenn zur Orientierung von einem Expositionsgrenzwert für eine Zeitdauer von 0,25 s ausgegangen wird, der auch der Laserklasse 2 zugeordnet ist, kann diese auch mit Grenzwerten für vorübergehende Blendung (EBLV, temporary blinding or glare limit values) in Beziehung gesetzt werden. So ergibt sich z. B., dass die EBLV für eine Beeinträchtigungsdauer von 1 s durch einen Reduktionsfaktor von 100 bis 200 aus den EGW abgeleitet werden kann (107).

Um die Auswirkungen einer vorübergehenden Blendung ermitteln und bewerten, folglich beurteilen zu können, bedarf es der Kenntnis von Grenzwerten. Solche wurden bisher nur in einem amerikanischen Standard, nämlich in ANSI Z136.6 erstmals 2005 festgelegt und 2015 in überarbeiteter Version herausgegeben (179), in dem die folgenden Werte eingeführt wurden:

Zur Ablenkung von Flugzeugpiloten: $50 \text{ nW}\cdot\text{cm}^{-2}$, Blendung: $5 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ und Nachbilder und Blitzlichtblindheit: $100 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, was äquivalent zu Bestrahlungsstärken von $192,5 \text{ nW}$, $1,925 \mu\text{W}$ bzw. $38,5 \mu\text{W}$

in einer 7-mm-Blende ist. Hauptziel in dem amerikanischen Standard ist auch die Festlegung von Sehbeeinträchtigungszonen (visual interference zones) um Flughäfen. Bei den vorstehend aufgeführten Bestrahlungsstärkewerten und den damit zusammenhängenden Laserstrahlleistungen muss zum einen berücksichtigt werden, dass zu deren Herleitung zunächst nur eine Wellenlänge, nämlich 532 nm, und eine Expositionsdauer von 1 s experimentell untersucht wurden und dann zum anderen die betreffenden Werte durch Berechnungen aus den Expositionsgrenzwerten abgeleitet worden sind. So ergeben sich $100 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ für Nachbilder als 1/10 des Langzeitgrenzwertes von $10 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (Expositionsdauer ≥ 10 s und Wellenlängen zwischen 500 nm und 700 nm) und $5 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ durch Division des Wertes für das Auftreten von Nachbilderscheinungen durch 20 und der Wert für Ablenkung durch weitere Division durch 100. Aber aus diesen Werten kann man nicht die Dauer der Beeinträchtigung nach einer Blendung ableiten, sondern nur die jeweilige psycho-physiologische Wirkung. Sie sind daher in erster Linie hilfreich zur Festlegung entsprechender Zonen um Flugplätze.

Durch vorübergehende Blendung können insbesondere bei niedriger Umgebungshelligkeit Irritationen (Ablenkung, Fehlreaktion), Blitzlichtblindheit und Nachbilder entstehen. Eine Blendung kann beim Geblendeten eine Verminderung der Sehfähigkeit, d. h. eine Beeinträchtigung verschiedener Sehfunktionen, wie z. B. der Sehschärfe (Visus), der Farbsehfähigkeit und der Kontrastempfindlichkeit, verursachen. Grenzen wie "Ablenkung (distraction) oder "Blendung" (dazzle) festzulegen wird als einigermaßen kritisch angesehen, da solche Bewertungen eine subjektive Komponente beinhalten.

Hierbei ist außerdem noch die Wellenlängenabhängigkeit zu berücksichtigen. Dies ist in der Vergangenheit entweder überhaupt nicht geschehen oder es wurde zunächst die spektrale Hellempfindlichkeit entsprechend der $V(\lambda)$ -Kurve berücksichtigt. Hierzu wurde z. B. ein visueller Korrekturfaktor eingeführt, welcher der photopischen Hellempfindlichkeitskurve nach CIE für den Standardbeobachter entsprach (180). Nachdem zwischenzeitlich auch in USA Untersuchungen zur Blendung bei verschiedenen Wellenlängen durchgeführt wurden (siehe z. B. (181) bei 8 Wellenlängen zwischen 458 nm und 647 nm), werden jetzt auch auf diesen Erkenntnissen basierende Modelle zur Berechnung eines NODD-Wertes (engl.: nominal ocular dazzle distance) vorgestellt (181).

In den von Reidenbach et al. (99) durchgeführten Untersuchungen hat sich ein Sehtest als geeigneter gezeigt, da damit ein quantitatives Maß zugrunde liegt, auch wenn es interindividuelle Unterschiede gibt. Zur Ermittlung der aufgrund einer vorübergehenden Blendung zu erwartenden Sehbeeinträchtigungsdauer wurde von Reidenbach (107) aus den experimentell an Probanden bestimmten Ergebnissen funktionale Zusammenhänge für fünf Wellenlängen zwischen 405 nm und 670 nm hergeleitet. Danach kann man eine maximal zulässige Sehbeeinträchtigung t_{VIS} („tolerierbare Beeinträchtigung“) für eine maximale optische Leistung P aus den experimentellen Zusammenhängen $t_{\text{VIS}} = a(\lambda) \cdot P^{b(\lambda)}$ berechnen (107; 99). Für 532 nm ergibt sich damit gemäß $t_{\text{VIS}, 532} = 31,5 \cdot P^{0,44}$ für eine 100 ms lang in das Auge fallende Laserleistung von $1 \mu\text{W}$ eine Sehbeeinträchtigung von 1,5 s. Durch einfache Umstellung des funktionalen Zusammenhangs ergibt sich, dass bereits $0,4 \mu\text{W}$ zu einer Sehbeeinträchtigung von 1 s führen und bei $74 \mu\text{W}$ bereits mit einer Sehbeeinträchtigungsdauer von 10 s bei 532 nm gerechnet werden muss (107). Andererseits sind z. B. $17 \mu\text{W}$ bei 405 nm erforderlich für eine Sehbeeinträchtigung von 1 s, während man 10 s überhaupt nicht erreichen kann, da hierzu eine Laserstrahlleistung von $36,45 \text{ mW}$ erforderlich wären, d. h. deutlich mehr als für eine permanente Netzhautschädigung (107).

Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen haben u. a. auch gezeigt, dass z. B. für die Wellenlängen 405 nm und 445 nm Blitzlichtblindheit, wie sie bei Wellenlängen von 532 nm, 635 nm und 670 nm auftreten können, nur in seltenen Einzelfällen experimentell auftrat. Bei 532 nm ist z. B. bei einer Expositionsdauer von 100 ms ab ca. $10 \mu\text{W}$ mit Blitzlichtblindheit zu rechnen, während sich das Auftreten bei längerer Expositionsdauer tendenziell auf ca. $100 \mu\text{W}$ hin verschob. Bei 635 nm war erst bei Laserstrahlleistungen ab ca. $100 \mu\text{W}$ bei einer Expositionsdauer von 100 ms mit dem Auftreten von

Blitzlichtblindheit zu rechnen (99). Aufgrund gegenwärtig vorliegender experimenteller Erkenntnisse ist davon auszugehen, dass im kurzwelligen sichtbaren Spektralbereich Blitzlichtblindheit nicht erzielt werden kann, da bereits bei geringeren Laserstrahlleistungen, als sie hierfür theoretisch erforderlich wären, mit einer permanenten Augenschädigung gerechnet werden muss.

Nachdem es mittlerweile mehrere Modelle zur Bewertung von vorübergehender Blendung durch Laserstrahlung gibt, stellt sich die Frage nach einem Vergleich. Auf der Basis vorliegender Untersuchungen erscheint dies eingeschränkt für Wellenlängen um 532 nm möglich, aber nicht im kurzwelligen Bereich, da hier mit entsprechend großen Abweichungen zu rechnen ist. Einordnungen wie Blitzlichtblindheit, Blendung und Ablenkung werden als sehr schwierig bis nicht möglich angesehen. Dagegen hat sich die Ermittlung einer Sehbeeinträchtigungsdauer durch vorübergehende Blendung als unabhängig von den vorstehend genannten Kriterien gezeigt und sie führt zu quantitativen Werten.

Insbesondere für inkohärente optische Strahlungsquellen, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, wurde von Reidenbach der Vorschlag gemacht, diese entsprechend ihrem Blendungspotenzial in sogenannte Blendgruppen einzuteilen (siehe z. B. (107; 182; 183; 184)). Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse wird eine Einteilung von Lichtquellen bezüglich ihres Potenzials, das sie als Blendlichtquellen besitzen, in drei so genannte Blendgruppen (B0, B1 und B2) vorgeschlagen. Dabei könnte die relativ einfache Beziehung zwischen der Nachbilddauer und der so genannten Lesezeitstörung, die sich als ein geeigneteres Kriterium als die reine Sehschärfe (Visus) herausgestellt hat, zugrunde gelegt werden oder die Lesezeitstörung unmittelbar in Bezug genommen werden. So haben experimentelle Untersuchungen diesbezüglich gezeigt, dass die Ermittlung der Lesefähigkeit z. B. geeigneter Wörter bzw. eines Textes nach einer vorübergehenden Blendung Standard-ophthalmologischen Augenuntersuchungen unter Verwendung von Optotypen wie Landolt C-Ringen oder Snellen-Buchstaben überlegen ist.

Danach könnten Lichtquellen hinsichtlich ihres Blendpotenzials in Blendgruppe B0 eingeteilt werden, wenn sie kein Nachbild erzeugen, das zu einer Störung von Sehfunktionen führt, die länger als 1 s bis 2 s dauert. Blendgruppe B1 beinhaltet solche Lichtquellen, die das Potenzial für eine Störung der Sehfunktionen mit einer maximalen Dauer von 10 s besitzen und solche, bei denen längere Störungen zu erwarten sind, könnten einer Blendgruppe B2 zugeordnet werden. Dabei sollte der Hersteller oder Inverkehrbringer solcher Lichtquellen die Möglichkeit haben, die maximale Störzeit zusätzlich zur Gruppe angeben zu können, etwa B2/20 s (d. h. Blendgruppe 2, maximale Störzeit: 20 s). Eine solche Einteilung könnte auch bei einer Gefährdungsbeurteilung hilfreich sein und dieser Nutzen müsste gegenüber den Bedenken der Einführung einer weiteren Gruppierung bzw. Klassifizierung zusätzlich zu derjenigen nach DIN EN 62471 abgewogen werden.

Rein verbal könnte man die 3 Blendgruppen wie folgt beschreiben:

B0: praktisch nicht blendend oder unkritisch,

B1: geringfügige Blendung oder weniger signifikante Auswirkungen, aber nicht völlig vernachlässigbar, und

B2: starke Blendung, d. h. in jedem Fall müssen Maßnahmen ergriffen werden.

Die Wahl von 1 s bis 2 s als erste Grenze wird aufgrund der Tatsache vorgeschlagen, dass solche kurzen Beeinträchtigungsdauern für visuelle Aufgaben eigentlich nicht wichtig bzw. unkritisch sind. Die zweite Grenze von 10 s ergibt sich einerseits aus experimentellen Befunden, wonach dies eine Lesestördauer ist, die eine Tendenz der Sättigung beinhaltet, und darüber hinaus als eine Zehnerpotenz eher als Grenze akzeptiert werden könnte als ein genauere experimenteller Befund.

Die vorgeschlagene Einteilung ist bewusst einfach gehalten und als reine praktische Hilfe gedacht, da ansonsten nur eine mehr oder weniger umfangreiche Einzelfallbetrachtung anzustellen wäre, um potenzielle Gefährdungen aus vorübergehender Blendung zu ermitteln und zu berücksichtigen.

Trotz inzwischen bezüglich optisch sichtbarer Strahlung aus LEDs oder Lasern vorliegender Erkenntnisse bei vorübergehender Blendung bestehen gegenwärtig noch Kenntnislücken bezüglich mehrfacher Blendung, und zwar hinsichtlich chronischer bzw. Langzeit-Effekte. Ebenfalls fehlen Erkenntnisse bei gepulster/modulierter Exposition und im Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 400 nm. Es können derzeit auch keine quantitativen Angaben zu vorübergehender Blendung gemacht werden, wenn die Exposition entweder unmittelbar am Expositionsgrenzwert erfolgt oder oberhalb des Expositionsgrenzwertes aber unterhalb des Schädigungswertes (biologischer Schwellenwert). Die unterhalb des Expositionsgrenzwertes durchgeführten experimentellen Untersuchungen zur Blendung lassen vermuten, dass es zu Sättigungseffekten kommen kann (siehe z. B. (98)) und es ist davon auszugehen, dass bei größeren Bestrahlungsstärken bzw. Beleuchtungsstärken auf der Netzhaut der normale photopische Bereich nicht mehr gültig ist. Im Hinblick auf die Wellenlängenabhängigkeit werden weitere Untersuchungen als erforderlich angesehen. Es hat sich bislang experimentell gezeigt, dass es erstens eine solche gibt im sichtbaren Spektralbereich, und dass diese aber nicht linear mit der spektralen Hellempfindlichkeitskurve zusammenhängt. Ob es ausreicht von einer Abhängigkeit gemäß der Quadratwurzel aus dem betreffenden $V(\lambda)$ -Wert auszugehen oder ob eine der aus einer vorübergehenden Blendung resultierenden Sehbeeinträchtigung entsprechende und experimentell für den Wellenlängenbereich von (380 nm) 400 nm bis 700 nm (780 nm) zu bestimmende Relation als erforderlich betrachtet wird, sollten ebenfalls entsprechende Untersuchungen zeigen.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass vorübergehende Blendung nicht nur als eine neue Qualität der physikalischen Einwirkung optischer Strahlung in der Gefährdungsbeurteilung bzw. in einer Risikobewertung zu berücksichtigen ist, sondern dass vorübergehende Blendung und deren mögliche Auswirkungen auch in einer Risikobewertung bei Verbraucherprodukten zu beachten sind. Beachtet werden sollte, dass bei allen Sehbedingungen Blendung in jedem Fall vermieden werden sollte, denn Blendung verbessert die Sehbedingungen nicht.

Außerhalb Deutschlands entstehen aktuell insbesondere zur Eindämmung von Laserattacken auf Flugzeug- und Hubschrauber-Piloten, aber auch auf andere Personen, staatliche Regelungen. So hat die Schweiz in einem Verordnungsentwurf zum NISSG (185) als zulässige Verwendung von Laserpointern nur noch solche der Klasse 1 nach der Norm SN EN 60825-1:2014 (diese ist inhaltsgleich zur IEC 60825-1:2014) in Innenräumen vorgesehen (186). Außerdem ist vorgesehen, die Ein- und Durchfuhr sowie die Abgabe und der Besitz von Laserpointern der Klassen 1M, 2, 2M, 3R, 3B und 4 nach der Norm SN EN 825-1:2014 zu verbieten, sowie von Laserpointern, die nicht oder nicht richtig mit einer Laserklasse gekennzeichnet sind und von Zubehör, sofern es die Laserstrahlung von Laserpointern bündelt (186). Das Gesetz NISSG und die zugehörige Verordnung V-NISSG sollen 2019 in Kraft treten. In Großbritannien ist am 10. Mai 2018 der "Laser Misuse (Vehicles) Act 2018" in Kraft getreten (187). Hiernach begeht eine Person eine Straftat, wenn diese Person einen Laserstrahl auf ein sich bewegendes oder fahrbereites Fahrzeug scheint oder richtet, und der Laserstrahl eine Person, die das Fahrzeug kontrolliert, blendet oder ablenkt, oder wahrscheinlich blendet oder ablenkt (187). Dies zeigt, dass Blendung von einigen Ländern Europas als ein sehr ernstes Problem gesehen wird, dem man nun mit rechtlichen Regelungen sowohl auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes als auch der Allgemeinbevölkerung Einhalt gebieten will.

Zur generellen Einordnung von künstlichen optischen Strahlungsquellen liegen grundsätzlich zwei Konzepte vor. Eines davon benutzt einen gefährdungsbezogenen Ansatz und wird im Arbeitsschutz angewandt. Hier gilt, dass Beschäftigte am Arbeitsplatz nicht oberhalb von in einer Verordnung festgelegten Expositionsgrenzwerten bestrahlt werden dürfen, da sonst eine Gefährdung vorliegt. Eine solche muss durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes verhindert werden.

Bei Verbraucherprodukten gilt der Grundsatz, dass diese sicher sein müssen. Da in den entsprechenden Rechtsvorschriften wie Europäischen Richtlinien und darauf basierenden Gesetzen und Ver-

ordnungen aber keine Grenzwerte festgelegt sind, stellen die arbeitsschutzrelevanten Expositionsgrenzwerte bezüglich der zu erwartenden Produktsicherheit nur indirekt eine zu berücksichtigende Orientierung dar. Eine Unterstützung findet sich aber hierzu in den Guidelines von ICNIRP. Dort heißt es, dass die Schwellenwerte für Schädigungen für die in den Guidelines betrachteten Effekte genau definiert sind und dass daher im Allgemeinen auch kein Unterschied hinsichtlich einer Exposition von Beschäftigten und der Allgemeinbevölkerung gemacht wird (55; 58). Daher bedeutet eine Exposition oberhalb der Schwellenwerte gemäß dem Sicherheitskonzept von ICNIRP eine akute Gefährdung, denn dann bestehen photochemische und/oder photothermische Gefährdungen für die Augen. Wenn eine Exposition unterhalb der Schwellenwerte, aber oberhalb der Grenzwerte liegt, dann darf dies nicht der Fall sein, wenn es um Produktsicherheit geht.

Nach § 3 Absatz 1 Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) (12) "darf ein Produkt soweit es einer oder mehreren Rechtsverordnungen nach § 8 Absatz 1 ProdSG unterliegt, nur dann auf dem Markt bereitgestellt werden, wenn es die darin vorgesehenen Anforderungen erfüllt und die Sicherheit und Gesundheit von Personen oder sonstige in den Rechtsverordnungen nach § 8 Absatz 1 ProdSG aufgeführte Rechtsgüter bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung nicht gefährdet". Da man bei Verbraucherprodukten Fragen zur Sicherheit und Gesundheit von Personen nicht mit einer Gefährdungsbeurteilung beantwortet, sondern in aller Regel eine Risikobewertung durchgeführt wird, kann man ein Verbraucherprodukt, das eine künstliche optische Strahlungsquelle ist oder enthält, und zwar mit einem Risiko, das höchstens tolerierbar ist, als ausreichend sicher betrachten. Folgt man dieser Logik, dann stellt ein Verbraucherprodukt mit einem tolerierbaren Risiko entweder kein Risiko oder nur das mit der Verwendung des Verbraucherproduktes verträgliche minimale Risiko dar, das als akzeptabel gilt und mit einem hohen Schutzniveau für die Sicherheit und Gesundheit von Personen vereinbar ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn das tolerierte Risiko nach der aktuellen Wertstellung von der Gesellschaft akzeptiert wird. Solche Überlegungen sind dann wiederum in dem Kontext zu sehen, dass ein Restrisiko vor dem Hintergrund, dass es eine absolute Sicherheit bei optischer Strahlung aus künstlichen Quellen nicht geben kann, als annehmbar gilt.

Der Spielraum ist daher bei Verbraucherprodukten in dieser Hinsicht u. U. größer als bei einer stringenten Ausrichtung an verordnungsrechtlich festgelegten und in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigenden Expositionsgrenzwerten. Gleichwohl müssen bei der Bewertung von Verbraucherprodukten anders als bei Beschäftigten und bei deren Benutzung von Arbeitsmitteln, die optische Strahlung emittieren, auch mögliche Auswirkungen auf besonders empfindliche Personengruppen beachtet werden, zu denen Kleinstkinder, Kinder, Jugendliche, ältere Menschen und solche mit im Hinblick auf optische Strahlung relevante Erkrankungen insbesondere der Augen gehören können, Berücksichtigung finden. Dies gilt nicht nur im Hinblick auf direkte Gefährdungen durch optische Strahlung aus inkohärenten optischen Strahlungsquellen oder Lasern, sondern auch bezüglich vorübergehender Blendung und deren Auswirkungen, da die Augenmedien sowohl interindividuelle Unterschiede aufweisen können, aber auch altersabhängigen Veränderungen unterliegen, die sich auf den Grad und das Ausmaß einer Blendung auswirken können.

4.4 Arbeitsschutz

Soweit es den Arbeitsschutz betrifft gibt es bereits einige Aussagen in Sachen Blendung in den beiden Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Inkohärente Optische Strahlung und TROS Laserstrahlung).

In der TROS Inkohärente Optische Strahlung (TROS IOS) werden als Beispiele, bei denen vorübergehende Blendung auftreten kann, z. B. "Lampen zur Beleuchtung in und von Gebäuden, Sportanlagen, Bühnen oder Filmsets und Fahrzeuglampen" genannt (6), womit nicht nur das Personal, sondern auch

die Zuschauer einbezogen sind. Weiter heißt es darin, dass "eine derartige Blendung beim Geblendeten eine vorübergehende Verminderung der Sehfähigkeit verursachen und bei einem Fahrzeugführer z. B. zum Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug und zu einem Unfall mit weitreichenden Folgen führen kann". Hinsichtlich der Verfahren zur Bewertung von Blendungen wird auf den Bericht zum Forschungsprojekt F 2185 (95) verwiesen.

In der TROS Laserstrahlung werden sogar konkrete Zahlenangaben bezüglich des möglichen Auftretens von vorübergehender Blendung genannt. Dort heißt es in dem speziellen Zusammenhang mit Anwendungen von Lasern, die das Ziel haben, die Augen zu treffen: "In der Regel müssen bei der Gefährdungsbeurteilung wegen möglicher vorübergehender Blendung bereits Expositionen zwischen $0,025 \text{ W/m}^2$ und $0,25 \text{ W/m}^2$ berücksichtigt werden, die um viele Faktoren geringer als die Expositionsgrenzwerte sind" (5). An anderer Stelle wird der Zusammenhang verallgemeinert mit folgender Formulierung auf die Laserklassen bezogen: "Vorübergehende Blendung durch sichtbare Laserstrahlung kann schon relativ weit unterhalb der Expositionsgrenzwerte nach § 6 Absatz 2 OStrV (1) auftreten, z. B. auch beim Einsatz von Lasern der Klasse 1 im sichtbaren Bereich. In der Regel müssen dann bei der Gefährdungsbeurteilung wegen möglicher vorübergehender Blendung Laser mit Strahlungsleistungen typisch zwischen $1 \mu\text{W}$ und $10 \mu\text{W}$ bei einer 7 mm-Blende berücksichtigt werden" (5). Hierbei wurden entsprechende Ergebnisse aus den beiden Forschungsprojekten F 2185 und F 2310 berücksichtigt (98; 99).

Auch für den speziellen Fall von Laserpointern finden sich in der TROS Laserstrahlung folgende Empfehlungen: "Bei korrekter Klassifizierung und bestimmungsgemäßem Gebrauch werden die Expositionsgrenzwerte bei Laserpointern eingehalten. Dennoch kann eine vorübergehende Blendung von Personen nicht ausgeschlossen werden und aus der Gefährdungsbeurteilung können sich folgende Verhaltensregeln für Laserpointer ergeben (108; 30):

- Den Laserstrahl nicht auf Personen richten (auch Laser der Klasse 1 dürfen nicht auf Personen gerichtet werden, da es durch Blendung zu Unfällen kommen kann),
- Nicht absichtlich in den direkten oder direkt reflektierten Strahl blicken,
- Falls Laserstrahlung der Klasse 1M (wenn sichtbar), 2 oder 2M ins Auge trifft, sind die Augen bewusst zu schließen und der Kopf sofort aus dem Strahl zu bewegen". (5)

Dass die Möglichkeit einer vorübergehenden Blendung bei der Verwendung von z. B. Lasern der Klassen 2 und 2M, sowie der Klassen 3A (Laserklasse, die für seit 2004 neu auf dem Markt bereitgestellte Laser keine Anwendung mehr findet) und 3R, soweit diese sichtbare Laserstrahlung emittieren, gegeben sein kann, ist selbstverständlich ebenfalls bei den klassenspezifischen Besonderheiten in der TROS Laserstrahlung aufgeführt (5).

Vergleichbare insbesondere quantitative Aussagen bzw. Empfehlungen für die Allgemeinbevölkerung fehlen aber bis jetzt. Es wird allerdings im Anhang 1 der "Technischen Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" (30) darauf hingewiesen, dass folgende laserspezifische Verhaltensregel bei der Erstellung der Gebrauchsanleitung für Laser der Klassen 1, 1M, 2 und 2M zu beachten ist:

"Den Laserstrahl nicht auf Personen richten (auch Laser der Klasse 1 dürfen nicht auf Personen gerichtet werden, da es durch Blendung zu Unfällen kommen kann)" (30).

4.5 Straßenverkehr

Aufgrund der potentiellen Beeinflussung des Sehvermögens steht die physiologische Blendung in direktem und messbarem Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit.

Dies zeigen auch die aktuellen Befunde von Kimlin et al. (109). Die Autoren wiesen für eine ältere Probandengruppe in einem realen Fahrzenario nach, dass die Erkennbarkeit von Objekten im nächtlichen

Straßenverkehr im Blendfall deutlich eingeschränkt ist. Dabei wird in der Regel die Verschlechterung der Kontrastwahrnehmung im Blendfall betrachtet, welche für die Erkennbarkeit von Objekten im Straßenverkehr relevant ist. Eine weitere Möglichkeit zur Quantifizierung dieser Blendungsart stellt die Readaptationszeit dar. Diese beschreibt die benötigte Zeit nach einem Blendereignis, um ein Objekt, welches ohne Blendung sichtbar war, wieder zu erkennen. Die physiologische Blendung ist abhängig vom Streulicht im Auge, welches durch eine Blendquelle erzeugt wird. Dieses überlagert die Abbildung der Umwelt auf der Netzhaut und führt zu einer Reduzierung des tatsächlichen Kontrastes (110). Objekte, die ohne Blendung gerade sichtbar waren, können so im Blendfall nicht mehr erkannt werden.

Das Streulicht im Auge wird über die sogenannte Schleierleuchtdichte beschrieben und entsteht durch die von der Blendquelle erzeugte Beleuchtungsstärke am Auge. Beide Größen stehen somit in unmittelbarem Zusammenhang. Nähern sich zum Beispiel zwei entgegenkommenden Fahrradfahrer, so wird durch die Fahrradbeleuchtung jeweils eine entsprechende Beleuchtungsstärke am Auge des Gegenübers erzeugt. Diese nimmt mit abnehmender Distanz zwischen beiden zu. Das dadurch entstehende Streulicht im Auge führt zur Reduzierung der Kontrastwahrnehmung, wodurch der Betreffende Objekte, die ohne Blendung sichtbar wären, nicht mehr erkennt.

Von der CIE wurden auf Grundlage von jahrelangen Studien die Schleierleuchtdichte bei physiologischer Blendung in mehreren Formeln mit unterschiedlicher Komplexität vorgeschlagen. Ein Überblick darüber gibt die „CIE Collection on Glare 2002“ (111). Als praktische Formel wird hier die „CIE Age-Adjusted Stiles-Holladay Disability Glare Equation“ aufgeführt:

$$L_{Schleier} = E_B \cdot \left(\frac{10}{\Theta^2} \cdot \left(1 + \left(\frac{Alter}{70} \right)^4 \right) \right)$$

mit E_B der Beleuchtungsstärke am Auge und Θ dem Blendwinkel.

Zugleich kommt es durch die von der Blendquelle erzeugte Beleuchtungsstärke am Auge zu einer lokalen Änderung des Adaptationsniveaus. Die betreffende Stelle auf der Netzhaut wird somit unempfindlicher für Kontraste. Um die entsprechende Kontrastwahrnehmung ohne Blendung wieder zu erreichen, benötigt das Auge eine Readaptationszeit. Völker zeigte hierfür Readaptationszeiten in Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke am Auge zwischen etwa eins bis vier Sekunden (112). Für einen Radfahrer mit einer angenommenen Geschwindigkeit von 20 km/h kann dies unter Umständen bis zu 20 m Fahrt mit eingeschränkter Sehleistung bedeuten, nachdem die Blendung bereits vorüber ist. Es erscheint demnach zwingend notwendig, die physiologische Blendung im Straßenverkehr zu begrenzen.

Die psychologische Blendung beschreibt die subjektiv empfundene Störwirkung durch die Blendquelle. Diese Blendungsart unterliegt dabei großen interindividuellen Schwankungen. Als Folge von psychologischer Blendung wird häufig erhöhte Müdigkeit genannt (98; 113), wobei empirische Befunde hierfür fehlen. Zudem wird davon ausgegangen, dass erhöhte psychologische Blendung das Blickverhalten in Form von Blickabwendungen beeinflusst (114). Auch hierfür fehlen jedoch bislang noch Untersuchungen, die beide Parameter belastbar in Zusammenhang bringen. Nichtsdestotrotz sollte in Abhängigkeit der Situation auch die psychologische Blendung erfasst und gegebenenfalls begrenzt werden, um die kognitive Belastung von Verkehrsteilnehmern zu reduzieren. Auch die psychologische Blendung hängt maßgeblich von der durch die Blendquelle erzeugten Beleuchtungsstärke am Auge ab. Diese Blendungsart wird jedoch zusätzlich von weiteren Parametern, wie zum Beispiel dem Spektrum der Blendquelle (115) oder der Leuchtdichtestruktur der Blendquelle (116) beeinflusst. Die Erhebung dieser Blendungsart erfolgt zumeist über eine Bewertung der Störwirkung auf einer 9-stufigen Skala (de Boer-Skala).

In der Tabelle 4.1 ist die von de Boer-Skala entwickelte Skala mit der Bedeutung einzelner Grade (in Klammern ist die Originalbezeichnung angegeben) zusammengefasst. Die Zwischenwerte 2, 4, 6 und 8 haben keine spezielle Bezeichnung erhalten. Als im Straßenverkehr tolerierbar werden in der Literatur Grade ab 5 angesehen. (117; 118; 98)

Tabelle 4.1 Bewertung der psychologischen Blendung nach de Boer

Grad	Psychologische Empfindung/Bewertung
1	unerträglich (unbearable)
2	
3	störend (distracting)
4	
5	gerade akzeptabel (just acceptable)
6	
7	zufrieden stellend (satisfactory)
8	
9	gerade bemerkbar (unnoticeable/just noticeable)

Es ist zu beachten, dass im Falle der psychologischen Blendung nur ein subjektives Urteil möglich ist. Der Gegenbeweis, dass eine Einrichtung oder ein Gerät nicht blendet, ist objektiv nicht möglich. Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass bei Fehlen der psychologischen Blendung die physiologische Blendung im Straßenverkehr ebenfalls unproblematisch ist. (98)

Der Zusammenhang zwischen der subjektiven psychologischen Blendung und objektiven physikalischen Größen wurde sehr umfangreich untersucht. Für einen Überblick sei hier auf die Forschungsberichte (98; 99) hingewiesen. Nach umfangreichen Untersuchungen hat Schmidt-Clausen folgenden Zusammenhang zwischen der Bewertung nach de Boer-Skala und Beleuchtungsstärke am Auge und weiteren Parametern für ein schematisches Straßenverkehrsszenario aufgestellt:

$$W = 5 - 2 \cdot \log \frac{E_B}{0,02 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{L_U}{0,04}}\right) \cdot \Theta^{0,46}}$$

mit E_B der Beleuchtungsstärke durch die Blendlichtquelle am Auge, L_U der Leuchtdichte des Adaptionsfeldes und Winkel Θ zwischen der Blendlichtquelle und der Blickrichtung.

In der Norm zur Auslegung von Straßenbeleuchtung (119) wird zur Begrenzung der physiologischen Blendung das TI-Verfahren (Threshold Increment) verwendet. Der TI-Wert berechnet sich dabei nach der Gleichung:

$$TI = 65 \frac{L_s}{L_{ad}^{0,8}} \text{ mit } L_s = k \frac{E_B}{\Theta^2}$$

mit TI Threshold Increment (prozentuale Schwellenwerterhöhung), L_s Schleierleuchtdichte, L_{ad} Umfeldleuchtdichte, k Altersfaktor, E_B Beleuchtungsstärke am Auge durch die Blendquelle, Θ Winkel zwischen Blickachse und Blendquelle.

Die Begrenzung der physiologischen Blendung erfolgt somit über eine Begrenzung der Beleuchtungsstärke am Auge und damit auch der Schleierleuchtdichte. Gleiches gilt auch in der Kfz-Lichttechnik, wo die Blendung durch maximal zulässige Beleuchtungsstärken durch den Gegenverkehr begrenzt wird (Punkt B50L, vgl. (120; 121)).

Die Begrenzung der psychologischen Blendung ortsfester Straßenbeleuchtung (119) erfolgt durch Ermittlung des sogenannten Glare Index nach der Gleichung:

$$GI = I \cdot A^{-0,5}$$

mit GI Glare Index, I Lichtstärke, A projizierte gesehene Fläche.

Diese Angabe ist jedoch fakultativ und erfolgt meist nur auf Nachfrage. In der Kfz-Lichttechnik wird die psychologische Blendung nicht gesondert reguliert. Für andere Verkehrsteilnehmer, wie zum Beispiel Fahrradfahrer, existieren keine gesonderten Vorgaben.

Der vermehrte Einsatz von LEDs in der Beleuchtungstechnik bringt neue Herausforderungen für die Blendungsbewertung mit sich (122). Bedingt durch die physischen Eigenschaften der neuen Lichtquelle ist zu klären, ob gängige Blendungsbewertungsverfahren auch für LED-Leuchten angewendet werden können. Dabei stellt sich zum einen die Frage, ob der gegenüber konventionellen Lichtquellen erhöhte Anteil kurzweiliger Strahlung im Spektrum einer LED zu einer Erhöhung der Blendung führt. Dieses Phänomen zeigte sich schon bei der Einführung des sogenannten Xenon-Lichts in Kfz-Scheinwerfern und führte zu vermehrten Beschwerden über erhöhte Blendung. Zum anderen wird das Licht einer LED aus sehr kleinen Flächen emittiert und führt unter Umständen zu extrem hohen Leuchtdichten und Leuchtdichtestrukturen auf der Lichtaustrittsfläche. Auch dieser Parameter kann zu einer Erhöhung der Blendung führen.

Wie bereits angedeutet, wurde ein Einfluss des Spektrums einer Blendquelle auf die Blendung bereits bei Einführung der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfer diskutiert. In der Folge wurden zahlreiche Untersuchungen dazu durchgeführt (123; 124; 125). Die Autoren untersuchten jeweils den Einfluss verschiedener Scheinwerferspektren auf die Kontrastwahrnehmung foveal dargebotener Sehzeichen. Alle Untersuchungen kamen zu dem Schluss, dass das Spektrum der gezeigten Blendquellen keinen Einfluss auf die Erkennbarkeit der Sehzeichen hat. Mit Einführung der LED flammte diese Diskussion erneut auf. In einer Untersuchungsreihe hierzu konnte Niedling (115) jedoch zeigen, dass auch bei Verwendung von LEDs nicht mit einer Verschlechterung der Kontrastwahrnehmung zu rechnen ist, solange die Beleuchtungsstärke am Auge konstant ist. Lediglich Zydek (126) findet einen Einfluss auf die Kontrastwahrnehmung peripherer Sehobjekte bei erhöhtem Anteil kurzweiliger Strahlung. Hierbei handelt es sich jedoch noch um einen Einzelbefund, welcher noch nicht repliziert ist.

Gleiches gilt für erhöhte Leuchtdichten von Blendquellen. Hier zeigten Thoma und Locher (127), dass die Kontrastwahrnehmung auch bei zunehmender Leuchtdichte nicht beeinflusst wird, solange die Beleuchtungsstärke am Auge konstant gehalten wird. Eine Erhöhung der Leuchtdichte geht dabei mit einer Verkleinerung der leuchtenden Fläche einher.

Solange die Beleuchtungsstärke am Auge gleichbleibt, ist nach derzeitigem Erkenntnisstand bei Verwendung von LEDs demnach zumindest für foveal erscheinende Sehobjekte nicht mit einer Verschlechterung der Kontrastwahrnehmung zu rechnen.

Im Gegensatz zur physiologischen Blendung wird die psychologische Blendung von beiden Parametern beeinflusst. So konnte Niedling zeigen, dass in Abhängigkeit des Anteils kurzweiliger (blauer) Strahlung die Störwirkung der Blendquelle bis zu 1,5 Skaleneinheiten auf einer 9-stufigen Skala ansteigt (115). Eine LED mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 6500 K wird somit bei gleicher Beleuchtungsstärke als störender empfunden als beispielsweise eine Glühlampe.

Auch der Einfluss der Leuchtdichte muss bei der Bewertung der psychologischen Blendung anscheinend berücksichtigt werden. Hier zeigte Völker, dass sich die Blendungsbewertung bei gleichbleibender Beleuchtungsstärke am Auge mit zunehmender Leuchtdichte der Blendquelle erhöht (112). Die Ergebnisse von Thoma widersprechen dem zwar, die Untersuchung ist jedoch nur für einen eingeschränkten Leuchtdichtebereich gültig (127). Niedling konnte zudem zeigen, dass bei entsprechend geringem Abstand der LEDs innerhalb der leuchtenden Fläche diese nicht differenziert werden können und deren Blendungsbewertung in diesem Fall, der einer homogenen Fläche entspricht (128; 129). Die Ergebnisse von Lai bestätigen dies (130). Funke konnte zudem für die Innenbeleuchtung zeigen, dass bei peripherer Darbietung der Blendquelle die Leuchtdichtestruktur der leuchtenden Fläche keinen

signifikanten Einfluss auf die Störwirkung zeigt (116). Bei direktem Blick hingegen führt ein erhöhter Leuchtdichtekontrast (heller Lichtpunkt vor dunklerem direktem Umfeld) zu einer Erhöhung der Störwirkung. Der Einfluss der Leuchtdichtestruktur auf die Störwirkung der Blendquelle ist demnach abhängig von der Beobachterposition. Die psychologische Blendung kann sich somit unter Umständen bei Verwendung von LEDs im Vergleich zu konventionellen Lichtquellen erhöhen. Inwieweit dies zum Beispiel Auswirkungen auf das Blickverhalten oder die kognitive Belastung des Verkehrsteilnehmers hat, kann bis dato nicht beantwortet werden.

Die obigen Ausführungen verdeutlichen, dass bei Verwendung von LEDs in der Straßen- und Kfz-Beleuchtung nach derzeitigem Kenntnisstand keine negativen Auswirkungen auf die physiologische Blendung zu erwarten sind. Der für diese Blendungsart verantwortliche Lichtschleier im Auge zeigte in bisherigen Arbeiten für foveal erscheinende Sehobjekte keine Abhängigkeit vom Spektrum der Blendquelle. Inwieweit diese Erkenntnis auch für peripher erscheinende Sehobjekte zutrifft, wird derzeit untersucht (131). Ein Einfluss der Leuchtdichtestruktur ist aufgrund der geometrischen Bedingungen der genannten Anwendungsszenarios (Entfernung und Winkel der Blendquelle) nicht zu erwarten.

Im Gegensatz dazu bedarf die Bewertung der psychologischen Blendung anscheinend einer spektralen Korrektur. Der erhöhte Anteil kurzweiliger Strahlung im Spektrum einer LED führt zu einer Erhöhung der Störwirkung im Vergleich zu Blendquellen mit geringem Blauanteil (z.B. Glühlampe oder Natriumdampfhochdrucklampe). Ein Einfluss der Leuchtdichtestruktur ist abhängig vom Darbietungsort der Blendquelle. Da dieser Blendungsart jedoch in der Normung keine zentrale Bedeutung zufällt und bisher kein allgemeingültiges Modell zur Vorhersage existiert, sollte die praktische Relevanz dieser Befunde diskutiert werden.

Für die Interpretation dieser Zusammenfassung ist es von Bedeutung, welche Zielgruppen die normative Begrenzung der Blendung betrifft. Sowohl die Norm zur Auslegung von Straßenbeleuchtung als auch die Regelungen für Scheinwerfer sind hauptsächlich für Kraftfahrzeugführer ausgelegt (119; 120; 121). Aufgrund der höheren Geschwindigkeit im Straßenverkehr ist für diese Gruppe von einem höheren Gefahrenpotential auszugehen. Anderen Verkehrsteilnehmern, wie z.B. Fußgängern, Radfahrern oder auch Anwohnern, erscheinen die Blendquellen dabei unter anderen Winkeln und Distanzen, was zu differierenden Blendsituationen führen kann. Zudem kann eine neuartige Lichtquelle dazu führen, direkt in die Leuchte zu blicken. In diesem Fall ist von einer höheren Störwirkung bei Verwendung von LEDs auszugehen. Ob dies aus verkehrstechnischer Sicht von Bedeutung ist, sollte an anderer Stelle diskutiert werden. Dies gilt insbesondere für Radfahrer. Aufgrund der, im Vergleich zu Fußgängern, höheren Geschwindigkeit besteht für diese Verkehrsteilnehmer potentiell ein höheres Risiko. Gerade in dunklen Umgebungen, wie zum Beispiel unbeleuchteten Parks, ist von einer Beeinflussung der Wahrnehmungsleistung im Blendfall auszugehen (vgl. oben). Eine gesonderte Regulierung hierfür existiert jedoch nicht.

Unter dem Begriff Blendung wird, wie in diesem Abschnitt dargestellt, ein breites Spektrum an vorübergehenden Sehstörungen beschrieben, die von einer unangenehmen Empfindung ohne nennenswerten Verlust der Sehleistung bis zur Blindheit über einen merklichen Zeitraum hinweg reichen. Dabei ist auch zu beachten, dass die vorübergehende Blendung als solche keine direkten Schäden verursacht. Sie erhöht vielmehr die Unfallgefahr entweder durch die Ablenkung aufgrund des Unbehagens oder durch die Herabsetzung der Sehleistung.

Da die Blendung von einer ganzen Reihe von Größen abhängt, die nicht nur mit den Eigenschaften der Blendquelle sondern auch stark mit der Umgebung zusammenhängt, ist eine Blendungsbewertung aufgrund des Produkts allein nicht möglich. Im Bereich des Arbeitsschutzes kann für die Arbeitsplätze eine Blendungsbewertung durchgeführt werden, da die Arbeitsplätze definierbar sind und daher genügend Parameter bekannt sind, um eine Gefahrenbewertung durchführen zu können. Für den Schutz der Allgemeinbevölkerung können dagegen nur ausgewählte, wahrscheinliche Szenarien abgedeckt werden,

um über die Gefährlichkeit aufgrund von Blendung entscheiden zu können. Des Weiteren zwingt vor allem die zunehmende missbräuchliche Nutzung von leistungsstarken Laserpointern oder Taschenlampen zur Beschäftigung mit Verbraucherprodukten.

5 Ergebnisse bisheriger Untersuchungen

In diesem Abschnitt soll eine Übersicht bisheriger Untersuchungen zu Verbraucherprodukten in Hinblick auf ihre Gefährdungspotentiale gegeben werden. Dabei hat sich bei der Literaturrecherche gezeigt, dass im Gegensatz zu weit verbreiteten Produkten, wie Laserpointer oder Taschenlampen, bei Nischenprodukten die Studienlage sehr dünn bis nicht vorhanden ist, vor allem wenn es um herstellerunabhängige Untersuchungen geht.

5.1 Laserpointer

Laserpointer haben als optischer Zeigestock inzwischen eine weite Verbreitung gefunden. Der mit der Entwicklung von Halbleiterlaserdioden verbundene Preisverfall hat dazu geführt, dass Laserpointer nicht nur im gewerblichen Bereich zum Einsatz kommen, sondern auch den privaten Lebensbereich erobert haben, wie z. B. die Anwendung bei Hobbyastronomen zeigt. Als Folge des missbräuchlichen Einsatzes von Laserpointern und insbesondere von solchen handgehaltenen Laserprodukten, die aufgrund ihrer viel zu hohen Laserstrahlleistung als Laserpointer eigentlich unzulässig sind, kann es zu unmittelbaren Gefährdungen der Augen kommen. Ebenso können aber durch die hohe Leuchtdichte vorübergehende Blendwirkungen entstehen, die mit weitreichenden indirekten Auswirkungen bzw. Gefährdungen durch vorübergehende, mehr oder weniger langanhaltende Beeinträchtigungen verbunden sein können. Zu den möglicherweise betroffenen Personen können dann z. B. unmittelbar Führer von Fahrzeugen aller Art, aber auch z. B. Piloten von Flugzeugen oder Hubschraubern, gehören.

Nachfolgend werden einige wesentliche messtechnische Untersuchungen an Laserpointern aufgezählt, und zwar entsprechend der zeitlichen Reihenfolge:

Messungen zur Fernsehsendung "Laser-Pointer", Monitor am 22.01.1998

In Vorbereitung auf eine Fernsehsendung der Sendereihe „Monitor“, die dann am 22.01.1998 im WDR (ARD) ausgestrahlt wurde, waren zur fachlichen Unterstützung Messungen an zehn Exemplaren von Laserpointern durchgeführt worden. Dabei hatte zunächst die Universität Düsseldorf (Institut für Lasermedizin) als "erschreckendes Ergebnis der Untersuchung festgestellt, dass alle Laserpointer, die vielfach als "Kinderspielzeug" verkauft werden, in einer zu niedrigen Schutzklasse eingeordnet waren. Die Klasse 3b, in die sie eigentlich gehören, verlangt besondere Schutzmaßnahmen und sogar einen Laserschutzbeauftragten" (132).

Zur weiteren fachlichen Absicherung der Untersuchungsergebnisse war die Fachhochschule Köln angefragt worden. Dort wurde bei detaillierten Messungen am 15. und 19.01.1998 am "Forschungsschwerpunkt Medizintechnik: Hochfrequenz und Lasertechnik" der FH Köln (heute "Forschungsbereich Medizintechnik und Nichtionisierende Strahlung", TH Köln) an diesen zehn handelsüblichen Laserpointern festgestellt, dass einerseits falsche oder fehlende Klassifizierungen vorlagen und nicht diejenigen nach der zu diesem Zeitpunkt anzuwendenden DIN EN 60825-1:1997 (133), andererseits auch hinsichtlich der Energieversorgung (Batterien) Mängel vorlagen und weitere gerätetechnische Defekte, die bei noch zu geringer Erfahrung in diesem Massenartikel-Markt sowohl hinsichtlich der Messtechnik übersehen und vom Benutzer nicht erwartet werden konnten.

Alle in diesem speziellen Zusammenhang untersuchten Laserpointer waren im Wellenlängenbereich zwischen 630 nm und 680 nm angegeben, d. h. es waren "rote" Laserpointer. Als maximaler Emissionswert wurden 4,3 mW bei einem Laserpointer gemessen. Laser oberhalb von 1 mW Ausgangsleistung gehörten 1998 nach DIN EN 60825-1:1997 der Laserklasse 3B an. Die Laserklasse 3R als

"Unterklasse der Klasse 3B" wurde erst 2001 eingeführt, d. h. die hier 1998 der Klasse 3B zugeordneten Laserpointer wären ab 2001 nur als Klasse 3R entsprechend zu klassifizieren gewesen.

Hessische Behörden für Arbeitsschutz und Produktsicherheit, 1998

Nach Angaben im "Ergebnisbericht 2012 der Marktüberwachung Hessen im Bereich des Produktsicherheitsgesetzes" (134) beschäftigten sich die hessischen Behörden für Arbeitsschutz und Produktsicherheit bereits 1998 mit Laserpointern, die in Form von kleinen Schlüsselanhängern auf den Markt kamen. Sie kosteten wenig und waren bei Schülern sehr beliebt, um Lehrer, Mitschüler oder den gegnerischen Torwart auf dem Sportplatz zu ärgern. Bei der damaligen Überprüfung wurden maximale Ausgangsleistungen von 3,6 mW gemessen. Damals herrschte Einigkeit darüber, dass Laserpointer als optische Zeigestäbe eine maximale Ausgangsleistung von höchstens 1 mW haben durften, damit von ihnen keine Gefährdungen ausgehen. Die damaligen Staatlichen Ämter für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik haben im Rahmen ihrer Aufsichtstätigkeit hessische Hersteller und Importeure überprüft und veranlasst, dass Laserpointer mit zu hoher Ausgangsleistung nicht weiter in Verkehr gebracht wurden. Das zuständige Fachministerium koordinierte die Aktivitäten hessenweit, stimmte länderübergreifende Aktivitäten ab und tauschte Informationen mit den zuständigen obersten Behörden anderer Bundesländer (134 S. 14) aus. Weitere Informationen zu den vorstehend genannten Überprüfungen liegen nicht vor.

Die Annahme, wonach der "Boom" abebben würde und damit das Problem gelöst wäre (134), war sicherlich nichtzutreffend, wie die nachfolgende Entwicklung deutlich zeigte.

Charakteristische Messwerte kommerzieller Laserpointer und Klassifizierung nach DIN EN 60825-1 (135)

In Ergänzung zu den vorstehend berichteten Messungen im Rahmen der Vorbereitung einer Fernsehsendung wurden in drei weiteren Messreihen insgesamt 31 verschiedene Laserpointer untersucht.

An diesen 31 Laserpointern aus Fachhandel, Versandhauskatalogen, Messe, Ausstellungsveranstaltungen sowie aus Vortragsrängen wurden daher Messungen der Strahlleistung, Bestrahlungsstärke, Divergenz, des Strahlverlaufs und Profils durchgeführt und daraus die entsprechende Klassifizierung nach DIN EN 60825-1:1997 (133) ermittelt. Die Laserpointer auf Halbleiterdiodenbasis lagen im Wellenlängenbereich von 645 nm bis 678 nm und erstmals wurden auch frequenzverdoppelte, diodengepumpte Festkörperlaser bei 532 nm in Messungen untersucht. Die Ergebnisse wurden 1999 publiziert (135).

Die aus den Messungen resultierenden Klassifikationen zeigten, dass von 31 Laserpointern nur acht (25,8 %) der Laserklasse 2 angehörten. Sieht man von den Ergebnissen ab, die im Rahmen eines Ringversuches zur Klassifikation auf Veranlassung der Zentralstelle der Länder für Sicherheitstechnik des damaligen Bayerischen Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung durchgeführt wurden, dann gehörten von 25 Laserpointern nur zwei (8 %) der Klasse 2 an, die damals noch als durch den Lidchlussreflex sicher angesehen wurden. Die messtechnisch ermittelten Leistungen typischer Laserpointer erreichten Werte bis zu 7,5 mW bei Divergenzen im Bereich von ca. 1 mrad, d. h. mehr als 90 % bzw. 75 % der gemessenen Laserpointer gehörten der Klasse 3B an. Die sechs Laserpointer aus einem Ringversuch (Vollzug des damaligen Gerätesicherheitsgesetzes) waren insofern nicht vergleichbar, da das Ziel der Vergleich von Messergebnissen an verschiedenen Institutionen und nicht eine möglicherweise falsche Klassifizierung von Laserpointern war, da alle sechs Laserpointer in diesem Fall der Klasse 2 angehörten.

Neben den zehn Laserpointern, die im Rahmen der WDR-Fernsehsendung „Monitor“ untersucht wurden, wurden in einer zweiten Messreihe neun typische Laserpointer aus dem Herkunftsbereich Fachversandhandel bzw. Messeverkauf (Preisklasse: 20 bis ca. 800 DM) genauer untersucht, wobei statt der handelsüblichen Batterien ein Labornetzgerät zur Spannungsversorgung zum Einsatz kam. Hierbei

wurden nur zwei Laserpointer als zur Klasse 2 gehörig ermittelt, während alle anderen der Klasse 3B gemäß DIN EN 608251:1997 angehörten. Ein Laserpointer wäre selbst zu diesem Zeitpunkt nach dem amerikanischen Standard (136) eindeutig der "class IIIb" zuzuordnen gewesen, denn er wies eine maximale Ausgangsleistung von 7,5 mW bei einer Wellenlänge von 658 nm auf. Der einzige "grüne" Laserpointer (Wellenlänge: 532 nm) hatte eine maximale Laserstrahlleistung von 2,1 mW. Seine Besonderheit war allerdings, dass er mit einer Pulswiederholfrequenz von 263 Hz bei einem Tastverhältnis von 1:2, d. h. die Impulsdauer betrug 1,9 ms, betrieben wurde.

In der dritten Messreihe wurden ausschließlich Laserpointer untersucht, wie sie typischerweise weltweit auf Fachmessen gekauft werden konnten. Insofern wurde die Laserklassenangabe auch nur unter den Bedingungen des jeweiligen Erwerbslandes betrachtet. Diese Messungen ergaben sowohl für einen "roten" Laserpointer (Wellenlänge: 654,5 nm) als auch für einen "grünen" Laserpointer (Wellenlänge: 532 nm) die für damalige Verhältnisse sehr hohe Ausgangsleistung von 7,5 mW (135).

So wie die Strahlenschutzkommission (SSK) durch die Aktualität der potenziellen Gefährdungslage durch Laserpointer ihre erste diesbezügliche Stellungnahme bereits 1998 vorgelegt hat (85), so haben sich in der Folgezeit auch z. B. Gewerbeaufsichtsämter mit der Überprüfung von Laserpointern befasst. Dazu kann exemplarisch das Bayerische Landesamt für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik angeführt werden. Dort heißt es z. B. im Jahresbericht 2000 wie folgt: Zu den untersuchten und begutachteten technischen Arbeitsmitteln nach GSG (Anm.: damaliges Gerätesicherheitsgesetz) gehörten auch Laserpointer. So wurden im Zusammenhang mit der Sonderaktion „Laserpointer“ der Gewerbeaufsicht weitere, von den Gewerbeaufsichtsämtern vorgelegte Exemplare von Laserpointern vermessen (137).

In der Folgezeit hat nicht nur die SSK eine erneute Stellungnahme zu den Gefährdungen durch Laserpointer verfasst (86), sondern aufgrund der wachsenden Besorgnis hinsichtlich eines möglichen Missbrauchs wurde die Thematik Laserpointer auch europaweit aufgegriffen. So zeigte z. B. eine dänische Untersuchung aus dem Jahr 2008, dass keiner der getesteten Laserpointer den Sicherheitsanforderungen genügte und mehrere Laser hatten Ausgangswerte, die das 10fache der zulässigen Werte überstiegen (138).

Auch in anderen europäischen Ländern wurden, wie z. B. in den Niederlanden, Stellungnahmen zu Laserpointern bereits 1999 abgegeben.

Health Council of the Netherlands (139)

"Laser pointers held up to the light. A risk assessment."

Diese Stellungnahme konzentriert sich auf die Risiken einer missbräuchlichen Verwendung von Laserpointern. Der Gesundheitsrat (Gezondheidsraad, Health Council) unterstützt die bislang regierungsseitig getroffenen Maßnahmen hinsichtlich der Beschränkung bei Laserpointern, stellt aber zugleich fest, dass ihm noch keine Fälle dauernder Augenschäden durch Laserpointer bekannt geworden sind.

Aufgrund der möglichen Gefahren durch Laserpointer sind von Herstellerseite aus Sicherheitshinweise zu geben. Zu beachten ist, dass es neben dem europäischen auch ein amerikanisches Klassifizierungssystem gibt. In diesem Zusammenhang wird festgestellt, dass Laserpointer nicht selten eine falsche Sicherheitskennzeichnung besitzen.

Dieser Bericht enthält eine Bewertung der Risiken durch unsachgemäßen Gebrauch von Laserpointern. Der Gesundheitsrat informiert nicht nur über die Risiken durch Laserpointer, sondern auch bezüglich Laser-Spielzeug wie Laserstifte, Schlüsselanhänger, usw. (139)

Marktüberwachung in Sachsen-Anhalt 2010 (140; 141)

"Überprüfung von Laserpointern auf Einhaltung der zulässigen Strahlungsleistung"

Der für die Marktüberwachung nach dem Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG; Anmerkung: heute ProdSG) in Sachsen-Anhalt zuständige Fachbereich „Arbeitsschutz“ des Landesamtes für Verbraucherschutz (LAV) hat in einer Untersuchung im Jahre 2010 94 Laserpointer überprüft, und zwar auf korrekte Kennzeichnung und Dokumentation sowie zulässige Strahlungsleistung. Die Laserpointer wurden hierzu aus verschiedenen Handelseinrichtungen Sachsen-Anhalts erhalten bzw. vor Ort geprüft. Zwei der untersuchten Laserpointer emittierten bei 532 nm, alle anderen bei einer Wellenlänge von 650 nm. Laserpointer, die über das Internet verkauft und vertrieben werden, wurden nicht in dieses Projekt einbezogen, obwohl ihr teilweise hohes Gefährdungspotenzial bekannt ist.

Als Rechtsgrundlagen für das Handeln des LAV als Marktüberwachungsbehörde galten die §§ 4 Abs. 2, 5 und 8 GPSG in Verbindung mit DIN EN 60825-1:2008-05 und der "Technischen Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" mit dem Stand vom 22.04.2010.

Von den untersuchten Laserpointern waren lediglich fünf (5 %) hinsichtlich aller betrachteten Parameter mängelfrei. Weitere 22 Geräte (23 %) ließen sich nach ihrer Strahlungsleistung in die für Laserpointer erlaubten Laserklassen 1 und 2 einordnen. 15 % der Laserpointer emittierten sogar eine Strahlungsleistung > 5 mW und überschritten damit den Grenzwert der zugänglichen Strahlung für die Laserklasse 2 um mehr als das Fünffache und waren der Laserklasse 3B gemäß DIN EN 60825-1:2008-05 zuzuordnen. Als maximale Laserstrahlleistungen wurden bei den beiden grünen Laserpointern 17 mW und 21 mW gemessen.

Probleme ergaben sich für die Marktaufsichtsbehörde insbesondere dadurch, dass die Messung der Ausgangsleistungen eine große Streubreite aufwies und nach Aussage des Abschlussberichtes wahrscheinlich auf die Exemplarstreuung der verwendeten Laserdioden zurückzuführen war. Für die Marktüberwachungsbehörden ergibt sich daraus die Schwierigkeit, dass aus dem gefundenen sicherheitstechnischen Mangel der Überschreitung der zulässigen Laserklasse bei den überprüften Stichproben nicht automatisch auf den gleichen Mangel aller Geräte desselben Typs geschlossen werden kann. Umgekehrt bedeutet die Einhaltung der Laserklasse bei geprüften Exemplaren auch nicht, dass alle Laserpointer dieses Typs diese Bedingung erfüllen. So hatte z. B. ein Hersteller bzw. Inverkehrbringer, nachdem die Kontrolle seines Laserpointers eine deutliche Überschreitung des zulässigen GZS von 1 mW ergeben hatte, um Überprüfung der Messung gebeten und ein baugleiches Vergleichsexemplar zur Verfügung gestellt. Die Zweitmessungen am kontrollierten Pointer bestätigten eine GZS-Überschreitung um ca. den Faktor 3. Das Vergleichsexemplar dagegen hielt den GZS sicher ein.

In dieser Untersuchung wurde auch eine Risikobewertung nach der Entscheidung 2010/15/EU ("RAPEX-Verfahren") durchgeführt. Aufgrund zu hoher Strahlungsleistung ergab sich dabei unter Anwendung der Tabellen 3 und 4 in der Entscheidung 2010/15/EU ein hohes Risiko.

Die Untersuchungen haben im Übrigen gezeigt, dass mit Ausnahme der Wellenlänge der Laserstrahlung die notwendigen Kennzeichnungen und Dokumentationen viel häufiger fehlten als sie vorhanden waren.

Als Konsequenz aus den Untersuchungen wurde der Abverkauf aller Produkte, die nicht in die Laserklasse 2 eingeordnet werden konnten, sofort mündlich und schriftlich untersagt. Die mangelhaften Produkte mussten aus dem Sortiment genommen werden.

Es gilt aber zu beachten, wie vorstehend ausgeführt, dass aus der im Einzelfall gemessenen Überschreitung der Strahlungsleistung nicht zwingend auf denselben Mangel an baugleichen Geräten geschlossen werden kann; ein entsprechender Verdacht erscheint aber begründet. Zum Zeitpunkt der Überprüfung der Laserpointer besaßen diese oder baugleiche Typen bereits einen Eintrag im internetgestützten

Informations- und Kommunikationssystem für die paneuropäische Marktüberwachung (internetsupported information and communication system for the panEuropean market surveillance of technical products, ICSMS).

Blendung von Flugzeugpiloten als gefährliche Fehlanwendung von Laserpointern (142)

In einem Fachartikel wird von Reidenbach zum einen auf die Entwicklung von zunächst relativ leistungsschwachen dunkelroten Lasern zu immer leistungsstärkeren Geräten mit kürzeren Wellenlängen eingegangen. Dazu kamen frequenzverdoppelte Festkörperlaser bei 532 nm (grün), die aufgrund der deutlich größeren spektralen Hellempfindung des menschlichen Auges viel besser wahrgenommen werden. In diesem Zusammenhang werden Messergebnisse zu Laserpointern bei einer Wellenlänge von 532 nm vorgestellt, die zum einen zwischen 30 mW und 50 mW liegen und zum anderen neben der sichtbaren Laserstrahlung auch noch erhebliche Anteile an der primären Wellenlänge bei 1064 nm aufweisen. Im Einzelnen wurden bis zu 60 mW an infraroter Laserstrahlung bei einem 50 mW-Laserpointer gemessen. Außerdem werden erstmals auch Messergebnisse für einen violetten Laserpointer (Wellenlänge: 405 nm) angegeben.

Im Übrigen befasst sich dieser Beitrag mit den möglichen Gefährdungen durch Blendung als Fehlanwendung von Laserpointern mit besonderem Blick auf den Luftverkehr.

Jahresbericht der Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg 2012 (143)

"Überprüfung der Kennzeichnung und Leistung von Lasern, die als Verbraucherprodukte auf dem Markt bereitgestellt werden"

Im Jahresbericht der Gewerbeaufsicht Baden-Württemberg 2012 liegt ein kurzer Bericht über eine im Rahmen des Jahresarbeitsprogramms zur aktiven Marktüberwachung in Baden-Württemberg vom Regierungspräsidium Stuttgart durchgeführte Überprüfung von Laserpointern vor. Es wurden dazu insgesamt 44 Laserprodukte vom Markt (Einzelhandel, Baumärkte und Werbegeschenkanbieter mit Internethandel) entnommen. Die Produkte mit Laser umfassten im Einzelhandel 27 Laserpointer und 17 Lasergeräte aus dem Heimwerkerbereich (Nivelliergeräte, Wasserwaagen mit Laser, usw.). Um Doppelüberprüfungen zu vermeiden, wurde die im Jahr 2011 intern durchgeführte Aktion zur Überprüfung von Laserpointern ausgewertet und es fand ein Austausch mit dem ebenfalls an der Aktion teilnehmenden Regierungspräsidium Tübingen hinsichtlich der entnommenen Produkte statt. Die orientierende Messung der Laserleistung und der Wellenlänge erfolgte in Kooperation mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA); die Überprüfung der Kennzeichnung erfolgte durch das Regierungspräsidium Stuttgart. Über die vorgegebene Aufgabenstellung hinaus wurde auch die Qualität der Bedienungsanleitung überprüft.

Mängelfrei nach orientierend gemessener Leistung und hinsichtlich Produktkennzeichnung waren insgesamt lediglich sieben Produkte (15 %), davon fünf aus dem Heimwerkerbereich und zwei Laserpointer. Sechs der 27 Laserpointer hatten eine Laserleistung über 1 mW, so dass es sich bei diesen um gefährliche Verbraucherprodukte handelte. Bei neun der 17 Lasergeräte für den Baumarktbereich war das Produkt aufgrund der Aufweitung des Strahles in die Laserklasse 2M einzuordnen. Gekennzeichnet waren diese Geräte aber in nahezu allen Fällen mit der Klasse 2 und es fehlte auch der für die Klasse 2M erforderliche Warnhinweis in Bezug auf die gleichzeitige Verwendung optischer Geräte. Insgesamt 25 Laserpointer und Lasergeräte (57 % aller überprüften Produkte) hatten Kennzeichnungsmängel, die Maßnahmen erforderlich machten. Bei den Händlern wurde auf das Einstellen der Bereitstellung der mangelhaften Produkte auf dem Markt hingewirkt und die für die Hersteller zuständigen Marktüberwachungsbehörden wurden informiert.

Ergebnisbericht 2012 der Marktüberwachung Hessen im Bereich des Produktsicherheitsgesetzes (134)

2009 beschloss die Marktüberwachung beim Regierungspräsidium Gießen im Rahmen der Projektarbeit eine Evaluierung in Sachen Laserpointer. Genau in diesem Zeitraum häuften sich Berichte in der Presse zu Vorfällen mit Laserpointern „hoher Leistung“. Entgegen der noch 1998 geäußerten Meinung, dass das "Laserpointer-Thema" abebben würde, wurde von Blendungen gegnerischer Mannschaftsspieler durch Laserpointer auf Sportplätzen, von geblendeten Lehrern, Schülern, Straßenbahnfahrern und zuletzt sogar von Piloten in Flugzeugen berichtet. Dabei unterschied sich die Qualität dieser Vorfälle von denjenigen aus dem Jahr 1998. So heißt es in dem Ergebnisbericht der Marktüberwachung: "Die Leistung der nun verwendeten Laserpointer betrug mehrere Hundert Milliwatt. Die Reichweite dieser „Waffen“ beträgt zum Teil fünf Kilometer und mehr. Es wurde von bleibenden Augenschäden berichtet, und die Vorfälle geschahen weltweit, natürlich auch in Europa".

EU-Projekt JA2010: Laserpointer PROSAFE 2013 (138)

"Laser Pointers. Joint Market Surveillance Action funded by the Executive Agency for Health and Consumers (EAHC)"

Nicht zuletzt als Folge zunehmender Besorgnis im Hinblick auf die steigende Zahl von Berichten zu missbräuchlicher Verwendung von Laserpointern und von Laserattacken insbesondere auf Flugzeugführer gelangte das Thema zur europäischen Kommission. Von dieser wurde PROSAFE (Product Safety Enforcement Forum of Europe), eine gemeinnützige Berufsorganisation für Marktüberwachungsbehörden aus dem gesamten Europäischen Wirtschaftsraum (EWR), d. h. eine von der EU finanzierte Stiftung, 2010 die Koordination der Marktüberwachung für fünf weitere Verbraucherprodukte übertragen. Zu diesem von der Europäischen Union finanzierten Vorhaben unter dem Titel "GPSD-JA2010" gehörten auch Laserpointer. Durch die Förderung und Koordinierung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit von Marktaufsichtsbehörden in ganz Europa sollen gemeinsam Maßnahmen ergriffen werden können, um ein höheres Maß an Produktsicherheit innerhalb des EWR zu etablieren.

Das Projekt "Laserpointer" begann am 1. Januar 2011 und endete am 30. April 2013. An dem Projekt beteiligten sich zehn Mitgliedstaaten. Deutsche Teilnehmer waren koordinierend das Regierungspräsidium Gießen in Hessen und das Bundesland Sachsen. Es war das bislang umfangreichste Vorhaben der Marktaufsichtsbehörden bezüglich der Laserpointer und hat insofern eine große Bedeutung für die Beurteilung der Situation hinsichtlich sowohl der Verfügbarkeit von Laserpointern am Markt als auch Fragen der Sicherheit bei der Verwendung von Laserpointern durch Verbraucher betreffend.

Das Hauptziel des Projektes war es, zu gewährleisten, dass Laser-Produkte auf dem EU-Markt für Verbraucher sicher, richtig klassifiziert und mit geeigneten Warnhinweisen versehen sind, sowie eine Bedienungsanleitung beigefügt ist.

Als Beispiele für Laserpointer in diesem Projekt galten Laser-Gadgets ("Schnickschnacks", technische Spielereien), Hobby-Nivelliergeräte, Laser-Schlüsselanhänger, Schlüsselringe mit LEDs und Laser, Laser-Luftgewehre, Lasertaschenlampen, usw. Ausgenommen wurden alle Spielzeuge, die Laser enthielten, da diese unter die Spielzeugrichtlinie 2009/48/EG (144) fallen und die Laser auf die Klasse 1 beschränkt sind.

Die Marktaufsichtsbehörden der zehn am Projekt beteiligten Mitgliedstaaten hatten zwischen 7 und 13 Proben am Markt gezogen, und zwar hauptsächlich bei Einzelhändlern. An das zur Prüfung ausgewählte und akkreditierte Testlabor in Seibersdorf/Österreich waren 92 Exemplare geschickt worden, von denen allerdings zehn nicht funktionierten. Diese wurden durch sechs baugleiche ersetzt, so dass insgesamt 88 Laserpointer getestet werden konnten. Im Testlabor fand außer der Prüfung der Laserpointer auch eine Risikobewertung statt.

Zusätzlich hatten acht Mitgliedstaaten von 29 der 88 unterschiedlichen Laserpointer 139 weitere Exemplare von derselben Sorte eingereicht, die aus Packungen zu zwei, drei oder zwölf Laserpointern stammten. Diese zusätzlichen Laserpointer wurden im Labor lediglich hinsichtlich ihrer Ausgangsleistung getestet, um einen Eindruck davon zu erhalten, wie groß die Unterschiede diesbezüglich sein können.

Die Sicherheit von Laserpointern war während des gemeinsamen Aktionsplans auf die EU-Agenda zum Schutz besonders empfindlicher Verbraucher gesetzt worden. Viele der Laserpointer-Gadgets hatten Eigenschaften, die auf Kindern anziehend ("child appealing") wirkten. Die zum Zeitpunkt der Aktion geltende Norm EN 60825-1:2007 (entsprechend der deutschen Fassung DIN EN 60825-1:2008 (145)) wurde als nützlich bezüglich der Klassifizierung, Warnungen und Kennzeichnungen, Gebrauchsanweisungen, Spezifikationen für technische Anforderungen für industrielle Laserprodukte und umfangreichen Anhängen mit physikalischen Daten und biologisch-medizinischen Angaben angesehen. Es wurde aber auch festgestellt, dass die Norm keine Beschränkungen bezüglich der Laserklassen für spezifische Laserprodukte enthält. So sind darin auch keine spezifischen Sicherheitsschwellen für Laser-Verbraucherprodukte enthalten.

Nichtsdestotrotz mussten die am Markt entnommenen Laserpointerproben den allgemeinen Klassifizierungsregeln und den allgemeinen Anforderungen der Norm EN 60825-1:2007 entsprechen. Insofern enthielt das Testprogramm die Prüfung und Bewertung aller relevanten Abschnitte dieser Norm.

Bei der Risikobewertung wurde von einem "Worstcase"-Szenarium für Kinder als die empfindlichsten bzw. verletzlichsten Verbraucher ausgegangen und zu einem "ernsten Risiko" (serious risk) gelangt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass Kinder mit leistungsstarken Laserpointern entweder spielen, weil diese auf Kinder anziehend sind, oder weil Kinder in die Nähe des Laserpointers (innerhalb des Augensicherheitsabstandes, NOHD) gelangen können. Einige der auf dem Markt vorgefundenen Laserpointer, die für Kinder anziehend wirken, waren Kugelschreiberähnliche Pointer, Schlüsselanhänger-Gadgets, Laserpistolen, Lasergewehre, Pfeil-und-Bogen mit Laserzieleinrichtung, LEDs mit Laser, Laser umgeben von einem Ring an LEDs in einer Taschenlampe, Spielzeug für Katzen mit einem Laser usw. Alle Produkte waren batteriebetrieben, leicht und in der Hand zu halten.

Eine detaillierte Betrachtung der Testergebnisse zeigt, dass 15 % der Laserpointer, die den Farben Grün oder Violett zugeordnet wurden, zur Laserklasse 3B gehörten. 59 % waren rote Laserpointer in den Klassen 3R und 3B und 26 % der roten Laserpointer gehörten zu den Laserklassen 1 und 2, die als einzige auf dem Verbrauchermarkt zu finden sein sollten.

Außerdem waren 95 % aller Laserpointer der Klassen 3R und 3B entweder falsch oder nicht klassifiziert. Andererseits waren die meisten, nämlich 92 % der den Laserklassen 1 und 2 angehörenden Laserpointer richtig klassifiziert.

Bezogen auf die gebräuchlichsten roten Laserpointer sollten davon 70 %, die als Klasse 3R oder 3B identifiziert wurden, nicht auf dem Verbrauchermarkt erhältlich sein. Außerdem sollte keiner der sehr seltenen violetten und grünen Laserpointer, die als Klasse 3R und 3B identifiziert wurden, am Markt für Verbraucher verfügbar sein.

Anmerkung: Die Häufigkeit der verschieden farbig emittierenden Laserpointer ist aus heutiger, aktueller Sicht in dem Maße nicht mehr unbedingt zutreffend, da zumindest grüne Laserpointer in den letzten Jahren am Markt zunehmend verfügbar sind.

Bei den gemessenen Ausgangsleistungen zeigten sich erhebliche Schwankungen und Unterschiede bei ein und demselben Laserpointertyp, d. h. die auf einer Packung summarisch für alle darin enthaltenen Exemplare angegebene Leistung und Laserklassenzuordnung wurde als problematisch angesehen.

Angaben zu den Laserstrahlungsausgangsdaten fehlten bei 35 % der 37 der Klasse 3B Laserpointer und alle Produkte, die gekennzeichnet waren, waren falsch gekennzeichnet. Bezüglich der restlichen Proben waren die angegebenen Werte weder richtig noch ausreichend genau, um aufgrund der maximal zugänglichen Strahlung eine Klassifizierung vornehmen zu können. Oft fehlten auch die Wellenlängenangaben. 37 der Klasse 3B Proben hätten auch einer EN-Klassenangabe bedurft, d. h. 32 % hatten überhaupt keine Klassenangabe und 65 % enthielten eine Angabe gemäß dem US Code of Federal Regulations (CFR) (136).

Bei den 27 Laserpointern, die zur Laserklasse 3R gehörten, hatten 48 % keine Klassenangabe auf der Kennzeichnung, 11 % waren falsch gekennzeichnet und 41 % enthielten die US-amerikanische Kennzeichnung der Klasse, d. h. mithin waren alle diese Laserpointer nicht korrekt gekennzeichnet.

Hinweisschilder, wie sie bei Klasse 3B erforderlich sind, fehlten bei 32 % der Proben; 3 % enthielten einen Text, der vorgab außer demjenigen in USA auch demjenigen in Europa zu entsprechen. Hinweisschilder, wie sie auch für Laser der Klasse 3R gefordert werden, fehlten bei 52 % der Proben. 19 % enthielten einen falschen Text und nur der Rest war richtig gekennzeichnet. Selbst das bekannte Laserwarndreieck, auf das nur bei Laserprodukten der Klasse 1 verzichtet werden kann, fehlte bei zahlreichen Laserpointern.

Die gemäß EN 60825-1 geforderten Benutzerinformationen fehlten bei den meisten Produkten und wenn es solche gab, dann wurde der Text der Hinweisschilder wiederholt oder wurde als Ersatz für die Kennzeichnung betrachtet, so dass sich kein zusätzlicher Wert ergab. Soweit es die technischen Anforderungen für Laser der Klasse 3B betraf, waren nur bei einem der 37 Exemplare die geforderten Anforderungen erfüllt.

Gemäß der Zusammenfassung des Vorhabens wurden insgesamt 88 Proben am Markt entnommen. Davon gehörten 74 % der Klasse 3 an, die nicht an Verbraucher verkauft werden dürfen und von diesen wiederum waren 95 % nicht korrekt gekennzeichnet.

Es ergaben sich insgesamt 29 formale RAPEX-Meldungen und 13 RAPEX-Meldungen zur Information. Dazu kamen fünf Fälle, wo durch die Zusammenarbeit mit dem Zoll eine Einfuhr unterbunden wurde. In drei Fällen erfolgte ein Verkaufsverbot und die Rücknahme der Ware vom Markt, sowie eine ICSMS-Benachrichtigung, d. h. ein Eintrag im internetgestützten Informations- und Kommunikationssystem für die paneuropäische Marktüberwachung. Außerdem wurden 16 Warnungen/Geldbußen mit Rücknahmen vom Markt ausgesprochen und es wurden 24 Testberichte erstattet.

Das Gesamtergebnis lässt sich auch daran erkennen, dass die gemeinsame Aktion ("Joint Action") an 80 % aller RAPEX-Meldungen bezüglich Laserpointer im Jahre 2012 mit der Anwendung des Risikobewertungsinstrumentes auf die geprüften Proben beteiligt war.

Deutschland erließ für vier Produkte europaweite Warnhinweise nach dem RAPEX-Verfahren. Für weitere vier Produkte wurde der Verkauf verboten und zwei Produkte wurden vom Zoll abgewiesen. Lediglich drei der von deutscher Seite zu den Marktproben beigetragenen Produkte entsprachen den Vorgaben (146).

Nicht zuletzt kann das Ergebnis dieser gemeinsamen Aktion auch als wesentlicher Anstoß für das gegenwärtige Normungsmandat M/531 (43) für Lasereinrichtungen für Verbraucher angesehen werden.

Datenbank "Gefährliche Produkte in Deutschland" (BAuA)

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) veröffentlicht in einer Datenbank die ihr bekannt gewordenen Produktrückrufe, Produktwarnungen, Untersagungsverfügungen und sonstigen Informationen zu gefährlichen Einzelprodukten, die in Deutschland u. a. durch das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) geregelt sind.

In dieser Datenbank finden sich beispielsweise deutschsprachige Auszüge aus den wöchentlichen RAPEX-Meldungen der EU-Kommission. Es werden aber nur die von den zuständigen Marktüberwachungsbehörden der Mitgliedstaaten gemeldeten technischen Produkte, die auf dem deutschen Markt aufgefunden wurden bzw. in Deutschland hergestellt wurden und ein Risiko für die Sicherheit und die Gesundheit der Benutzer aufweisen, aufgeführt.

Gefährliche Produkte 2013, Informationen zur Produktsicherheit (147)

In diesem Bericht werden erstmals Laserpointer als gefährliche Produkte bei den Verstößen gegen die allgemeine Produktsicherheitsrichtlinie bzw. gegen das ProdSG allgemein aufgeführt, und zwar in insgesamt vier Fällen. Laserpointer waren dabei mit 2,8 % bei den mangelhaften Produkten nach Produktgruppen vertreten.

Gefährliche Produkte 2014, Informationen zur Produktsicherheit (148)

In diesem Bericht zielt nicht nur ein Laserpointer das Titelblatt der Veröffentlichung, sondern es wurden auch erstmals von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin zwei Untersagungsverfügungen aus dem Jahr 2013 unter den Nrn. 008/13 und 016/13, lfd. Nr. 44 gemäß § 31 Abs. 1 i. V. m. § 26 Absatz 2 Satz 2 Nummer 6, 7, 8 und 9 und Absatz 4 des Produktsicherheitsgesetzes zu einem Laserpointer bekannt gemacht.

Hierzu heißt es im Einzelnen u. a. zu dem Hauptmangel: "Die geprüften Laserpointer weisen Leistungen von 8,2 mW bzw. 6,8 mW auf, was deutlich über der max. zulässigen Leistungsgrenze liegt. Den Anforderungen für diese Laserklassen wird somit nicht entsprochen. Die von den Produkten ausgehende Gefahr kann aufgrund der hohen Ausgangsleistungen zu Augenverletzungen bis hin zur Erblindung führen" bzw. "Angabe (Name und Adresse) des Herstellers bzw. Bevollmächtigten oder Einführers fehlen (§ 6 Abs. 1 Nr. 2 ProdSG). Die Laser-Warnhinweise nach DIN EN 60825-1 Abschn. 5.1 i. V. m. 5.4 fehlen auf dem Produkt. Die Betriebsanleitung nach DIN EN 60825-1 Abschn. 6.1 fehlt. Der Laserpointer ist mit "Class III Laser Product" gekennzeichnet. Dies entspricht offensichtlich der Klassifizierung nach amerikanischem Standard".

In diesem Zusammenhang ist auch die "Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)" an diesen Bericht angehängt worden.

Gefährdung durch Bestrahlung aus Laserpointern (149)

In einem Forschungsprojekt mit dem Titel "Gefährdung durch Bestrahlung aus Laserpointern – Untersuchungen zur Gefährdung von Piloten und Fahrzeugführern öffentlicher Verkehrsmittel beim Arbeitsinsatz" der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) wurden bei messtechnischen Untersuchungen an 40 verschiedenen aus dem Internet (Online-Anbieter aus Fernost) beschafften Laserpointern im Wellenlängenbereich von 405 nm bis 655 nm („blau“, „grün“, „rot“) Leistungen bis zu 1000 mW messtechnisch ermittelt. Es hat sich gezeigt, dass die spezifizierte Laserleistung in fast allen Fällen überschritten wird; in Extremfällen sogar bis über den Faktor 20. Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass Laserpointerstrahlung einen hohen Polarisationsgrad von bis zu 99 % aufweist und bei blauer sowie roter Strahlung charakteristische „hotspots“ im stark inhomogen ausgeprägten Intensitätsprofil auftreten.

Die Ergebnisse beinhalten die Aussage, dass mit verfügbaren Laserpointern noch nach mehreren 100 Metern permanente Augenschädigungen verursacht werden können. Auch Blendeffekte können noch nach mehreren 1000 Metern auftreten.

Gefährliche Produkte 2015, Informationen zur Produktsicherheit (150)

In diesem Bericht wird von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin eine Untersagungsverfügung aus dem Jahr 2014 unter der Nr. 013/14 gemäß § 31 Abs. 1 i. V. m. § 26 Absatz 2 Satz 2 Nummer 6, 7, 8 und 9 und Absatz 4 des Produktsicherheitsgesetzes zu einem Laserpointer bekannt gemacht.

Hierzu heißt es im Einzelnen u. a. zu dem Hauptmangel: "Es liegt keine Klassifizierung und Kennzeichnung vor. Der Verwender kann aufgrund der fehlenden Angaben nicht erkennen, dass es sich um einen Laser handelt. Name und Anschrift des Herstellers bzw. Einführers sind nicht erkennbar. Eine Bedienungsanleitung sowie erforderliche Warn- und Sicherheitshinweise fehlen. Aufgrund der unzulässig hohen Strahlungsleistung deutlich über 1 mW (Messungen zwischen 5 und 10 mW) sind die Laserpointer als potentiell gefährlich zu betrachten und somit nicht verkehrsfähig. Es besteht die Gefahr von Augenverletzungen."

Gefährliche Produkte 2016, Informationen zur Produktsicherheit (151)

In diesem Bericht werden Laserpointer unter validierten RAPEX-Meldungen nach Produktkategorien mit 18 Fällen, in allen Mitgliedstaaten entsprechend 0,8 % aufgelistet. Davon entfielen 9 Fälle auf Deutschland mit 50 %, d. h. Laserpointer waren für 50 % aller RAPEX-Meldungen in Deutschland verantwortlich. Erstmals finden sich Laserpointer unter den fünf häufigsten Produktgruppen, die durch die Marktüberwachungsbehörden im Rahmen von RAPEX gemeldet wurden.

In diesem Bericht werden von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin drei Untersagungsverfügungen aus dem Jahr 2015 unter den Nrn. UV 003/15, UV 007/15, lfd.Nr. 1 und UV 007/15, lfd.Nr. 2 gemäß § 31 Abs. 1 i. V. m. § 26 Absatz 2 Satz 2 Nummer 6, 7, 8 und 9 und Absatz 4 des Produktsicherheitsgesetzes zu einem Laserpointer bekannt gemacht.

Als Hauptmängel werden hierzu angeführt: Zu Nr. UV 003/15: "Die Ausgangsleistung des Laserpointers HUONJE HJ-A85 liegt entgegen der Angabe auf dem Typenschild weit über der maximal zulässigen Leistung von 1 mW. Die bei der Prüfung gemessenen Werte lagen zwischen 50 und 160 mW. Dadurch besteht die Gefahr von Augenverletzungen. Weiterhin fehlt eine Gebrauchsanleitung in deutscher Sprache und es bestehen Mängel bei der Klassifizierung und Kennzeichnung. Der dem Laserpointer beigefügte Li-ion Battery Universal Charger entspricht nicht der Niederspannungsverordnung (1. ProdSV, RL 2006/95/EG)".

Zu Nr. UV 007/15, lfd. Nr. 1:

1. Die Ausgangsleistung des Laser Pointers liegt entgegen der Angabe auf dem Typenschild weit über der maximal zulässigen Leistung von 1 mW. Der gemessene Wert beträgt 112 mW.
2. Es fehlt eine mitgelieferte Gebrauchsanleitung in deutscher Sprache, in der auf die Gefahren bei der Verwendung von Lasern der Klassen 1, 1M, 2 und 2M hingewiesen wird.
3. Die Klassifizierung und Kennzeichnung des Laser Pointers entspricht nicht der europäischen Norm DIN EN 60825-1:2008-05, sondern der amerikanischen ANSI/CDRH-Regelung.

Weiterhin fehlen die Kontaktangaben des verantwortlichen Inverkehrbringers. Durch zuvor genannte Mängel besteht das Risiko von Augenverletzungen."

Zu Nr. UV 007/15, lfd. Nr. 2: In diesem Fall wurde derselbe Mangeltext verwendet wie zu Nr. UV 007/15, lfd. Nr. 1, mit dem Unterschied bei der gemessenen Ausgangsleistung des Lasers, die in diesem Fall 6,03 mW betrug.

Von den insgesamt 118 Verstößen gegen das ProdSG entfielen sieben (7,6 %) auf Lasergeräte. Auch 2016 waren Laserpointer wieder unter den fünf am häufigsten gemeldeten Produkten nach Meldungshäufigkeit (RAPEX-Meldungen), und zwar unter Berücksichtigung der 2. ProdSV (32) als nationaler und

der Europäischen Richtlinie 2009/48/EG (144) als europäischer Rechtsgrundlage. Dies traf insbesondere für Spielzeugpistolen mit Laser zu. Bei den gefährlichen Produkten nach Gefährdungsmerkmalen lag Laserstrahlung mit acht Meldungen, entsprechend 4,3 % an 3. Stelle.

Gefährliche Produkte 2017, Informationen zur Produktsicherheit (152)

In diesem Bericht werden Laserpointer unter validierten RAPEX-Meldungen nach Produktkategorien mit 20 Fällen, entsprechend 0,9 %, in allen Mitgliedstaaten aufgelistet. Dafür waren drei Fälle, entsprechend 15 % aller RAPEX-Meldungen in Deutschland verantwortlich.

Für 2016 gab es zu Laserstrahlung nur einen Fall bei den gefährlichen Produkten nach Gefährdungsmerkmalen. Unter den fünf häufigsten Produktgruppen finden sich im Jahr 2016 nun anstelle von Laserpointern Bedarfsgegenstände für Kinder.

Abgesehen von der Stellungnahme zu Laserpointer des niederländischen Gesundheitsrates aus dem Jahr 1999 und dem gemeinsamen von PROSAFE koordinierten Projekt "Laserpointer" gab es weitere Untersuchungen sowohl in Europa als auch in USA.

Suva (153; 154)

Elf Prozent der schweizer Bevölkerung wurde schon einmal von einem Laserpointer geblendet. Bei der Suva haben sich in den Jahren 2010 und 2011 die Laserunfälle im Vergleich zu den Vorjahren mehr als verzehnfacht. 2011 gab es bei der Suva 46 Berufsunfälle mit Laserpointern. In der Zeit 1999-2011 gab es insgesamt 89 Unfälle mit Laserpointern. Es handelt sich dabei ausschließlich um Augenverletzungen. Auch bei den Nichtberufsunfällen (NBU) haben die Unfälle mit Laserpointern stark zugenommen. 2011 gab es 13 NBU mit Laserpointern, in der Zeit 2000-2011 insgesamt 27.

Accurate, inexpensive testing of laser pointer power for safe operation (155)

In einer Studie am National Institute of Standards and Technology (NIST) wurde mittels eines relativ einfachen Messverfahrens an Laserpointern nachgewiesen, dass von 23 Exemplaren nur 26 % in Übereinstimmung mit den nach dem US Code of Federal Regulations erlaubten maximalen Ausgangswerten waren. In diesem Fall emittierten 6 der 11 roten Laserpointer und 11 der 12 grünen Laserpointer Leistungen oberhalb des sogenannten CFR-Grenzwertes.

Random testing reveals excessive power in commercial laser pointers (156)

In dieser Publikation aus dem National Institute of Standards and Technology (NIST) wurden weitere Ergebnisse in Bezug auf die in der vorangegangenen Arbeit veröffentlichten Tests zusammengestellt. Überprüft wurden insgesamt 122 kommerzielle Laserpointer, die als Klasse 3R gekennzeichnet waren und für Vorführzwecke verkauft wurden. Dabei wurde festgestellt, dass 89,7 % der 68 grünen (Wellenlänge: 532 nm) und 44,4 % der 54 roten (Wellenlänge: 650 nm) Laserpointer nicht in Übereinstimmung mit der Code of Federal Regulations (CFR) waren, d. h. mehr als 5 mW Ausgangsleistung bei einer oder mehreren Wellenlängen (532 nm, 808 nm und 1064 nm) aufwiesen. Von den 122 Laserpointern überschritten 52,4 % den legalen Grenzwert von 5 mW in USA um mindestens einen Faktor 2 bei einer oder mehreren Wellenlängen. Der höchste gemessene Wert lag bei 66,5 mW. Aus den Messungen am NIST wurde gleichzeitig deutlich, dass mehr als 75 % der getesteten Produkte infrarote Strahlung oberhalb des erlaubten CFR-Grenzwertes emittierten.

Swedish Radiation Safety Authority (157; 158)

Von der schwedischen Strahlenschutzbehörde liegen zwei Technische Berichte vor, in denen Laserpointer und Augenschäden untersucht wurden. Dabei werden in einem ersten Report (157) vorliegende Fälle analysiert und im zweiten Report (158) erfolgt hierzu ein Update.

Aus der Zusammenfassung des ersten Berichtes ist Folgendes zu entnehmen:

"Es wurden 34 Fälle von Laserpointerbestrahlungen analysiert, und zwar wurden Augenschäden in Bezug zu den geltenden MZB-Werten gesetzt. Unter den vielen Berichten über Laserpointerbestrahlungen haben sich aber nur ein geringer Teil tatsächlich als retinale Verletzungen herausgestellt. Es wurden Augenschäden mit roten, grünen und infraroten Laserpointern beschrieben; alle fanden bei Bestrahlungen in sehr geringem Abstand, d. h. in weniger als einem Meter, statt".

Daraus wurde Folgendes abgeleitet:

- Rote Laserpointer mit ≤ 5 mW Ausgangsleistung können zu einem temporären und relativen Verlust des zentralen Sehvermögens führen.
- Grüne Laserpointer mit ≤ 5 mW Ausgangsleistung können das retinale Pigmentepithel zerstören und die Chorioidea (Aderhaut) schädigen. Bei wiederholter Exposition über Jahre kann es zu Gefäßneubildungen (choroidal neovascularization, CNV) mit dem Risiko von Sehverlust kommen.
- Grüne Laserpointer mit ≤ 7 mW Ausgangsleistung können sichtbare Schäden am retinalen Pigmentepithel verursachen.
- Grüne Laserpointer mit > 20 mW Ausgangsleistung können vergrößerte Schäden, Netzhautödeme und Blutungen verursachen, wenn die Exposition länger als eine Sekunde ist.
- Infrarote Laserstrahlung bei Wellenlängen zwischen 825 nm und 880 nm mit < 5 mW Ausgangsleistung kann Netzhautödeme und -ablösungen induzieren.

Diese nationale Datenbasis in Schweden soll dazu beitragen, die Gefährdungslage durch Laserpointer besser einschätzen zu können (157).

Im zweiten Bericht wurde festgestellt, dass sich die verfügbaren Ausgangsleistungen bei Laserpointern erhöht haben. Daher wird es als nicht überraschend angesehen, dass die Schwere der Augenschädigungen zugenommen hat und inzwischen auch Veröffentlichungen von Fällen aus medizinischer Sicht vorliegen. 8 der 47 Fälle zu Augenschäden werden aufgrund ausreichender Datenlage einschließlich der geschätzten Laserexposition näher beschrieben (158).

Es wurde der Begriff "Risiko-Verhältnis" ("Risk-Ratio", RR) eingeführt und überprüft um wie viel bei den jeweiligen Expositionen ein RR-Wert von 2 überschritten wurde, der derjenigen Schwelle entsprach, die aus den Ergebnissen im vorangegangenen Bericht (157) als Schädigungswert abgeleitet wurde. In vier Fällen war der Wert größer als 100 und der höchste Wert wurde mit 344 erreicht. In den meisten Fällen lag der Sehverlust zwischen "geringem Sehverlust" und "teilweisem Sehverlust bis permanentem Sehverlust in einem Auge" (158).

In den meisten Fällen fehlten Leistungsmessungen an den Laserpointern, ebenso wenig war die Expositionsdauer bekannt. Besonderes Interesse gilt auch dem möglichen Beitrag des Infrarotanteils bei grünen Laserpointern im Hinblick auf eine Schädigung.

Risk for general public in the use of handheld laser pointers (159)

In einer kleineren Studie des Fondazione Salvatore Maugeri aus Italien wurden vier zufällig am Markt verfügbare Laserpointer getestet und die Messergebnisse wurden mit den auf der Kennzeichnung vorhandenen Angaben, sofern solche vorhanden waren, verglichen, und zwar hinsichtlich der tatsächlichen Leistung und der Wellenlänge. Die angegebenen Wellenlängen betragen 405 nm, 532 nm und

650 nm und in einem Fall war keine Wellenlänge auf der Kennzeichnung ausgewiesen. Messtechnisch ergaben sich dabei 654 nm. Bei drei der vier Laser war angegeben, dass eine Übereinstimmung mit dem American Food and Drug Administration Standard (136) vorliegen würde, wonach höhere Ausgangswerte als aufgrund in Italien vorliegender Regelungen erlaubt sind.

Im Fall des grünen Laserpointers wurde relevante Emission bei 1064 nm gemessen. Bei diesem Laserpointer war auf der Kennzeichnung eine maximale Leistung von > 5000 mW (sic!) angegeben.

Anmerkung: Solche Laserpointer weisen nach messtechnischen Erfahrungen vielfach tatsächlich nur Leistungen im "Segment um 50 mW" auf.

Alle getesteten Exemplare wiesen größere Werte als die erlaubten Grenzwerte zugänglicher Strahlung (GZS) auf und damit oberhalb der von ICNIRP empfohlenen Expositionsgrenzwerte.

Diese Übersicht der letzten 20 Jahre macht deutlich, dass die Laserpointer ein ernsthaftes Risiko für die Augensicherheit der Verbraucher darstellen. Es hat sich gezeigt, dass Laserpointer in ihrer Mehrzahl von Herstellern nicht richtig klassifiziert und mit entsprechenden Warnhinweisen und Anleitungen versehen werden. Was aber viel schwerer wiegt, ist die deutliche Überschreitung von Grenzwerten durch die meisten Laserpointer. Dabei hat sich in den Untersuchungen aber gezeigt, dass auch die Einhaltung der Grenzwerte durch die getesteten Muster aufgrund der hohen Exemplarstreuung noch keine Garantie für die Unbedenklichkeit aller Muster des entsprechenden Produkttyps darstellt.

Weiter verschärft wird dieses Problem durch die fortschreitende technische Entwicklung und die Verfügbarkeit von immer leistungsfähigeren und günstigeren Laserquellen. Dies führt zu einer weiteren Leistungszunahme von Laserpointern und das obwohl schon die früheren Generationen die Grenzwerte deutlich überschritten haben.

Die Zunahme von Augenverletzung in unterschiedlichen Schweregraden bei Kindern, bei denen die Laserpointer ein beliebtes Spielzeug sind, sowie der steigende Missbrauch zur Blendung von Piloten oder Autofahrern haben bereits den Gesetzgeber auf unterschiedlichen Ebenen aktiv werden lassen. Daher ist die kontinuierliche Evaluierung des Marktes notwendig, um einerseits die bei weiten noch nicht abgeschlossene technische Entwicklungen nicht aus den Augen zu verlieren und andererseits die Wirksamkeit der gesetzlichen Maßnahmen überprüfen zu können.

5.2 Gartenlaser

Einer Internetwerbung zu diesem neuen "Lasertyp" ist zu entnehmen:

"Noch vor kurzer Zeit kannte man Laserprojektoren nur von Lichtshows und speziellen, von Profis generierten Beleuchtungseffekten für ausgewählte Orte. Doch nun kommen endlich auch Geräte für den Hausgebrauch auf den Markt und ermöglichen so ganz neue Dimensionen der Außendekoration. Farbige Streifen und Lichter, die besonders schöne Plätze des Gartens akzentuieren, stimmungsvoll beleuchtete Bäume oder mit Bildern bestrahlte Hauswände – mit dem Gartenlaser kann jeder Haus- und Grünflächenbesitzer eine ganz besondere Atmosphäre schaffen" (160).

Außerdem wird auf garten-laser-test.com das Prinzip wie folgt beschrieben:

"Gartenlaser sind Projektoren, die mittels Laserstrahlen Muster, Bilder oder Grafiken auf eine Oberfläche werfen. Dafür werden die Grundfarben Blau, Grün und Rot so abgestuft und gemischt, dass der gewünschte Effekt entsteht. Je nach Qualität des Produkts ist hier eine unterschiedlich große Vielfalt möglich. Die einfachsten Modelle werfen einfarbige Lichtstreifen oder Punkte. Komplexere Apparate können sogar Bilder darstellen".

Als Nachteile werden u. a. genannt:

"Bei diesem Gerät handelt es sich um ein Laserprodukt der Klasse 2. Daher muss auch entsprechend sorgfältig damit umgegangen werden. Der Strahl darf keinesfalls direkt auf die Augen gelenkt werden, da ansonsten Schädigungen auftreten können.

Außerdem muss der Projektionswinkel gemäß der Anleitung eingehalten werden, damit Flugzeuge und Helikopter nicht irritiert und die Piloten nicht geblendet werden. Eine Zuwiderhandlung kann eine Strafanzeige nach sich ziehen“.

Es gibt inzwischen verschiedene Ausführungen dieses "Lasertyps" (Gartenlaser, Garden Laser, Motivlaser), und zwar entweder als einfarbige oder mehrfarbige Lasersysteme oder aber auch zum Teil als Kombinationen von rotgrünen Laser-Lichteffekten mit einem mehrfarbigen LED-System.

U. a. wurden von der Prüf- und Zertifizierungsstelle Elektrotechnik der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) anlässlich eines Workshops "Risikobewertung von Lasern "niedriger" Leistung und Licht emittierender Dioden (LED)" am 30. Juni 2016 Ergebnisse zu Messungen an einem Gartenlaser (Typ: Garden Laser GS200RG) vorgestellt und das entsprechende Messverfahren demonstriert.

In diesem Fall handelt es sich um einen Laser der Klasse 3R nach DIN EN 60825-1:2015-07. Das Gerät hat eine Leistung von 80 mW bei 650 nm und 50 mW bei 532 nm bei einer Strahldivergenz von 1,2 mrad und einem Strahldurchmesser von ca. 3 mm (161). Zum Einsatz kommt ein Diffraktionsscanner.

Insgesamt finden sich Angebote für Garten-Laser in den beiden Laserklassen 2 und 3R am Markt.

Weitere herstellerunabhängige Messungen sind bislang nicht bekannt geworden bzw. es liegen keine entsprechenden Veröffentlichungen vor.

5.3 Geräte für Laserspiele ("Lasertags")

Bei Geräten für Laserspiele muss unterschieden werden, ob damit ganze Anlagen im Sinne von Laser-Games gemeint sind, bei denen sogenannte Lasertag-Systeme zum Einsatz kommen oder ob es sich im Wesentlichen um Laser-Gadgets handelt.

Bei Laser-Games kommen z. B. Systeme bzw. Geräte wie das "Helios Pro Equipment" mit einem sogenannten Phaser oder das "Begeara Lasertag-System" zum Einsatz, wobei sich Team oder Solo Laserspiel per Knopfdruck wählen lassen.

Sogenannte Lasertags werden für In- und Outdoor angeboten.

Laserspiele werden im Internethandel in verschiedenen Ausführungen angeboten, so z. B. auch mit einem Infrarottransmitter und Empfänger.

Herstellerunabhängige Messungen sind bislang nicht bekannt geworden bzw. es liegen keine entsprechenden Veröffentlichungen vor.

5.4 Fahrradlampen

Seit einigen Jahren sind die bisherigen bei Fahrradlampen eingesetzten Glühbirnen bzw. Halogenlampen durch leistungsstärkere und vor allem hellere LED-Lampen ersetzt worden.

Im Internet sind hierzu auch Vergleichstests verfügbar, so z. B. (162). Herstellerunabhängige Messungen sind aber bislang nicht bekannt geworden bzw. es liegen keine entsprechenden Veröffentlichungen vor.

5.5 LED- und Lasertaschenlampen

Als tragbare Lampen unterscheidet man im Wesentlichen solche nach ihren typischen Bauformen und dem jeweiligen Verwendungszweck. Danach finden Anwendung insbesondere:

- Stirnlampen,
- größere Handstrahler und
- Taschenlampen.

Taschenlampen liegen meist in Stabform vor. Sie werden von ihrem Benutzer in der Hand getragen oder in einer speziellen Halterung aufbewahrt. Sie können aber auch an einem anderen Gebrauchsgegenstand vorübergehend oder dauernd befestigt werden. Je nach Größe passt eine Taschenlampe auch in eine Hosentasche oder kann als Schlüsselanhänger ausgeführt sein (163).

LED-Taschenlampen haben dabei in weiten Bereichen Taschenlampen auf der Basis von Glühlampen und Halogen-, Krypton- und Xenonlampen als Leuchtmittel abgelöst.

Bereits 2006 hatte Stiftung Warentest einen Vergleich 17 verschiedener damals am Markt erhältlicher Taschenlampen und Stirnleuchten durchgeführt und veröffentlicht (164). Sieben der getesteten Taschenlampen hatten LEDs als Leuchtmittel.

Mit den Besonderheiten von LEDs in Taschenlampen befasste sich Reidenbach 2009 in einer Veröffentlichung (165). Außerdem wurden von Reidenbach und Dollinger 2009 u. a. Berechnungen zur Ermittlung des Gefährdungsabstandes und der maximalen Betrachtungsdauer bei LED-Taschenlampen, die besonders leistungsstarke LEDs verwendeten, dargestellt (166).

Zur Abschätzung der maximalen Betrachtungsdauer (maximal erlaubte Expositionsdauer) ist es möglich vorliegende LED-Daten in die zum Vergleich erforderlichen Größen und Zahlenwerte umzurechnen. Dies wurde im Handbuch für Beleuchtung 2009 (166) z. B. für eine HB-LED (high-brightness, Hochleistungs-LED) mit und ohne Optik in einer Taschenlampe durchgeführt und sowohl die Einordnung in die zugehörige Risikogruppe nach DIN EN 62471 als auch die Berechnung der maximal erlaubten Expositionsdauer vorgenommen. Dabei ergab sich z. B. eine typische Zuordnung zur Risikogruppe 2 und eine maximal erlaubte Expositionsdauer von 3,2 s, wenn ein homogenes Leuchtfeld am Lampenkopf der LED-Taschenlampe angenommen und nicht die Leuchtdichte des Chips selbst zugrunde gelegt wurde. Für den Halbleiter-Diodenchip allein hätte sich theoretisch eine maximale Expositionsdauer von nur noch ca. 1 s ergeben (163; 166). Zu beachten ist dabei, dass die in der Risikogruppe 2 (RG 2) zugrunde gelegte Zeitbasis von 0,25 s in der Norm DIN EN 62471 gerade in dem erwarteten Auftreten bzw. Vorhandensein von Abwendreaktion beruht, auf das wie Untersuchungen gezeigt haben (167; 168), aber kein sicherer Verlass ist.

In einer umfangreichen Untersuchung an LEDs wurden von Udovičić et al. (169) Bewertungen der photobiologischen Sicherheit unterschiedlicher LEDs nach den Bestimmungen der Lampensicherheitsnorm DIN EN 62471 vorgenommen. Dabei wurden überwiegend LEDs im sichtbaren Spektralbereich untersucht. Beispielhaft wurde je eine LED, die im ultravioletten bzw. infraroten Spektralbereich emittiert, beurteilt.

"Die untersuchten LED im sichtbaren Spektralbereich (34 einzelne LED mit oder ohne Linse, drei LED-Taschenlampen, fünf LED-Lampen, ein LED-Reflektor) erreichten maximal die Risikogruppe 2 aufgrund der Überschreitung der Emissionsgrenzwerte für photochemische Netzhautschädigung. Die photochemische Netzhautgefährdung durch LED ist die dominierende Gefährdung im sichtbaren Spektralbereich. Keiner der Emissionsgrenzwerte für thermische Netzhautgefährdung wurde überschritten.

Bei fast allen LED, bei welchen die Emissionsgrenzwerte der Freien Gruppe überschritten wurden, handelte es sich um weißes oder blaues Licht emittierende LED mit Ausnahme einer Grünlicht

emittierende LED. Der Expositionsgrenzwert für die photochemische Netzhautgefährdung bei einem langzeitigen, absichtlichen Blick aus kurzer Distanz in eine Weiß- oder Blaulicht emittierende LED kann schon nach zehn Sekunden überschritten werden. Die Summe der Einzelexpositionen kann diese Zeit an bestimmten Arbeitsplätzen (z. B. in der LED-Industrie, bei der Installation von Beleuchtungsanlagen, in der Theater und Bühnenbeleuchtung) rasch übersteigen“ (169).

Lasertaschenlampen gehören zu den Spezialtaschenlampen. Solche Ausführungen finden z. B. in der Wild- und Naturbeobachtung Verwendung. Es wird dabei davon ausgegangen, dass Wellenlängen in der Nähe des Maximums der photopischen spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges besonders im dunklen Umfeld für eine bessere Erkennbarkeit von Objekten geeignet sind. Die auf dem Markt erhältlichen Lasertaschenlampen verfügen meist über eine Fokussieroptik, mit deren Hilfe sich der emittierte Laserstrahl auf die gewünschte Entfernung bündeln lässt. Dadurch, dass Lasertaschenlampen Licht mit einem größeren Durchmesser erzeugen, unterscheiden sie sich im Allgemeinen von Laserpointern. Nicht selten handelt es sich bei Lasertaschenlampen aber eigentlich um einen grünen Laserpointer, der zur Taschenlampe umgebaut und dabei mittels Optiken der Strahldurchmesser vergrößert wurde.

Typische Wellenlängen liegen im Bereich von 520 nm bis 532 nm und es werden Reichweiten von bis zu 500 m und mehr angegeben. Neben "grünem" Laserlicht werden auch Lasertaschenlampen mit "rotem" Licht angeboten. Weißes "Laserlicht" in Taschenlampen ist gegenwärtig noch nicht verfügbar, da weißes Licht sich aus mehreren Farben zusammensetzt und Laser prinzipbedingt nur monochromatisches Licht erzeugen. Alternativ kann ein blauer Laser einen Leuchtstoff – ähnlich den LEDs – anregen und dadurch weißes Licht erzeugen, allerdings handelt es sich dann nicht mehr um reines Laser-Licht.

Da viele nachtaktiven Tiere grünes und rotes Licht nicht oder nur schwach wahrnehmen, wird beim Anstrahlen mit solchen Wellenlängen in aller Regel kein Fluchtreflex ausgelöst und eine Beobachtung ist relativ ungestört möglich.

Neben Lasertaschenlampen, die monochromatisches Licht aussenden, gibt es auch LED-Taschenlampen, die farbiges Licht (z. B. grün) für vergleichbare Anwendungen wie Lasertaschenlampen emittieren. Vielfach finden sich im Handel auch als Laser-Taschenlampen bezeichnete Taschenlampen, die aber als Leuchtmittel eine LED verwenden. Dabei handelt es sich im Grunde um eine Verbrauchertäuschung.

Herstellerunabhängige Messungen an Laser-Taschenlampen sind aufgrund der Neuheit des Produkts bislang nicht bekannt geworden bzw. es liegen keine entsprechenden Veröffentlichungen vor. Eine Einschätzung der potentiellen Gefährlichkeit aufgrund von Messwerten und Einordnung in Bezug auf Taschenlampen und Laserpointer ist dringend geboten.

5.6 Weitere LED- und Laserverbraucherprodukte

Als weitere LED und Laser-Verbraucherprodukte sind u. a. Kreuzlinienlaser, Rotations- und Nivellierlaser zu nennen. Diese werden derzeit als Laser der Klassen 2, 2M und 3R auf den Markt gestellt.

Vergleichsmessungen an einem Kreuzlaser (z. B. Kreuzlaser-Quigo als Kreuzlinienlaser für Justagezwecke) wurden im Rahmen einer Messkampagne zur Messung bei Linienstrukturen in einem Arbeitskreis der Deutschen Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (DKE) in zwei Laboren durchgeführt und im Hinblick auf die Messmethodik und Ergebnisse unter Berücksichtigung von Festlegungen in DIN EN 60825-1 diskutiert.

Zu den weiteren Produkten unter Verwendung von LEDs und/oder Laser gehören seit etwa 2006 auch "LED und Laser-Fackeln" (LED and laser flares). Ein Prototyp solcher Laserprodukte war bereits 1999 bekannt geworden. Diese Laserprodukte sind u. a. als Rettungshilfen z. B. auf See gedacht und weisen große Sicht-Reichweiten von mehreren Kilometern auf. Es werden am Markt verschiedene

Ausführungen angeboten. Einige davon besitzen rote und grüne Laserstrahlung, wobei Abstrahlwinkel von 3 ° bis 5 ° üblich sind, wodurch sich relativ lange "Linien" eines Strahls in einiger Entfernung ergeben. Hierdurch soll es leichter möglich sein, in Not geratene Personen zu finden. Die in solchen Produkten vorzufindenden Laserklassen sind entweder 2M oder meist 3R.

Aufgrund eines Bundesgesetzes (HR658) besteht in USA eine Ausnahme für Laser-Notfall-Signalgeräte, um ein Notsignal an Flugzeuge zu senden (170). In diesem Gesetz wird im § 311 "Verbot einen Laserpointer auf ein Flugzeug zu richten" in Abschnitt 39A (c) (3) eine Person ausgenommen, "die ein Laser-Not-Signalgerät benutzt, um ein Notfall-Signal zu senden".

Beim Einsatz solcher Laser-Rettungsgeräte wird die erzeugte Laserlinie, um auf sich aufmerksam zu machen, wie ein Fächer in der Luft bewegt.

Da es sich in aller Regel um Laser der Klasse 3R handelt, die in USA auch für Verbraucher zugelassen sind, wird zum Teil international dieser "Lebensrettungs-Zweck" als Notwendigkeit der Zulassung von Lasern der Klasse 3R auch für andere Zwecke bei Verbrauchern ins Feld geführt. Hier muss aber dazu festgehalten werden, dass Laser der Klasse 3R, auch wenn sie als Laser-Fackeln vorliegen, die Gefahr einer Augenschädigung besitzen, wenn in den Strahl aus nächster Nähe geschaut wird. Die Bestrahlungsstärke bei einer solchen Laser-Fackel ist dagegen in einer Entfernung von ca. 2,5 km etwa um den Faktor 1000 geringer als bei einem vergleichbaren Laserpointer mit 5 mW Ausgangsleistung. Dies ergibt sich aus den unterschiedlichen Strahldivergenzen beider Laserbauformen.

Zu allen hier exemplarisch aufgeführten Produkten liegen zwar teilweise Ergebnisse von Vergleichen vor, allerdings ohne Angaben bzw. Auswertung der strahlenschutzrelevanten Parameter und Kenngrößen.

6 Charakterisierung von Strahlenquellen

Das Hauptaugenmerk des vorliegenden Berichts ist die Abschätzung möglicher Risiken durch die optische Strahlung von Verbraucherprodukten in Bezug auf photobiologische Sicherheit und die Blendung.

Für die Beurteilung der möglichen Gefährdung von Prüfobjekten im Hinblick auf die photobiologische Sicherheit muss zwischen inkohärenter und kohärenter Strahlung unterschieden werden. So stellt die DIN EN 62471:2009 ein standardisiertes Verfahren für die Bewertung von möglichen Gefahren, die von verschiedenen Lampen und Lampensystemen mit breitbandiger, inkohärenter Strahlung ausgehen. Für die Prüfung der Sicherheit von Lasersystemen ist die Norm IEC/EN 60825-1:2014 bzw. DIN EN 60825-1:2015-07 anzuwenden, die im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 1 mm Laserstrahlung emittieren.

6.1 Bewertung der photobiologischen Sicherheit inkohärenter Lichtquellen

Die DIN EN 62471 in ihrer aktuellen Fassung von 2009 stellt eine Anleitung zur Untersuchung der photobiologischen Sicherheit von allen elektrisch betriebenen inkohärenten optischen Breitbandstrahlungsquellen (Laser explizit ausgeschlossen) dar. Es werden standardisierte Verfahren, Grenzwerte und Klassifizierungsschemata für die Bewertung von möglichen Gefahren zur Verfügung gestellt. (61)

6.1.1 Messvorgang

Zur vollständigen Beurteilung der photobiologischen Sicherheit ist die Aufnahme folgender Messgrößen notwendig:

- spektrale Verteilung am Punkt des Zugangs durch eine Person
- Bestrahlungsstärke
- Strahldichte
- Ausdehnung der Quelle

Alle Messwerte bzw. Gefahrenwerte sind laut Norm in einer Entfernung von 200 mm anzugeben, da es sich nicht um Produkte für die Allgemeinbeleuchtung handelt – in diesem Fall wären die Messungen in einem Abstand durchzuführen, der eine Beleuchtungsstärke von 500 lx ergibt. Dies deckt sich auch mit einer Situation, wo eine Person beispielsweise in die Taschenlampe blickt, die in der Hand gehalten wird.

Die spektrale Bestrahlungsstärke wurde mit einem absolut kalibrierten Spektrometer specbos 1211 von YETI bestimmt. Da die gemessenen inkohärenten LED-Lichtquellen breitbandig sind und keine Anregungswellenlänge der verwendeten LEDs im UV-Bereich liegt, wurden die Spezifikationen des Spektrometers bezüglich der Bandbreite, Wellenlängengenauigkeit etc. als ausreichend akzeptiert. Diese wurden bei der Schätzung der Messunsicherheit berücksichtigt.

Die Standardmethode nach DIN EN 62471:2009 zur Bestimmung der Strahldichten in unterschiedlichen Mittelungssichtfeldern wird mittels einer absolut kalibrierten Leuchtdichtekamera LMK 5 von TechnoTeam realisiert. Die Quellgröße wird ebenfalls aus der orts aufgelösten Leuchtdichteaufnahme bestimmt.

In der Abbildung 6.1 ist der verwendete Messaufbau dargestellt. Auf einem 5-Achsen-Tisch eines Kfz-Goniometers wurden im Drehschwerpunkt die getesteten Produkte montiert. Die Leuchtdichtekamera und das Spektrometer wurden in 200 mm-Abstand vom Drehschwerpunkt des Tisches aufgebaut und

mithilfe des Zielkreuzes exakt ausgerichtet. Dadurch ist sichergestellt, dass die Messungen mit der Leuchtdichtekamera und dem Spektrometer vom gleichen Lichtpunkt in gleichem Abstand und unter dem gleichen Winkel erfolgen. Es ist lediglich die vertikale Verschiebung des Goniometertisches um einen bekannten Offset notwendig.

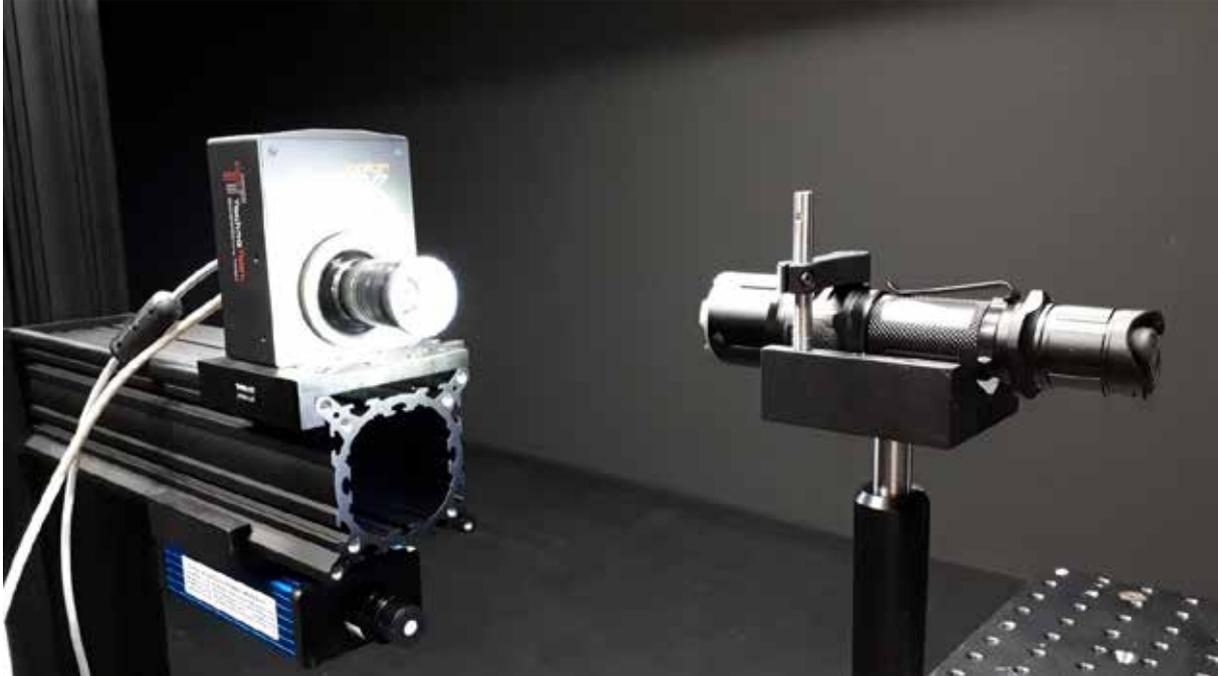


Abbildung 6.1 Im Projekt verwendeter Messaufbau zur Ermittlung der photobiologischen Sicherheit. Auf dem 5-Achsen-Tisch des Kfz-Goniometers ist das Zielkreuz zur geometrischen Kalibrierung der Leuchtdichtekamera (Bildmitte) und Ausrichtung des Spektrometers (blaues Gehäuse unten).

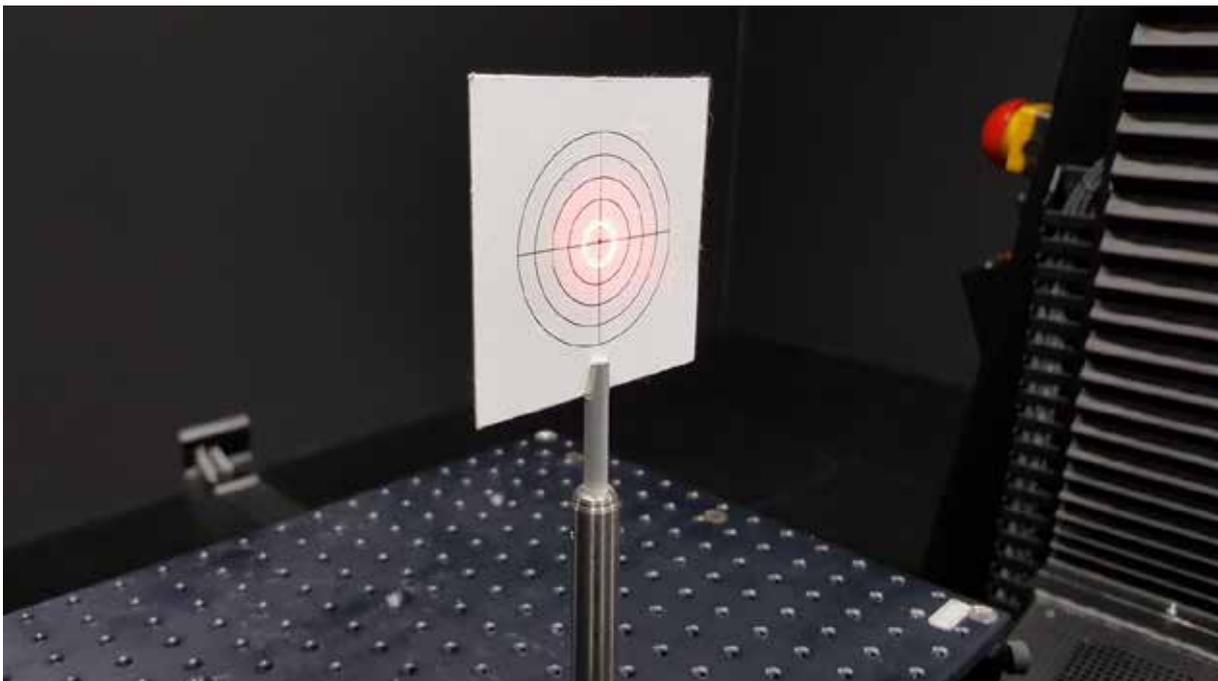


Abbildung 6.2 Ausrichtung des Spektrometers mittels eingebauten Ziellasers

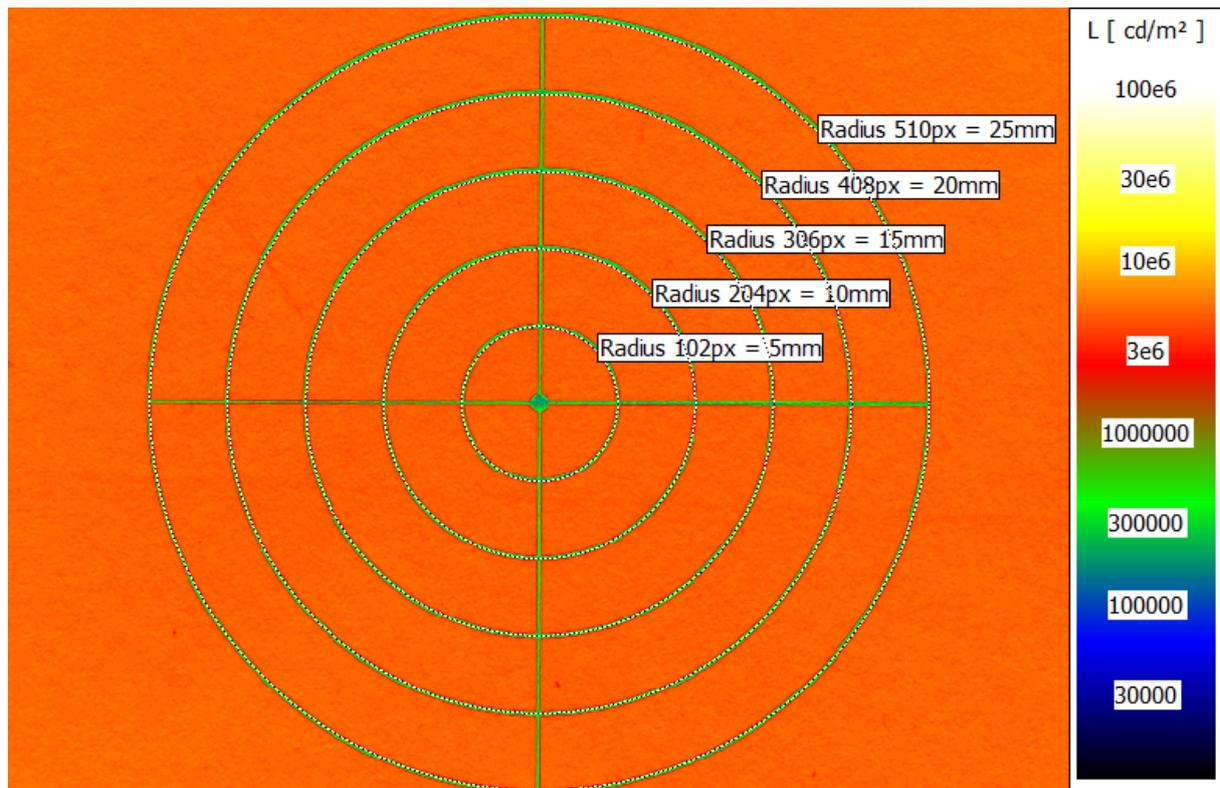


Abbildung 6.3 Leuchtdichteaufnahme des Zielkreuzes mit definierter Geometrie zur Kalibrierung der Leuchtdichtekamera

Das Zielkreuz mit aufgedruckten Kreisen unterschiedlichen Durchmessers wurde des Weiteren dazu verwendet die Leuchtdichtekamera geometrisch zu kalibrieren und die exakte Auflösung zur Berechnung der Mittelungssichtfelder zu bestimmen (Abbildung 6.3).

Die strahlende Quelle wird auf dem bildgebenden CCD-Matrizensystem der Leuchtdichtekamera abgebildet. Die Mittelungssichtfelder werden nicht über kreisförmige Feldblenden – wie in der Norm vorgeschlagen – realisiert, sondern digital auf die orts aufgelöste Leuchtdichteaufnahme angewendet und die mittlere Leuchtdichte daraus bestimmt.

Die Begrenzung des Sichtfeldes haben den Sinn die Abbildung der scheinbaren Quelle über die Hornhaut und die Linse auf der Netzhaut nachzustellen. Aufgrund der physikalischen Einschränkungen bei der Abbildung bei einem unbewegten Auge ist das Bild einer Punktlichtquelle auf einen Minimalwert von $\alpha=0,0017$ rad beschränkt. Dies ist für Quellen mit hoher Strahldichte relevant, die die Netzhaut in einer kürzeren Zeit als 0,25 s schädigen können (thermischer Grenzwert für die Netzhaut), bevor der Abwendereaktion theoretisch einsetzen kann. Dauert die Bestrahlung mit geringeren Intensität länger, dann wird die Abbildung durch die Augenbewegungen über einen größeren Winkel verschmiert. Bei einer Bestrahlungsdauer von etwa 10 s beträgt der Winkel in etwa 11 mrad (Grenzwerte für thermische und photochemische Netzhautschäden). Für Bestrahlungsdauern über 100 s wird aufgrund tätigkeitsbestimmten Augenbewegungen die Fläche weiter vergrößert und der zugrundeliegende Winkel beträgt maximal 100 mrad.

In der Abbildung 6.4 ist die hochauflösende Leuchtdichteaufnahme eines Fahrradlichts von vorne aus 20 cm Entfernung dargestellt. Um den Effekt einer Feldblende nachzubilden, werden die Leuchtdichtewerte einzelner Pixel in Kreisen mit den Radien von 0,17 mm (entspricht 1,7 mrad), 1,1 mm (11 mrad) und 10 mm (100 mrad) gemittelt. In der Abbildung 6.5 sind die Ergebnisse dieser Operation dargestellt.

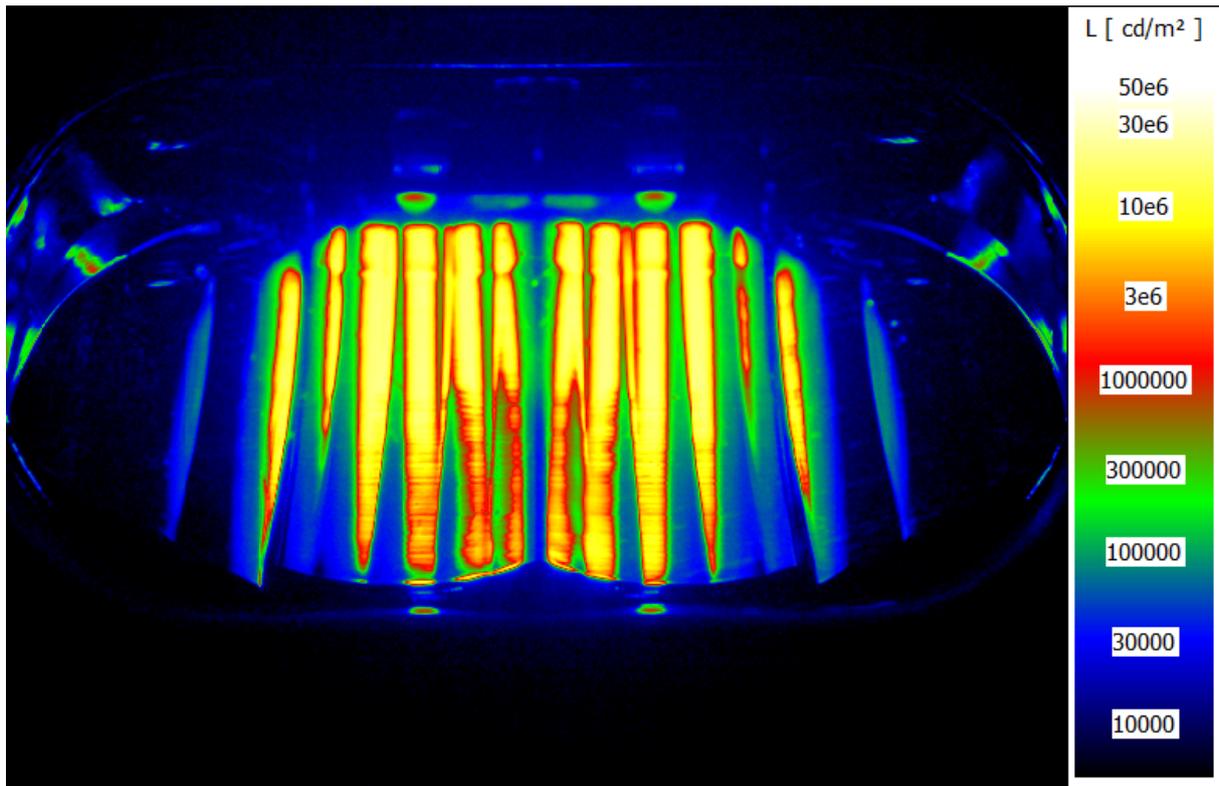


Abbildung 6.4 Leuchtdichteaufnahme eines Fahrradlichts aus 20 cm Entfernung

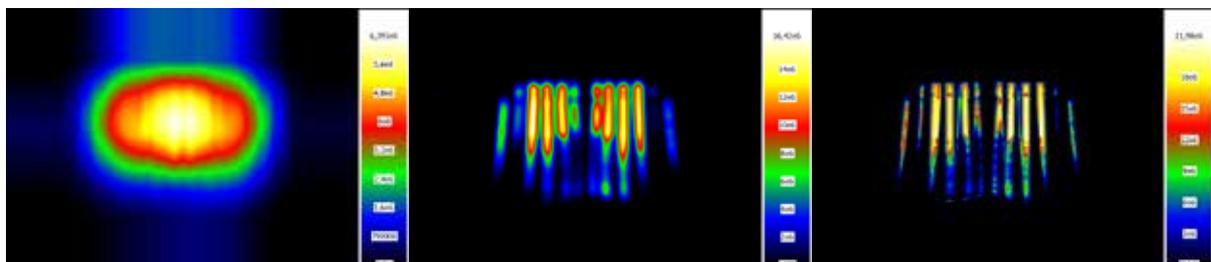


Abbildung 6.5 Leuchtdichtebild nach Anwendung der Mittelung mit 100 mrad (links), 11 mrad (Mitte) und 1,7 mrad (rechts)

Für die weitere Gefahrenbeurteilung werden die maximalen mittleren Leuchtdichten als Worst-Case-Szenario verwendet. Die Verwendung ortsauflösender Messtechnik bietet den Vorteil, dass ohne weiteren Aufwand die Maximalwerte für die drei Blenden ermittelt werden. Die einmalige Ermittlung des Orts maximaler Intensität und die Ausrichtung der Messtechnik mit allen drei Blenden auf diesen Ort würde von der Annahme ausgehen, dass die maximalen mittleren Leuchtdichten eben an diesem Ort sind. Dies ist wie im gezeigten Beispiel dargestellt, nicht zwangsläufig der Fall.

Die spektrale Strahldichte wird durch die Skalierung des normierten Spektrums auf die mittleren Leuchtdichten der Mittelungssichtfelder mit $\alpha=100$ mrad, $\alpha=11$ mrad und $\alpha=1,7$ mrad ermittelt.

Für die Bestimmung des durch die Lichtquelle aufgespannten Winkels α ist laut Norm die Bestimmung der 50%-Emissionspunkte notwendig. Dies kann durch die Binarisierung der Leuchtdichteaufnahme mit einer Schwelle von 50% der maximalen Leuchtdichte im Bild realisiert werden. Dabei werden die Bildpunkte mit einer Leuchtdichte unter der Schwelle auf den Wert Null und über der Schwelle auf den Wert Eins gesetzt. Nun kann die Ausdehnung der Quelle zunächst in Pixeln bestimmt werden. Da durch

die vorangehende Kalibrierung die Auflösung bekannt ist, kann die Größe in mm und bei festem Abstand von 200 mm in die Winkelausdehnung umgerechnet werden.

Bei länglichen Quellen, wie in der Abbildung 6.6, wird das arithmetische Mittel der maximalen und minimalen Dimension der Quelle bestimmt und daraus die Winkelausdehnung berechnet.

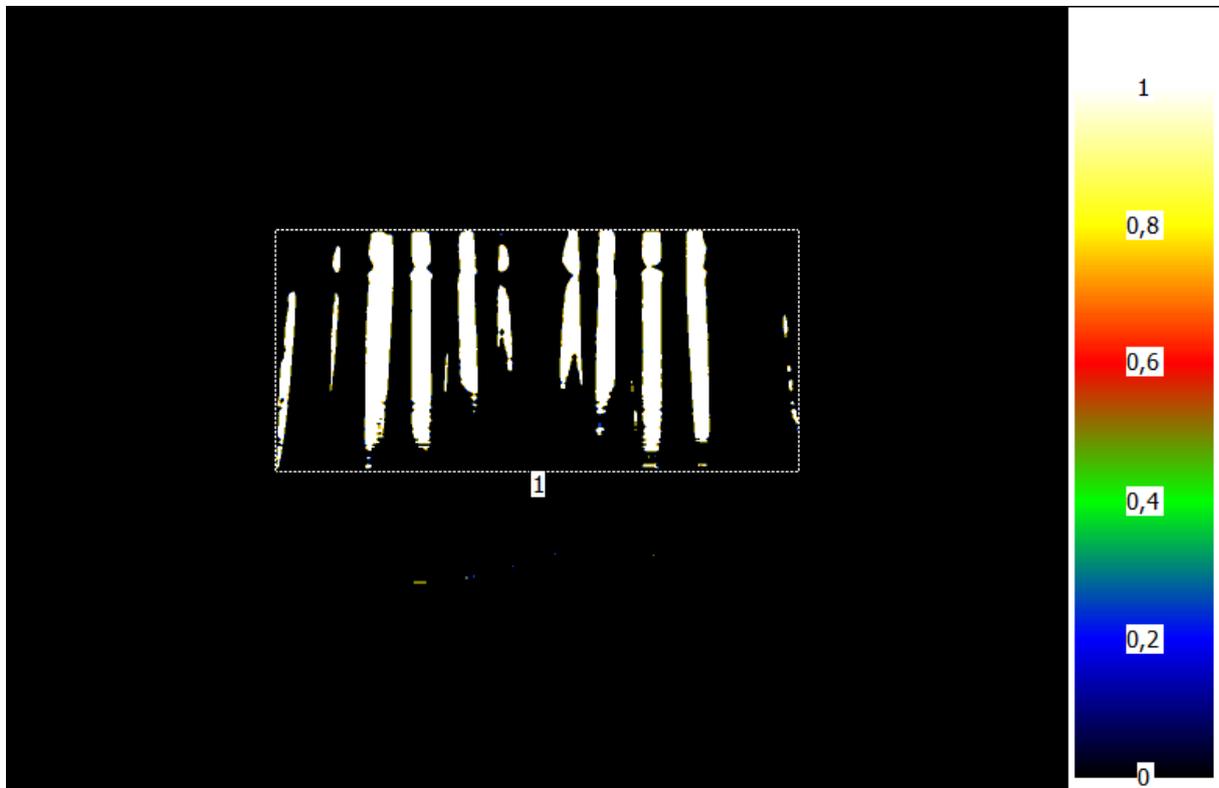


Abbildung 6.6 Binarisierung der Leuchtdichteaufnahme zur Ermittlung der Quellgröße

Die Messungen wurden in einem lichtdichten Labor mit schwarzen Wänden durchgeführt. Damit sind sowohl die Verfälschung der Messergebnisse durch Fremdlichteinwirkung als auch unerwünschte Reflexionen ausgeschlossen. Die Raumtemperatur betrug im klimatisierten, zugluftfreien Laborraum während der Messungen konstant 23 ± 1 °C.

Für den beschriebenen Messaufbau wurde eine Unsicherheitsanalyse in Anlehnung an den Anhang C der DIN EN 62471:2009 (61) und GUM (171) durchgeführt. Die erweiterte Messunsicherheit ($k=2$) der spektralen Messungen beträgt 9,7% unter Berücksichtigung der

- Betriebsbedingungen der Produkte,
- der Einschränkungen des verwendeten Array-Spektrometers und
- der Unsicherheit der Leuchtdichtemessungen.

Alle Messungen wurden bei Akku-betriebenen Produkten jeweils mit voll aufgeladenen Akkus durchgeführt. Bei Batterie-betriebenen Produkten wurden vor jeder einzelnen Messung die Batterien ausgetauscht und die Messung mit neuen, nicht gebrauchten Batterien durchgeführt. Es kamen dabei Varta Professional CR 123 A Lithium-Batterien mit einer Kapazität von 1600 mAh zum Einsatz. Die mit den Produkten mitgelieferten Batterien diverser Hersteller wurden nicht verwendet, da deren Alter nicht bekannt war und um eine Vergleichbarkeit von Betriebsbedingungen zu gewährleisten.

6.1.2 Auswertung und Grenzwerte

Die Norm definiert Grenzwerte, die auch bei wiederholter Bestrahlung zu keiner „nachteiligen Wirkung auf die Gesundheit“ führen, wobei natürlich die Grenzwerte nicht als präzise Grenzlinien zwischen sicheren und nicht sicheren Bestrahlungsniveaus betrachtet werden dürfen. Des Weiteren gelten sie für „mittlere“, nicht besonders sensitive Personen (beispielsweise unter Medikamenteneinfluss).

Tabelle 6.1 Zusammenfassung der Grenzwerte, die auf Bestrahlungsstärke beruhen

Gefahr	Gleichung	Wellenlängen-Bereich nm	Bestrahlungsdauer s	Feldblende rad	Grenzwert als konstante Bestrahlungsstärke Wm^{-2}
Aktinisches UV Haut und Auge	$E_S = \sum E_\lambda S(\lambda) \Delta\lambda$	200-400	<30000	1,4	30/t
Auge UV-A	$E_{UVA} = \sum E_\lambda \Delta\lambda$	315-400	≤1000 >1000	1,4	10000/t 10
Blaulicht, kleine Quelle	$E_B = \sum E_\lambda B(\lambda) \Delta\lambda$	300-700	≤100 >100	<0,011	100/t 1,0
Auge IR	$E_{IR} = \sum E_\lambda \Delta\lambda$	780-3000	≤1000 >1000	1,4	18000/t ^{0,75} 100
Haut thermisch	$E_H = \sum E_\lambda \Delta\lambda$	380-3000	<10	2π sr	20000/t ^{0,75}

Tabelle 6.2 Zusammenfassung der Grenzwerte, die auf Strahldichte beruhen

Gefahr	Gleichung	Wellenlängen-Bereich nm	Bestrahlungsdauer s	Sichtfeld rad	Grenzwert als konstante Bestrahlungsstärke $Wm^{-2}sr^{-1}$
Blaulicht	$L_B = \sum L_\lambda B(\lambda) \Delta\lambda$	300-700	0,25-10	0,011√(t/10)	1000000/t
			10-100	0,011	1000000/t
			100-10000	0,0011√t	1000000/t
			≥10000	0,1	100
Netzhaut thermisch	$L_R = \sum L_\lambda R(\lambda) \Delta\lambda$	380-1400	<0,25 0,25-10	0,0017 0,011√(t/10)	50000/(αt ^{0,25})
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz	$L_{IR} = \sum L_\lambda R(\lambda) \Delta\lambda$	780-1400	>10	0,011	6000/α

Die gemessenen spektralen Bestrahlungsstärken E_λ und Strahldichten L_λ werden für die jeweilige physiologische Gefahr mit jeweiligen Aktionsspektren unter Berücksichtigung der entsprechenden Bedingungen gewichtet, um den Wert, der die Gefährlichkeit der Quelle charakterisiert, zu erhalten. Die Tabelle 6.1 und die Tabelle 6.2 fassen einzelnen Gefahren mit ihren entsprechenden Gleichungen zusammen.

6.1.3 Klassifizierung

Die DIN EN 62471 beschreibt und definiert vier Risikogruppen mit Anforderungen, die von Lichtquellen erfüllt werden müssen, um nicht in die nächst höhere Gruppe eingeordnet zu werden. Die Risikogruppen basieren dabei „auf jahrzehntelangen Anwendungserfahrungen mit Lampen sowie der Analyse von unbeabsichtigten Verletzungen in Bezug auf die optische Strahlungsemission“ (172):

Die Risikogruppen sind

- Freie Gruppe (RG 0): die Lampe stellt auch bei kontinuierlichem, uneingeschränktem Verfahren keine photobiologische Gefahr dar;
- Risikogruppe 1 (RG 1, geringes Risiko): die Lampen sind unter den meisten Nutzungsbedingungen sicher und stellen unter Berücksichtigung normalen menschlichen Umgangs keine Gefahr dar;
- Risikogruppe 2 (RG 2, mittleres Risiko): die Lampen stellen keine realistische optische Gefährdung dar, da die normalen Abwendereaktionen die Expositionsdauer begrenzen;
- Risikogruppe 3 (RG3, hohes Risiko): die Lampe ist sogar bei flüchtiger oder kurzzeitiger Bestrahlung gefährlich.

In der Tabelle 6.3 sind die Grenzwerte für die entsprechenden Risikogruppen zusammengefasst.

Tabelle 6.3 Emissionsgrenzwerte für Risikogruppen bei Dauerstrichlampen

Risiko	Bewertungsfunktion	Symbol	Emissionsgrenzwerte			Einheiten
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko	
Aktinisches UV	$S_{UV}(\lambda)$	E_S	0,001	0,003	0,03	Wm^{-2}
Nahes UV		E_{UVA}	10	33	100	Wm^{-2}
Blaulicht	$B(\lambda)$	L_B	100	10000	4000000	$Wm^{-2}sr^{-1}$
Blaulicht, kleine Quelle*	$B(\lambda)$	E_B	1,0	1,0	400	Wm^{-2}
Netzhaut thermisch	$R(\lambda)$	L_R	$\frac{28000}{\alpha}$	$28000/\alpha$	$\frac{71000}{\alpha}$	$Wm^{-2}sr^{-1}$
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz**	$R(\lambda)$	L_{IR}	$\frac{6000}{\alpha}$	$6000/\alpha$	$6000/\alpha$	$Wm^{-2}sr^{-1}$
IR Strahlung, Auge		E_{IR}	100	570	3200	Wm^{-2}

* Quelle mit einer Ausdehnung $\alpha < 0,011 \text{ rad}$ (trifft für keine Lichtquelle in diesem Bericht zu)

** beinhaltet die Beurteilung von Quellen, die nicht für die Allgemeinheit gelten

6.2 Bewertung der photobiologischen Sicherheit kohärenter Lichtquellen

Die Norm IEC/EN 60825-1:2014 bzw. DIN EN 60825-1:2015-07 ist für die Sicherheit von Lasersystemen anzuwenden, die im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 1 mm Laserstrahlung emittieren. Durch die Norm wird ein Klassifizierungssystem eingeführt, welches Lasersysteme entsprechend dem Grad der von ihnen ausgehenden Gefährdung durch optische Strahlung, in unterschiedliche Laserklasse einteilt.

Die Klassifizierung und die anderen Anforderungen dieser Norm sollen jedoch nur die Gefährdungen durch Laserstrahlung für die Augen und die Haut behandeln. Andere Gefährdungen sind in dem Anwendungsbereich nicht eingeschlossen.

6.2.1 Klassifizierung

Die Zuordnung von Lasereinrichtungen zu verschiedenen Laserklassen soll für den Benutzer die mögliche Gefährdung sofort ersichtlich machen, damit er vereinfacht abschätzen kann, welche Schutzmaßnahmen erforderlich sind. Daher ist die Zuordnung so gewählt, dass in der Regel mit zunehmender Klassennummer auch die Gefährdung, die von einer Laserstrahlquelle ausgeht, größer wird und deshalb auch die Schutzmaßnahmen umfangreicher werden.

Die bei der Klassifizierung benutzten Grenzwerte werden als Grenzwerte zugänglicher Strahlung (GZS) bezeichnet. Da weite Bereiche für Wellenlänge, Energieinhalt und Impulsverhalten eines Laserstrahls möglich sind, entstehen bei seiner Anwendung sehr unterschiedliche Gefahren. Es ist nicht möglich, Lasergeräte als eine einheitliche Gruppe zu betrachten, für die gemeinsame Sicherheitsgrenzen anzuwenden sind.

Die Klassifizierung einer Lasereinrichtung basiert auf der Strahlung, die im normalen Betrieb und bei jeglicher vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlerbedingung an diesem Gerät emittiert wird. In manchen Fällen könnte zum Beispiel das Entfernen von Schutzabdeckungen oder Abdeckplatten zu einer möglichen Bestrahlung oberhalb der für diese Klasse zulässigen Bestrahlung führen. Durch einen Bauteildefekt oder ähnliches verursachte Einfehlerbedingungen, müssen nach EN 60825-1:2014 berücksichtigt werden, hierauf wird jedoch im Rahmen des Forschungsauftrags verzichtet. Auf die ebenfalls geforderte Untersuchung der Lasersysteme unter allen möglichen klimatischen Bedingungen wird auch verzichtet.

Laserklasse 1

Die zugängliche Laserstrahlung ist unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen ungefährlich. Die vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen sind beim bestimmungsgemäßen Betrieb eingehalten. Lasereinrichtungen der Klasse 1 sind auch sicher, wenn eine Bestrahlung unter Benutzung optischer Instrumente, wie z. B. Ferngläsern, stattfindet.

Bei Lasereinrichtungen der Klasse 1, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, können z. B. Blendung, Beeinträchtigung des Farbsehens, Irritationen und Belästigungen nicht ausgeschlossen werden.

Laserklasse 1M

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4.000 nm, d. h. in dem Spektralbereich, bei dem die meisten in optischen Instrumenten verwendeten Materialien weitgehend transparent sind. Die zugängliche Laserstrahlung ist für das bloße Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente, wie z. B. Teleskope, verkleinert wird.

Sofern keine optischen Instrumente verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 1M eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 1.

Bei Einsatz optisch sammelnder Instrumente können vergleichbare Gefährdungen wie bei den Laserklassen 3R oder 3B auftreten.

Bei Lasereinrichtungen der Klasse 1M, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, können z. B. Blendung, Beeinträchtigungen des Farbsehens, Irritationen und Belästigungen nicht ausgeschlossen werden.

Laserklasse 2

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Laserklasse 1. Bei Lasereinrichtungen der Klasse 2 ist das Auge bei zufälliger, kurzzeitiger Einwirkung der Laserstrahlung, d. h. bei Expositionsdauern bis 0,25 s nicht gefährdet. Lasereinrichtungen der Klasse 2 dürfen deshalb ohne weitere Schutzmaßnahmen eingesetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass für die Anwendung weder ein absichtliches Hineinschauen über längere Zeit dauern als 0,25 s, noch ein wiederholtes Hineinschauen in die Laserstrahlung bzw. in spiegelnd reflektierte Laserstrahlung erforderlich ist.

Der absichtliche, direkte Blick (Hineinstarren) in den Strahl einer Lasereinrichtung der Klasse 2 kann gefährlich sein. Von dem Vorhandensein des Lidschlussreflexes und von anderen Abwendungsreaktionen 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 und sich sofort abwenden.

Bei Lasereinrichtungen der Klasse 2 können besonders bei geringer Umgebungshelligkeit durch den Blick in den Laserstrahl Irritationen, vorübergehende Blendung, Blitzlichtblindheit und länger andauernde Nachbilder verursacht werden. Durch diese indirekten Auswirkungen können mehr oder weniger starke Gefährdungen insbesondere bei Tätigkeiten auftreten, bei welchen ein unbeeinträchtigtes Sehvermögen besonders wichtig ist, wie z. B. beim Arbeiten mit Maschinen oder beim Lenken bzw. Führen eines Fahr- oder Flugzeuges.

Laserklasse 2M

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich von 400 nm bis 700 nm. Sie ist bei kurzzeitiger Expositionsdauer (bis 0,25 s) für das bloße Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente, wie z. B. Teleskope, verkleinert wird. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Laserklasse 1M.

Sofern keine optischen Instrumente verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 2M eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 2. Bei Einsatz optisch sammelnder Instrumente können vergleichbare Gefährdungen wie bei den Laserklassen 3R oder 3B auftreten.

Bei Lasereinrichtungen der Klasse 2M können besonders bei geringer Umgebungshelligkeit durch den Blick in den Laserstrahl Irritationen, vorübergehende Blendung, Blitzlichtblindheit und länger andauernde Nachbilder verursacht werden. Durch diese indirekten Auswirkungen können mehr oder weniger starke Gefährdungen insbesondere bei Tätigkeiten auftreten, bei denen ein unbeeinträchtigtes Sehvermögen besonders wichtig ist, wie z. B. beim Arbeiten mit Maschinen oder beim Lenken bzw. Führen eines Fahr- oder Flugzeuges.

Laserklasse 3R

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 10^6 nm und ist gefährlich für das Auge. Die Leistung bzw. die Energie beträgt maximal das Fünffache des Grenzwertes der

zugänglichen Strahlung der Klasse 2 im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm und das Fünffache des Grenzwertes der Klasse 1 für andere Wellenlängen.

Lasereinrichtungen der Klasse 3R sind für das Auge potenziell ähnlich gefährlich wie Lasereinrichtungen der Klasse 3B. Das Risiko eines Augenschadens wird dadurch verringert, dass der Grenzwert der zugänglichen Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich auf das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung für Laserklasse 2, in den übrigen Wellenlängenbereichen auf das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung für Laserklasse 1 begrenzt ist.

Das Risiko einer Verletzung durch Laserstrahlung aus einer Lasereinrichtung der Klasse 3R steigt mit der Expositionsdauer. Eine Exposition ist bei bewusster Augenbestrahlung gefährlich.

Bei Lasereinrichtungen der Klasse 3R, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, können durch den Blick in den Laserstrahl Irritationen, vorübergehende Blendung, Blitzlichtblindheit und länger andauernde Nachbilder verursacht werden. Durch diese indirekten Auswirkungen können mehr oder weniger starke Gefährdungen insbesondere bei Tätigkeiten auftreten, bei welchen ein unbeeinträchtigtes Sehvermögen besonders wichtig ist, wie z. B. beim Arbeiten mit Maschinen oder beim Lenken bzw. Führen eines Fahr- oder Flugzeuges.

Lasereinrichtungen der Klasse 3R sollten nur dann eingesetzt werden, wenn ein direkter Blick in den Laserstrahl unwahrscheinlich ist.

Laserklasse 3B

Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge, häufig auch für die Haut. Der direkte Blick in den Strahl bei Lasern der Klasse 3B ist selbst dann gefährlich, wenn er nur kurzzeitig erfolgt.

Eine Gefährdung der Haut durch die zugängliche Laserstrahlung besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 3B, wenn die Expositionsgrenzwerte der Haut überschritten werden. Dies trifft in der Regel zu, wenn die Strahldurchmesser zu klein sind oder wenn der Laserstrahl fokussiert wird.

Bei Lasereinrichtungen der Klasse 3B kann es im Laserstrahl zum Entflammen entzündlicher Materialien kommen.

Laserklasse 4

Die zugängliche Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die Haut. Auch diffuse gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Die Laserstrahlung kann Brand- und Explosionsgefahr verursachen.

Lasereinrichtungen der Klasse 4 sind Hochleistungslaser, deren Ausgangsleistungen bzw. -energien die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung für Klasse 3B übertreffen.

Die Laserstrahlung von Lasereinrichtungen der Klasse 4 ist so stark, dass bei jeglicher Art von Exposition der Augen oder der Haut mit Schädigungen zu rechnen ist. Außerdem muss bei der Anwendung von Lasereinrichtungen der Klasse 4 immer geprüft werden, ob ausreichende Maßnahmen gegen Brand- und Explosionsgefährdungen getroffen sind.

Für die Klassifizierung von Lasergeräten sind die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) zu berücksichtigen. Die GZS für die jeweiligen Schutzklassen werden definiert nach den möglichen Gefährdungen, die durch die Laserstrahlung für den menschlichen Körper und insbesondere für das menschliche Auge hervorgerufen werden können. Sie sind abhängig von verschiedenen Faktoren, die in der EN 60825-1 definiert sind, um verschiedene Einflussparameter auf die Gefährdung zu erfassen.

Die Faktoren C4 und C7 berücksichtigen die Wellenlängenabhängigkeit der möglichen Gefährdung. Die Faktoren C6 und T2 ergeben sich aus der Ausdehnung der Laserquelle vom Standpunkt des Beobachters (Winkelausdehnung α der Quelle) und der, während der Bestrahlungsdauer möglicherweise überstrichenen Fläche auf der Retina. Als Ausdehnung der Laserquelle ist die Größe der scheinbaren Quelle anzusetzen. Bei kollimierter Laserstrahlung befindet sich der Ort der scheinbaren Quelle nahezu im Unendlichen. Daher ist bei kollimierter Laserstrahlung oder bei sehr kleinen Quellen als Winkelausdehnung der Quelle $\alpha < \alpha_{\min}$ (mit $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad) anzusetzen.

Bei gepulsten Quellen darf die Bestrahlung durch jeden Einzelimpuls einer Impulsfolge den GZS für einen Einzelpuls (GZS_{EP}) nicht überschreiten und die mittlere Leistung für eine Impulsfolge der Emissionsdauer T darf die Leistung entsprechend dem GZS für einen einzelnen Impuls der Dauer T nicht überschreiten (GZS_T). Zusätzlich darf die Energie je Impuls den GZS für einen einzelnen Impuls, multipliziert mit dem Korrekturfaktor C5 nicht überschreiten (GZS_{C5}). Durch den Faktor C5 wird dabei das Pulsmuster berücksichtigt.

Zwei Messbedingungen sind für die Bestimmung der zugänglichen Emission festgelegt. Die Bedingung 1 gilt für Wellenlängen, bei denen der Blick in kollimierte Strahlen mit Teleskopoptiken die Gefährdung erhöhen kann. Bedingung 3 gilt für das bloße Auge. Für Leistungs- und Energiemessungen von richtungsveränderlicher Strahlung ist Bedingung 3 zu verwenden.

Zur Klassifizierung von Lasereinrichtungen, die ausschließlich zur Benutzung in Innenräumen vorgesehen sind und wo der direkte Blick in den Strahl mit Teleskopoptiken, wie beispielsweise Binokularen, vernünftigerweise nicht vorhersehbar ist, ist es nicht erforderlich, Bedingung 1 anzuwenden.

Die restriktivste dieser Messbedingungen ist zu verwenden. Ist es nicht offensichtlich, welche dieser Bedingungen am restriktivsten ist, dann ist mit beiden Bedingungen zu bewerten. Für Klasse 1M und Klasse 2M muss immer mit beiden Bedingungen bewertet werden.

Für den hier interessanten Wellenlängenbereich von 400 bis 1400 nm gelten folgende Abstände und Blenden für Messbedingungen nach EN 60825-1:2014:

	Messblende d (mm)	Abstand r (mm)
Bedingung 1	50	2000
Bedingung 3	7	100

6.2.2 Messverfahren

Messung der spektralen Verteilung

Das abgestrahlte Spektrum wird mit einem Spektrometer vom Typ HR 2000 von Ocean Optics bestimmt. Das Spektrometer besitzt eine Auflösung von 0,5 nm und eine minimale Integrationszeit von 1 ms. Die Messung des Spektrums erfolgt in einem Abstand von etwa 100 mm zur Strahlquelle an der Stelle der höchsten Bestrahlungsstärke. Auf Grundlage des gemessenen Spektrums der Strahlungsquelle erfolgt die weitere Auswahl der Messgeräte.

Messung des zeitlichen Abstrahlverhaltens

Die Messung des zeitlichen Verlaufs der ausgesendeten Strahlung im Ein- und Ausschaltmoment und bei gepulsten oder modulierten Strahlungsquellen erfolgt mit einem Photodiodensystem. Je nach Wellenlänge der Laserstrahlung und Pulslänge des zu untersuchenden Signals, wird zur Detektion ein anderes Photodiodensystem verwendet.

Für die durchgeführten Messungen wurden die Photodiodensysteme DET 10A; DET 10N und DET 36A von Thorlabs verwendet. Die Darstellung des Signals erfolgt auf einem Oszilloskop des Typs TDS 2024C von Tektronix.

Strahlung von ausgedehnten Quellen

Die Augengefährdung der Laserquellen hängt im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm von der Winkelausdehnung α der scheinbaren Quellen ab. Zur Bestimmung des Winkels α wird die Größe der Abbildung der Laserstrahlung durch eine Augenoptik auf einer CCD-Kamera (WinCamD von DataRay) bestimmt. Die Augenoptik besitzt eine Apertur von 7 mm und eine Brennweite von 40 mm. In jedem Messabstand wird die Augenoptik so angepasst, dass sich das kleinstmögliche Bild ergibt.

Durch die Art des Messvorgangs (z.B. Scharfstellen der Optik, Auswahl der Achsen, Kalibrierung des jeweiligen Abbildungsmaßstabs) hat die Bestimmung der Winkelausdehnung eine relativ hohe Messunsicherheit. Aufgrund dieser Messunsicherheit werden die gemessenen Winkelausdehnungen der ausgedehnten Quellen für die Bewertung um einen Sicherheitsfaktor von 15 % verkleinert.

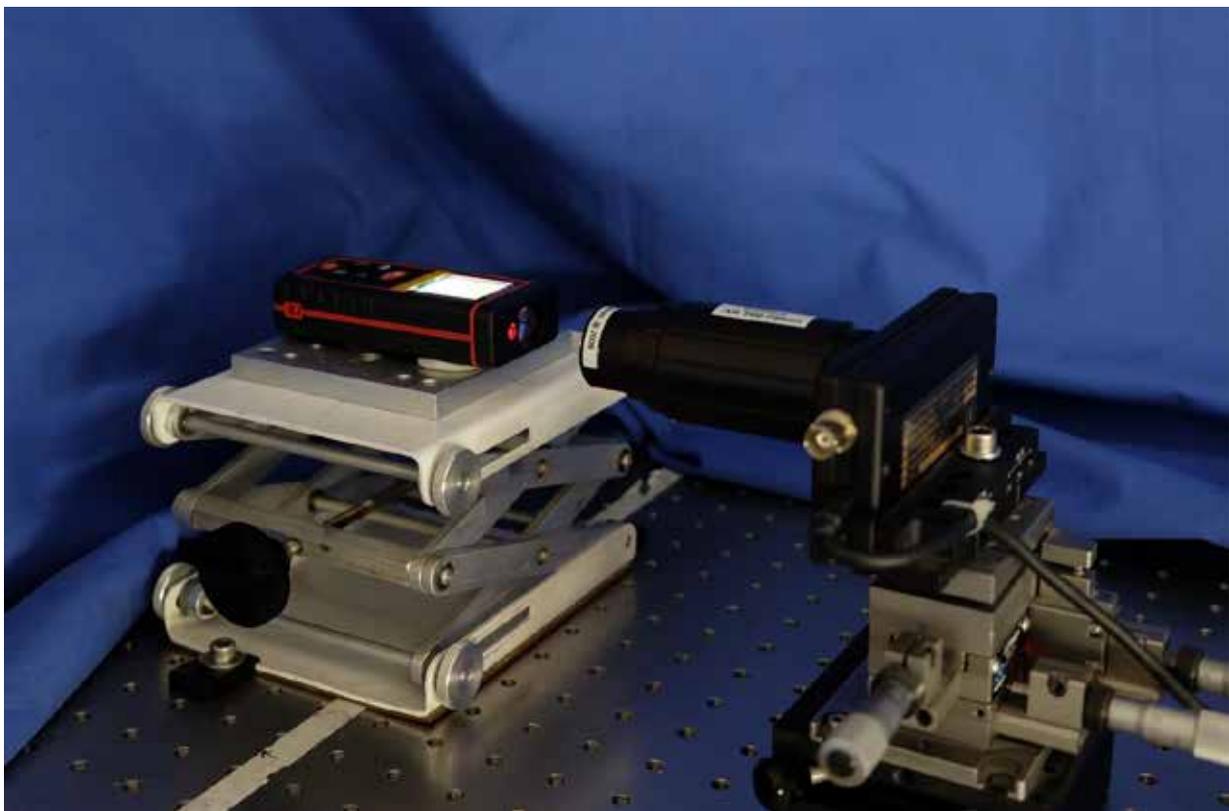


Abbildung 6.7 Messung des Augenbildes

Bei Lasersystemen, die den Bedingungen der Klassen 3B oder 4 entsprechen, wird auf eine Bestimmung des Augenbildes verzichtet, da die Grenzwerte dieser Laserklassen nicht von der Winkelausdehnung der Strahlquelle abhängig sind.

Messung der integrierten Laserenergie

Die emittierte Laserenergie oder Laserleistung wird gemäß den oben beschriebenen Messbedingungen vermessen. Die Messung nach Bedingung 3 erfolgt direkt mit einem geeigneten Detektor mit 7 mm Apertur. Für die Messung nach Bedingung 1 wird die Strahlung mit einer unbeschichteten Linse mit

50 mm Apertur in den Detektor fokussiert. Die Reflexionsverluste an der Linse werden bei der Auswertung berücksichtigt.

Für die Messungen werden die Messköpfe LP-9910-4; UV-3716-2 und LPPA-9901 von Gigahertz Optik verwendet. Die Auswertung erfolgt mit einem Oszilloskop TDS2024C von Tektronix oder dem Optometer P9710-1 von Gigahertz Optik.

Die Genauigkeit der Kalibrierung der Messköpfe liegt in dem untersuchten Bereich zwischen $\pm 4\%$ und $\pm 5\%$. Für die Bewertung der Laserquelle wird der jeweils kritischste Messfehler angenommen.

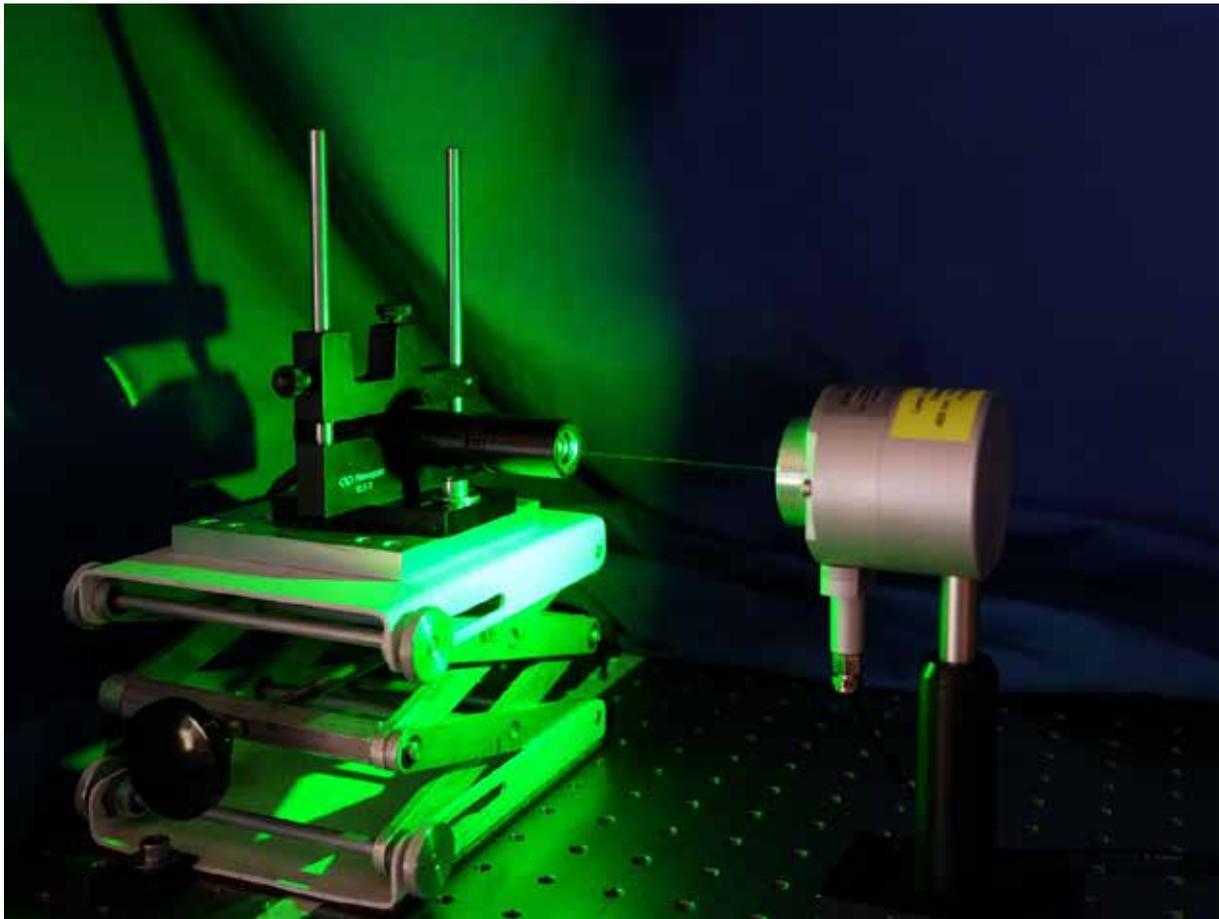


Abbildung 6.8 Messung der Strahlungsleistung

Messung der Strahlausbreitung

Die Bestimmung der Ausbreitung der emittierten Laserstrahlung erfolgt auf einer 14 m langen Messstrecke. Je nach Strahldivergenz wird in passenden Messabständen der Strahldurchmesser durch Messung der Laserleistung mit unterschiedlichen Messblenden bestimmt. Die Strahldivergenz ist als ganzer Winkel bei einem Strahldurchmesser von d_{63} angegeben.

Der Sicherheitsabstand (NOHD, Nominal Ocular Hazard Distance) ist die Entfernung, in der die Bestrahlungsstärke des Lasers gleich dem entsprechenden Grenzwert für die Laserklasse 1 ist. Der NOHD wird ohne Berücksichtigung von Streuung und Absorption in der Atmosphäre berechnet.

6.3 Weitere Messungen

Die Messungen, die in beiden vorherigen Abschnitten vorgestellt wurden, dienen der Gefährdungsbeurteilung nach aktuellen Normen für inkohärenten Lichtquellen und Laser. Zur Beurteilung der möglichen Blendung reichen die so gewonnenen Angaben nicht aus, weshalb weitere Messungen erforderlich sind, die ergänzend durchgeführt wurden und hier kurz vorgestellt werden.

Die Fahrradlichter wurden auf die Konformität mit den technischen Anforderungen an Fahrzeuge bei der Bauartprüfung nach §22a der StVZO überprüft. Die Anforderungen an Scheinwerfer für Fahrräder sind unter Punkt 23 beschrieben.

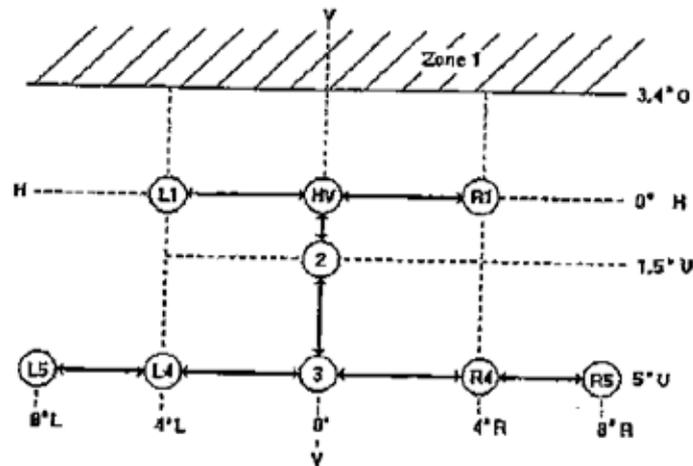


Abbildung 6.9 Messschirm mit Angabe der Messpunkte, der Messlinien und der Zone 1 nach TA23 der StVZO

In der Abbildung 6.9 sind die Messpunkte und eine Zone abgebildet, für die Anforderungen an die Beleuchtungsstärke in 10 m Entfernung definiert sind. Der HV-Punkt ist die Hauptstrahlrichtung des Scheinwerfers mit der maximalen Beleuchtungsstärke. Für Punkte rechts, links und unterhalb des HV-Punkts sind Mindestwerte definiert, um für eine ausreichende Ausleuchtung der Straße zu sorgen. Für die Linie 3,4 sowie die Zone 1 sind dagegen Maximalwerte definiert, die die Blendungsbegrenzung für entgegenkommenden Verkehr und Passanten garantieren sollen. Die Prüfung wurde auf einem Kfz-Goniometer durchgeführt. Zusätzlich wurde die komplette Lichtverteilung hochaufgelöst abgetastet, um genügend Daten für eine Abschätzung der Blendung zu generieren.

Des Weiteren wurden der Lichtstrom der Fahrradlichter und der Taschenlampen zeitlich aufgelöst in einer Ulbricht-Kugel gemessen, um die Abnahme des Lichtstroms während des Betriebs bzw. der Entladung der Batterien und Akkus zu charakterisieren und die Messungen auf den Maximalwert (Worst-Case-Betrachtung in Bezug auf die Sicherheit) falls nötig zu korrigieren. Mit diesen Angaben ist zusätzlich die Überprüfung der Herstellerangaben bei Taschenlampen nach ANSI FL1-2009 möglich.

ANSI FL1-2009 ist eine US-Norm, an der sich weltweit Taschenlampenproduzenten orientieren. Die Norm standardisiert unterschiedliche Leistungsparameter, um die Vergleichbarkeit von Taschenlampen zu ermöglichen. Die wichtigsten, für dieses Projekt relevanten Größen sind der Lichtstrom, maximale Lichtstärke und die Leuchtweite. Die Leuchtweite ist dabei als die Entfernung definiert, bei der die Taschenlampe noch eine Beleuchtungsstärke von 0,25 Lux erreicht.

7 Messergebnisse

Im Rahmen des Projekts sind in Abstimmung mit dem Bundesamt für Strahlenschutz insgesamt 40 Geräte für die Untersuchungen ausgewählt worden. Die Auswahl beschränkt sich dabei auf Geräte, die für den Privatgebrauch verfügbar sind und über entsprechende Kanäle vertrieben werden. Dabei wurden Geräte ausgewählt, die als besonders leistungsstark beworben wurden – beispielsweise in Fachzeitschriften, oder aber in ihrer Gerätegruppe die höchste Leistung aufwiesen und bei denen entsprechend das meiste Gefährdungspotential zu vermuten ist.

Ein weiteres Auswahlkriterium für die Geräte war der Hersteller. Dabei ging es um die Frage, ob es sich um Markenware, Eigenmarken der Bauhändler/Elektronikversands sowie „No Name“-Produkte über den Onlinehandel (beispielsweise Amazon oder eBay) handelt. Damit wird auch die Preisspanne der angebotenen Hochleistungsgeräte auf dem Markt nach Möglichkeit abgebildet.

Als inkohärente Lichtquellen wurden fünf LED-Hochleistungsfahrradlichter ausgewählt. Bei den ersten zwei handelt es sich um Geräte, die Online und in Fahrradzeitschriften als besonders leistungsstark beworben wurden. Die nächsten zwei sind dagegen als konform zur Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) ausgewiesen. Das letzte Fahrradlicht ist auf eBay mit einem Lichtstrom von 10000 Lumen beschrieben worden. Es gibt zwar Fahrradlichter mit einem höheren Lichtstrom, die aber durch eine größere Anzahl von LEDs, die verhältnismäßig dunkler sind, realisiert wird. Die Preisspannweite beträgt dabei 8,79€ bis 179,90€.

Die Gruppe der LED-Taschenlampen gehört ebenfalls zu inkohärenten Quellen bestehend aus sieben Geräten, die aus Gründen der breiten Auswahl hauptsächlich über Amazon bestellt wurden. Es wurde auf besonders hohe Lichtströme geachtet. Die Preisspanne beträgt hier 39,90€ bis 199,95€.

Die 28 kohärenten Lichtquellen bestehen aus vier Laser-Taschenlampen, zehn Laserpointern, sowie 14 Geräten mit unterschiedlichen Verwendungszwecken. Die Laser-Taschenlampen sind eine relativ neue Entwicklung. Die beschaffbaren Taschenlampen verwenden dabei alle einen grünen Laser, deren Strahl durch Optiken aufgeweitet wurde. Die Preise liegen hier bei 305€ bis 389€. Die Laserpointer wurden gleichmäßig über diverse Onlinequellen beschafft. Es wurde rote, grüne und blaue Laser ins Projekt aufgenommen. Die Preise liegen hier bei 3€ bis 139€. Die restlichen vierzehn Geräte bestehen aus einem Laser-Projektor, diversen Show- und Gartenlasern, Messwerkzeugen, Lichttherapiegeräten, sowie einem Laser-Tag-Spielset und einem Graviergerät.

Die Tabelle 7.1 gibt einen Überblick über die beschafften Muster. Im Anhang (Kapitel 10) des Berichts sind die Geräte detailliert mit Bildern, Verpackungsangaben und Messergebnissen vorgestellt.

Tabelle 7.1 Ausgewählte Strahlungsquellen

Marke	Bezeichnung	Quelle	Typ
Sigma Sport	Buster 2000	Hibike	Fahrradlicht
Cat Eye	Volt 1600 HL	Hibike	Fahrradlicht
Philips	SafeRide 80 LED Bike Light	eBay	Fahrradlicht
busch+müller	B + M Lumotec IQX E 150 Lux	bikesdirekt	Fahrradlicht
	10000LM 3x XML T6 LED USB	eBay	Fahrradlicht
Zweibrüder	Ledlenser P7R	Amazon	Taschenlampe
Fenix	E35 Ultimate Edition	Amazon	Taschenlampe
Klarus	XT11GT	Amazon	Taschenlampe
MagLight	MAGTAC TRM4RA4	Amazon	Taschenlampe
uniTEC	PRO500F	Hornbach	Taschenlampe
	1x 10000 Lumen XML LED T6	eBay	Taschenlampe
ThruNite	TN42 CREE XHP 35 Hi	Amazon	Taschenlampe
Laser Genetics	NS300 Subzero	Frankonia	Laser-Taschenlampe
Parforce	DGL8	Frankonia	Laser-Taschenlampe
Picotronic	PLD800 174	Conrad	Laser-Taschenlampe
TACFIRST	Green Laser Light Taschenlampe	myHuntingShop	Laser-Taschenlampe
Hama	Profi Laserpointer LP11	Amazon	Laserpointer
GeneralKey	Grüner Festkörper Laserpointer	Pearl	Laserpointer
Legamaster	LX3 grüner Laserpointer	Büromarkt Böttcher	Laserpointer
Laserliner	Laserpointer Business Green	Distrelec	Laserpointer
Conrad	Laserpointer Grün und Rot	Conrad	Laserpointer
Laserpointeronline	Professioneller Grüner LP G2	Laserpointeronline.de	Laserpointer
Laser Components	Laco 532	Grube	Laserpointer
Wedo	Grüner Laserpointer	Bueroshop24	Laserpointer
	405nm Laser Pointer Pen Laser 303	eBay	Laserpointer
	405nm Laser Pointer Pen	eBay	Laserpointer
LG	HF80JG	notebooksbilliger.de	Laserprojektor
Laserworld	GS200RG	gartenmoebel.de	Gartenlaser
Lunartec	LaserProjektor	Pearl	Gartenlaser
Jamara	Impulse Laser Battle Set	Amazon	Laser Tag
Ibiza	Mini Laser Firefly	elektronikstar.de	Showlaser
Beamz	Prospero Laser Blue	elektronikstar.de	Showlaser
Lightmaxx	Club 4.0 Blue	musicstore.de	Showlaser
Tacklife	SC L03	Amazon	Messwerkzeug
Bosch	PLL360	Hornbach	Messwerkzeug
Floureon	Distanzmessgerät 0,0580m	Amazon	Messwerkzeug
Zavarius	Laser Entfernungsmesser 6x21	Pearl	Messwerkzeug
Medical Quant	Soft Laser Kombigerät Handy Cure S	SportTec	Elektrotherapie
Forever25	Vibro Massage Laser Kamm	Amazon	Kosmetisches Gerät
Neje	DK8KZ R8E6	eBay	Laser-Gravierer

7.1 Fahrradlicht

Alle im Projekt ausgewählten Fahrradlichter sind mit LEDs ausgestattet und weisen dementsprechend charakteristische Spektren auf. Die gemessenen spektralen Bestrahlungsstärken sind in der Abbildung 7.1 gemeinsam dargestellt. Sie weisen mit Ausnahme der neutralweißen LEDs der Philips SafeRide 80 eine kaltweiße Farbtemperatur auf, wobei das günstige eBay-Produkt eher als blau einzustufen ist (siehe Tabelle 7.2).

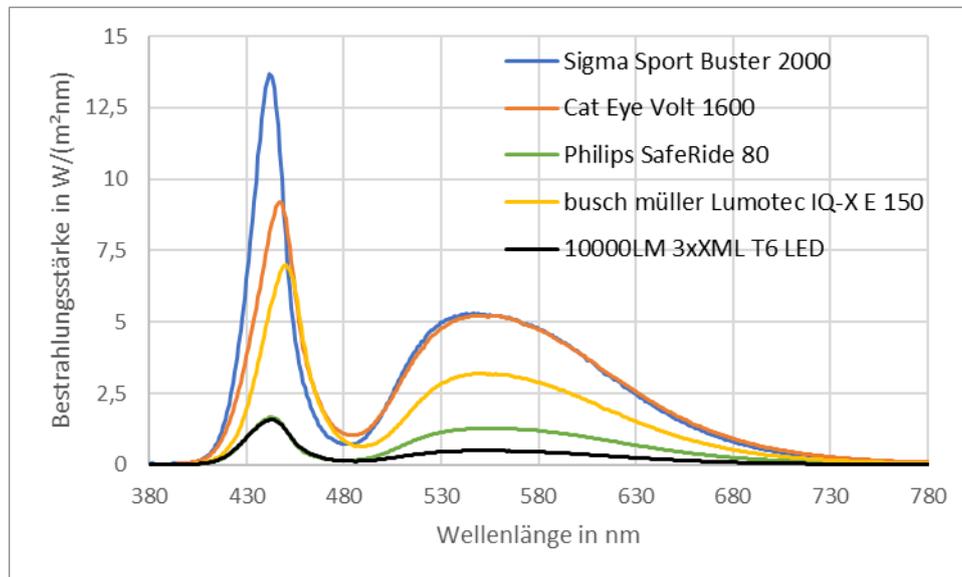


Abbildung 7.1 Spektrale Bestrahlungsstärke aus 20 cm Entfernung

Des Weiteren sind in der Tabelle 7.2 die Lichtströme, die in einer Ulbricht-Kugel gemessen wurden, zusammengefasst. Für drei Lichter waren nominelle Lichtströme angegeben. Die beiden Hochleistungsgeräte erreichen recht präzise diese Angaben, allerdings nur im ersten Moment nach dem Einschalten. Wie der zeitlichen Aufzeichnung des Lichtstroms in der Abbildung 7.2 zu entnehmen, wird der Lichtstrom – wahrscheinlich als Schutzfunktion aufgrund der starken LED-Erwärmung – heruntergeschaltet. Bei Sigma Sport geschieht dies in mehreren Sprüngen in kurzer Folge, bei Cat Eye einmalig nach ca. 8 Minuten. Beide stabilisieren bei einem Lichtstrom von etwas über 800 Lumen.

Tabelle 7.2 Messergebnisse der untersuchten Fahrradlichter

Gerät	Licht- quelle	Lichtstrom angegeben	Lichtstrom sofort	Lichtstrom 30Min	Farb- temperatur	Kosten
Sigma Sport Buster 2000	LED	2000lm	2060lm	827lm	6955K	156,26€
Cat Eye Volt 1600 HL	LED	1600lm	1612lm	803lm	7467K	179,90€
Philips SafeRide 80 LED	LED	-	276lm	262lm	4916K	131,00€
busch+müller Lumotec IQ-X E 150 Lux	LED	-	404lm	320lm	6389K	84,95€
eBay 10000LM 3xXML T6 LED	LED	10000lm	177lm	160lm	26728K	8,79€

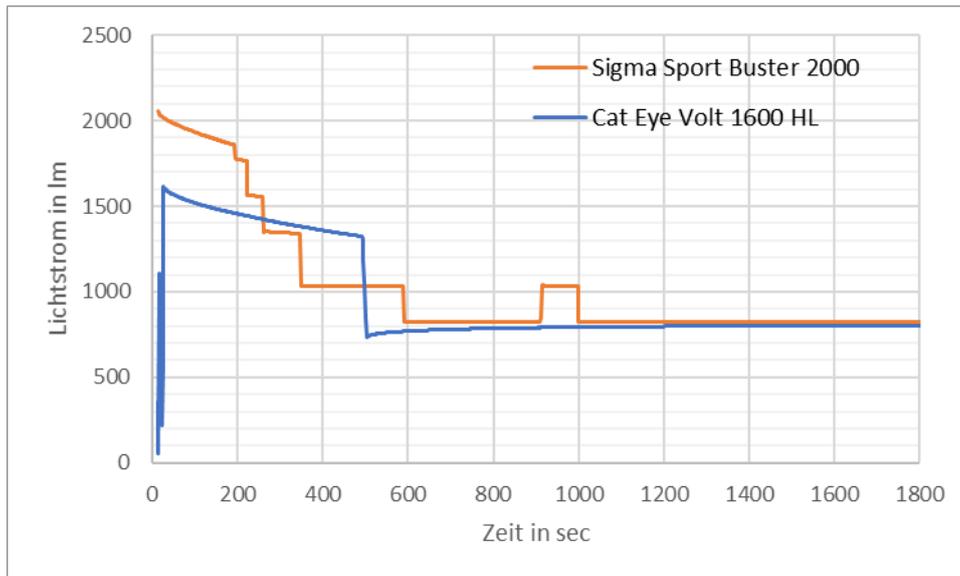


Abbildung 7.2 Zeitaufgelöste Aufnahme des Lichtstroms von Hochleistungsfahrradlichtern

Das zeitliche Verhalten der anderen drei Geräte ist in der Abbildung 7.3 dargestellt. Die Geräte zeigen keine Sprünge und stabilisieren nach dem thermischen Einschwingen des Systems auf einen konstanten Lichtstrom, wobei Philips nur eine minimale Lichtstromabnahme aufweist. So nahm der Lichtstrom hier nur um ca. 4% ab, wo hingegen B+M 20% der Ausgangsleistung verliert. Das günstige eBay-Produkt zeigt einen Lichtstrom von nur 177 lm sofort nach dem Einschalten bzw. von 160 Lumen. Die versprochenen 10000 Lumen werden damit nicht einmal annähernd erreicht.

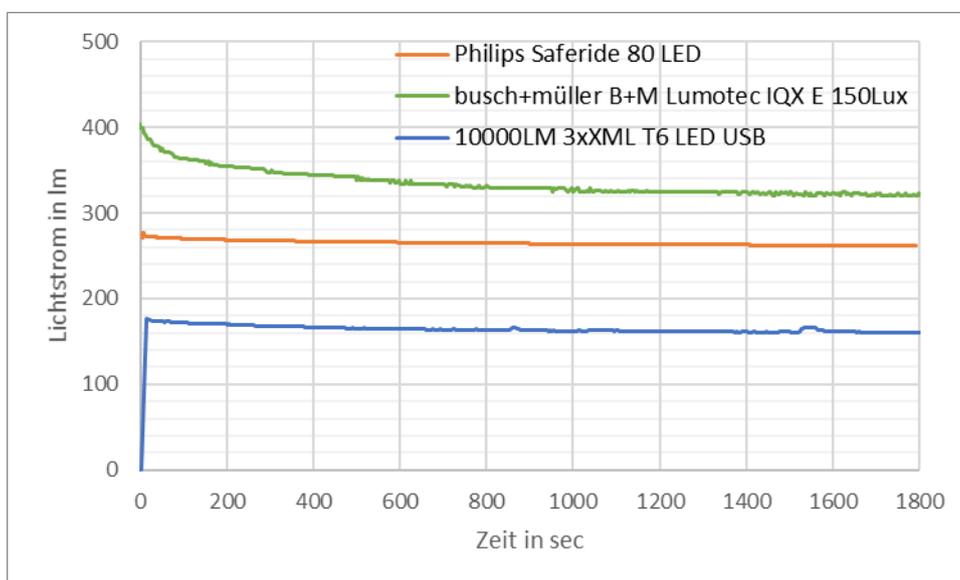


Abbildung 7.3 Zeitaufgelöste Aufnahme des Lichtstroms von Fahrradlichtern mit mittlerer Leistung

Die Messung der Leuchtdichte, die wie im vorigen Kapitel erläutert der Bestimmung der Strahldichte dient, wurde sofort nach dem Einschalten im stärksten Modus des Geräts durchgeführt, um die Worst-Case-Beurteilung der Gefährlichkeit der Produkte durchführen zu können.

Die Auswertung der Messungen nach DIN EN 62471 hat ergeben, dass für LEDs erwartungsgemäß nur die Blaulicht- sowie die thermische Netzhautgefährdung relevant sind. Die Tabelle 7.3 und die Tabelle 7.4 fassen die entsprechenden Emissionsgrenzwerte und die Messwerte zusammen.

Tabelle 7.3 Messergebnisse bezüglich Blaulichtgefährdung der Fahrradlichter

Gerät	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Risiko- gruppe
			RG 0	RG 1	RG 2		
Sigma Sport Buster 2000	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	33700	2
Cat Eye Volt 1600 HL	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	33200	2
Philips SafeRide 80 LED	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	14230	2
B+M Lumotec IQ-X E 150 Lux	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	71700	2
eBay 10000LM 3xXML T6 LED	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	8000	1

Tabelle 7.4 Messergebnisse bezüglich der thermischen Netzhautgefährdung der Fahrradlichter

Gerät	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Risiko- gruppe
			RG 0	RG 1	RG 2		
Sigma Sport Buster 2000	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	395000	2
Cat Eye Volt 1600 HL	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	405000	2
Philips SafeRide 80 LED	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	138600	1
B+M Lumotec IQ-X E 150 Lux	R(λ)	W/m ² sr	368421	368421	934211	846000	2
eBay 10000LM 3xXML T6 LED	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	89400	1

Mit Ausnahme des eBay-Fahrradlights, welches in die Risikogruppe 1 mit einem geringen Risiko einzuordnen ist, sind alle anderen Geräte der Risikogruppe 2 zuzuordnen. Dabei werden sowohl die Grenzwerte für die Blaulicht- als auch die thermische Netzhautgefährdung überschritten. Nur Philips SafeRide hat aufgrund der niedrigeren Farbtemperatur ein geringes Risiko (RG1) in Bezug auf die thermische Netzhautgefährdung.

Bezüglich der beiden Hochleistungsgeräte von Sigma Sport und Cat Eye ist anzumerken, dass auch im stabilisierten Zustand mit dem geringeren Lichtstrom die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für das Blaulicht überschritten werden.

Keines der Fahrradlichter hat auf den Geräten angebrachte Sicherheitsverweise vorzuweisen und nur in den Bedienungsanleitungen von Sigma Sport und Cat Eye liegen Warnhinweise vor. Eine deutliche Kennzeichnung im Sinne der DIN EN 62471 Beiblatt 1 wäre angebracht.

In Bezug auf die Lichtverteilung können die untersuchten Fahrradlichter in zwei Gruppen unterteilt werden. Zum einen haben die Geräte von Sigma Sport, Cat Eye und das auf eBay gekaufte NoName-Produkt eine um das Lichtstärkemaximum rotationssymmetrische Lichtverteilung (beispielhaft die Abbildung 7.4). Diese leuchten bei horizontaler Montage auf dem Fahrrad nicht nur die Fahrbahn, sondern auch die Umgebung nach oben, wie im oberen Teil der Abbildung 7.6 skizziert, aus.

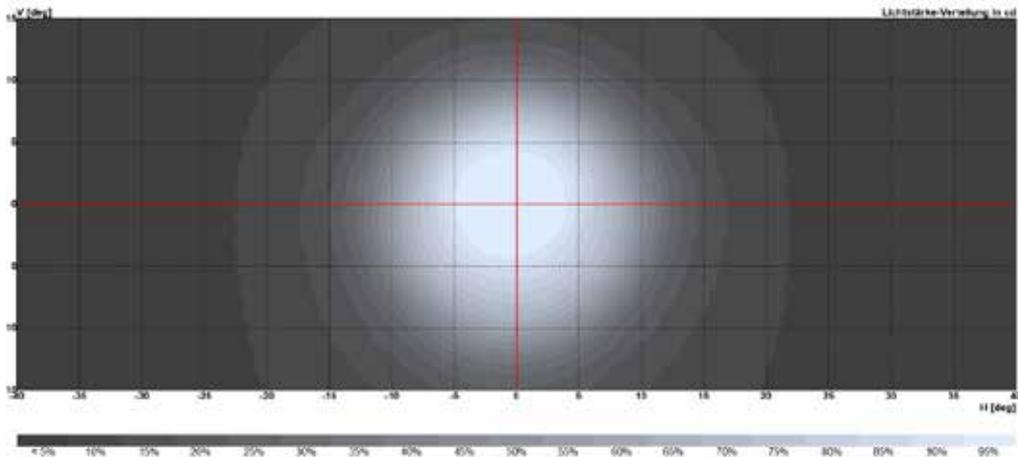


Abbildung 7.4 Lichtverteilung des Cat Eye Volt 1600

Die Geräte von Philips und busch+müller verweisen dagegen auf ihre StVZO-Konformität, die durch Messungen der Lichtstärkeverteilung bestätigt ist. Die Lichtverteilung von Philips SafeRide 80 ist in der Abbildung 7.5 dargestellt. Oberhalb des Lichtstärkemaximums nimmt die Lichtintensität stark ab und entblendet damit den Gegenverkehr (Abbildung 7.6 unten).

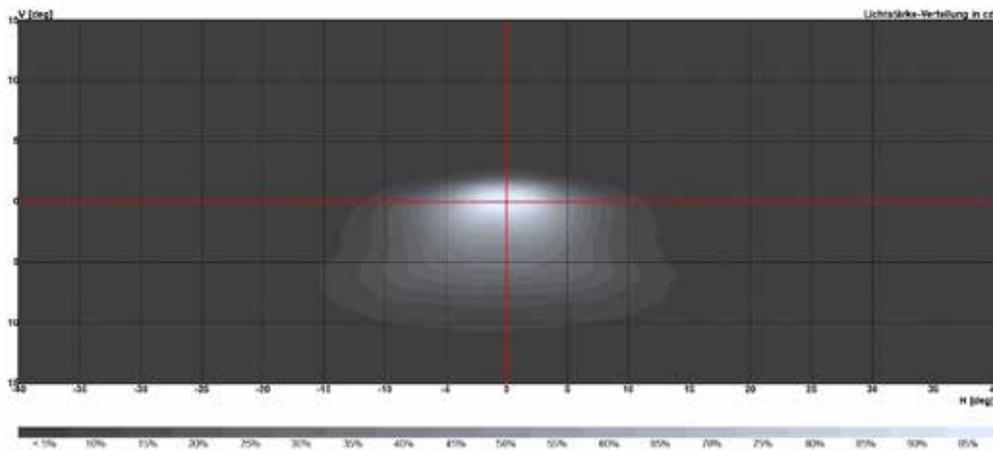


Abbildung 7.5 Lichtverteilung des Philips SafeRide 80 als Beispiel für eine StVZO-konforme Strahlformung

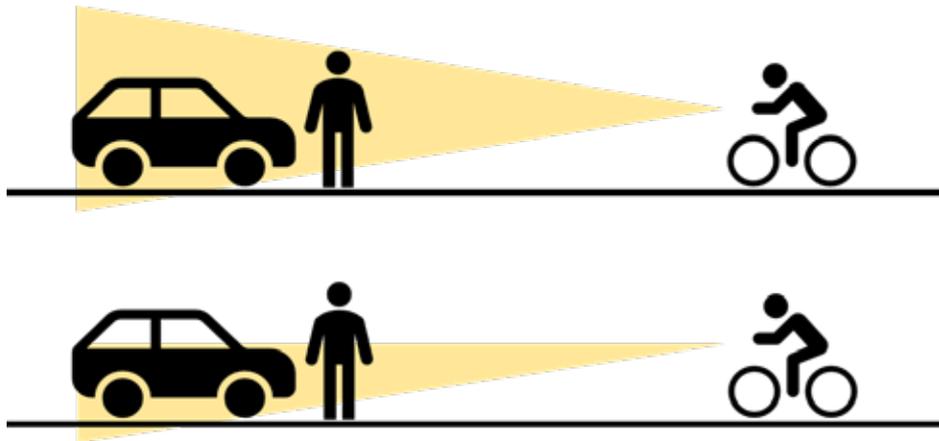


Abbildung 7.6 Vermeidung der Blendung (oben) der Passanten und des Gegenverkehrs durch eine StVZO-konforme Lichtverteilung (unten)

7.2 Taschenlampen

Alle im Projekt ausgewählten konventionellen Taschenlampen sind mit LEDs ausgestattet und weisen dem entsprechend charakteristische Spektren auf. Die gemessenen spektralen Bestrahlungsstärken sind in der Abbildung 7.7 gemeinsam dargestellt. Sie weisen alle eine kaltweiße Farbtemperatur auf, wobei das günstige eBay-Produkt ähnlich dem Fahrradlicht eher als blau einzustufen ist (siehe Tabelle 7.5).

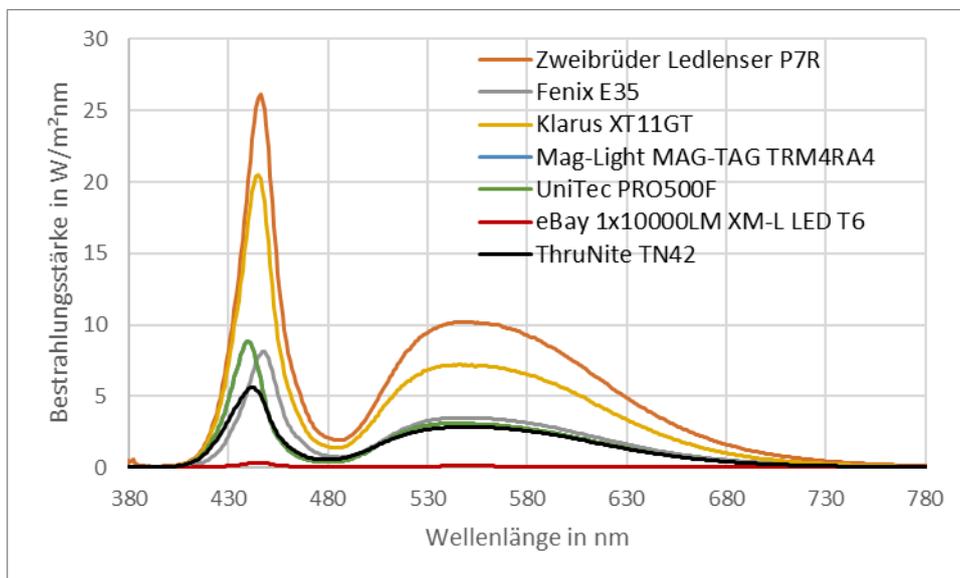


Abbildung 7.7 Spektrale Bestrahlungsstärke aus 20 cm Entfernung

Die Leistungsparameter der Taschenlampen sind in Hinblick auf den ANSI FL1-2009 Standard gemessen und ausgewertet. Die relevanten Angaben sind in der Tabelle 7.5 zusammengefasst. Dabei hat nur die Taschenlampe von Klarus ihre Verpackungsangaben deutlich verfehlt. Die auf eBay gekaufte günstige Taschenlampe hat dabei weder eine Verpackung noch eine Bedienungsanleitung mit Leistungsangaben – die beworbenen 10000 Lumen wurden nicht annähernd erreicht.

Tabelle 7.5 Gemessenen Leistungsparameter der Taschenlampen

Gerät	Leuchtweite	Max. Lichtstärke	Lichtstrom	Farbtemperatur
Zweibrüder Ledlenser P7R	293m	21578cd	639lm	7271K
Fenix E35 Ultimate Edition	163m	6674cd	966lm	7022K
Klarus XT11GT	90,5m	2046cd	1394lm	8134K
Mag-Light MAG-TAC TRM4RA4	166m	472cd	6921lm	7542K
Unitec PRO500F	339m	28723cd	589lm	6418K
eBay 1x10000LM XM-L LED T6	242m	14660cd	218lm	11371K
ThruNite TN42	1658m	687616cd	1960lm	6550K

In der Abbildung 7.8 sind die über eine halbe Stunde aufgezeichneten Lichtstromaufnahmen der vermessenen Taschenlampen dargestellt. Analog zu Fahrradlichtern können die Taschenlampen in zwei Gruppen eingeteilt werden. Zum einen die Taschenlampen mit einem leichten, durch die Erwärmung der Leuchtdioden verursachten Lichtstromabfall um ein paar Prozent. Zum anderen schalten Taschenlampen den Lichtstrom in Stufen herunter – wahrscheinlich als Schutzfunktion gegen Überhitzen. Die Taschenlampe von Klarus schwingt dabei mit einer Periode von ca. drei Minuten und erreicht keinen stabilen Zustand.

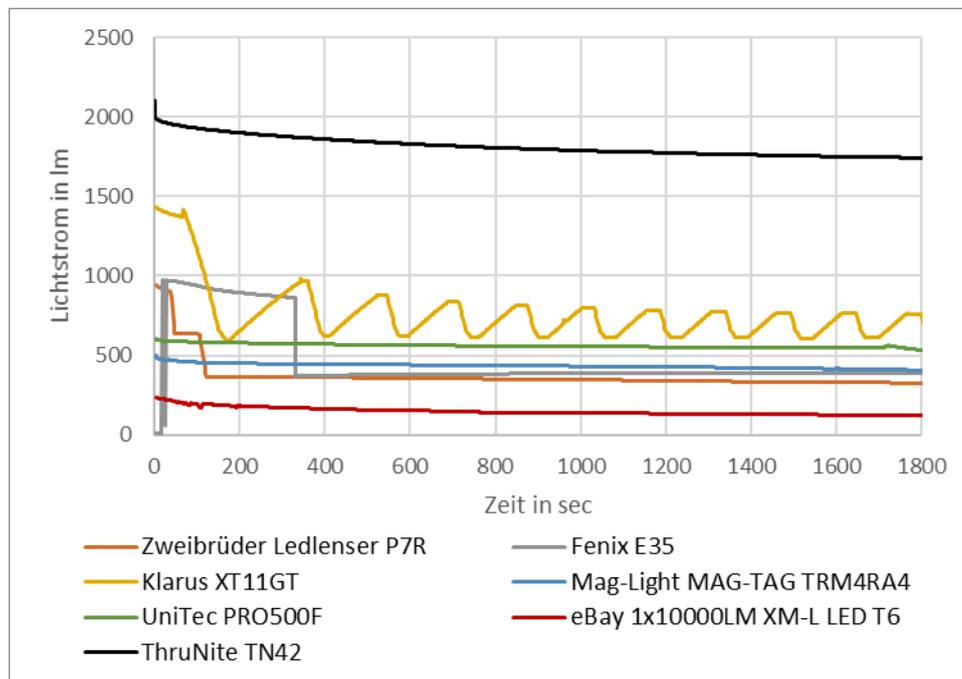


Abbildung 7.8 Zeitaufgelöste Aufnahme des Lichtstroms der gemessenen Taschenlampen

Die Messung der Leuchtdichte, die wie im vorigen Kapitel erläutert der Bestimmung der Strahldichte dient, wurde sofort nach dem Einschalten im stärksten Modus des Geräts durchgeführt, um die Worst-Case-Beurteilung der Gefährlichkeit der Produkte durchführen zu können.

Die Auswertung der Messungen nach DIN EN 62471 hat ergeben, dass für LEDs erwartungsgemäß nur die Blaulicht- sowie die thermische Netzhautgefährdung relevant sind. Die Tabelle 7.6 und die Tabelle 7.7 fassen die entsprechenden Emissionsgrenzwerte und Messwerte zusammen.

Tabelle 7.6 Messergebnisse bezüglich Blaulichtgefährdung für die Taschenlampen

Gerät	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Risikogruppe
Zweibrüder Ledlenser P7R	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	45600	2
Fenix E35 Ultimate Edition	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	41300	2
Klarus XT11GT	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	44100	2
Mag-Light MAG-TAC TRM4RA4	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	26940	2
Unitec PRO500F	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	25400	2
eBay 1x10000LM XM-L LED T6	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	30100	2
ThruNite TN42	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	142500	2

Tabelle 7.7 Messergebnisse bezüglich der thermischen Netzhautgefährdung für die Taschenlampen

Gerät	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Risikogruppe
Zweibrüder Ledlenser P7R	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	537000	2
Fenix E35	R(λ)	W/m ² sr	318182	318182	806818	492000	2
Klarus XT11GT	R(λ)	W/m ² sr	318182	318182	806818	511000	2
Mag-Light MAG-TAC TRM4RA4	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	312000	2
Unitec PRO500F	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	310000	2
eBay 1x10000LM XM-L LED T6	R(λ)	W/m ² sr	368421	368421	534210	298000	1
ThruNite TN42	R(λ)	W/m ² sr	2545455	2545455	6454545	1375000	2

Alle Geräte sind der Risikogruppe 2 zuzuordnen. Dabei werden sowohl die Grenzwerte für die Blaulicht- als auch die thermische Netzhautgefährdung überschritten. Bezüglich der drei Taschenlampen von Zweibrüder, Fenix und Klarus, die wahrscheinlich aus thermischen Gründen die Leistung automatisch reduzieren, ist anzumerken, dass auch im stabilisierten Zustand mit dem geringeren Lichtstrom die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung überschritten werden.

Außer der Taschenlampe von Zweibrüder hat keine der Taschenlampen auf den Geräten angebrachte Sicherheitsverweise vorzuweisen, wobei alle Hersteller in den Bedienungsanleitungen Warnhinweise gedruckt haben. Die günstige auf eBay gekaufte „No Name“-Taschenlampe hat weder eine Verpackung noch Bedienungsanleitung vorzuweisen, wo Warnhinweise hätten gedruckt werden können. Eine deutliche Kennzeichnung auf den Geräten selbst im Sinne der DIN EN 62471 Beiblatt 1 wäre angebracht.

7.3 Laser-Taschenlampen

Alle vier im Projekt vermessenen Lasertaschenlampen sind nur durch die angebrachten Hinweis- und Warnschilder von normalen Taschenlampen zu unterscheiden. Bei allen Lasertaschenlampen lässt sich die Strahldivergenz verändern. Bei keinem System ist es möglich eine konvergente Strahlform zu erzeugen. Für die Messungen werden die Laserstrahlen auf möglichst gute Kollimation eingestellt, dies ist der kritischste Strahlverlauf.

Alle Lasertaschenlampen emittieren grünes Laserlicht mit einer Zentralwellenlänge im Wellenlängenbereich von 509 nm bis 523 nm. Die Bandbreite der Strahlung liegt bei etwa ± 1 nm.

In Tabelle 7.8 sind die nach den jeweiligen Messbedingungen (siehe Abschnitt 6.2.1) bestimmten Laserleistungen mit den berechneten Grenzwerten der zugänglichen Strahlung gegenübergestellt. Es ist jeweils nur der kleinste nicht überschrittene Grenzwert angegeben.

Tabelle 7.8 Vergleich der Laserleistung der Lasertaschenlampen mit den Grenzwerten der niedrigsten nicht überschrittenen Laserklasse

Gerät	Laserklasse	Messbedingung	Grenzwert	Messwert
NS300 Subzero	2	Bed.3	1 mW	0,95 mW
	3B	Bed.1	500 mW	9,57 mW
Parforce DGL8	2	Bed.3	1 mW	0,92 mW
	3B	Bed.1	500 mW	8,38 mW
Picotronic PLD800	2	Bed.3	1 mW	0,88 mW
	3B	Bed.1	500 mW	8,65 mW
Tacfirst Green Laser	2	Bed.3	1 mW	1,00 mW
	3B	Bed.1	500 mW	9,41 mW

Die emittierte Laserstrahlung der Geräte ist nach Bedingung 1 kleiner als der GZS der Klasse 3B und kleiner oder gleich dem GZS der Klasse 2 nach Bedingung 3. Damit können alle Geräte der Laserklasse 2M zugeordnet werden.

Wie in der Abbildung 7.9 dargestellt, beträgt der Augen-Sicherheitsabstand der ersten drei Laser-Taschenlampen ca. 17,5 m, während die Tacfirst-Taschenlampe einen etwas höheren Abstand von

22,6 m aufweist. Unter dem Augensicherheitsabstand versteht man nämlich die Entfernung, bei der die Messwerte gleich dem entsprechenden Expositionsgrenzwert der Hornhaut des Auges ist, und außerhalb dessen mit keiner direkten Gefährdung durch Laserstrahlung zu rechnen ist.

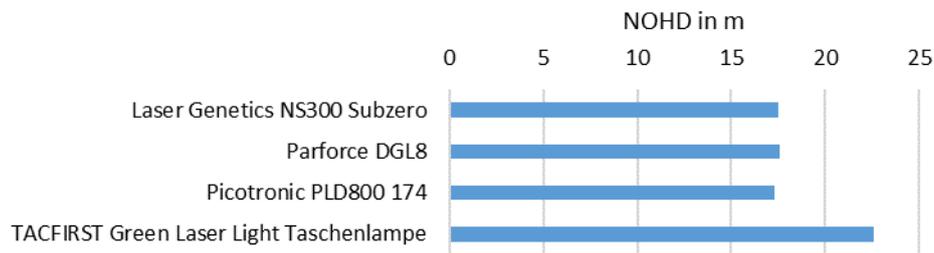


Abbildung 7.9 Augen-Sicherheitsabstände der gemessenen Laser-Taschenlampen

Bei Lasersystemen der Laserklasse 2M müssen Warn- und Hinweisschilder auf den Geräten angebracht werden. Das Hinweisschild muss neben der Laserklasse noch Informationen über die maximale Ausgangsleistung, die Impulsdauer (falls zutreffend) und die Wellenlänge der emittierten Strahlung enthalten.

In der Tabelle 7.9 sind die auf den Geräten angebrachten Kennzeichnungen mit den Ergebnissen der Messung gegenübergestellt. Bei allen vier untersuchten Lasertaschenlampen entspricht die deklarierte Laserklasse (2M) und die Ausgangsleistung liegt unterhalb oder entspricht der deklarierten Laserleistung. Die gemessene Wellenlänge unterscheidet sich um bis zu 10 nm von der deklarierten Wellenlänge.

Die korrekte Wellenlänge der Laserstrahlung ist für den Schutz vor Laserstrahlung wichtig. Beispielsweise können bei der Auswahl von geeigneten Laserschutzbrillen schon wenige Nanometer Unterschied in der Wellenlänge bereits zu einer potenziellen Gefährdung führen.

Tabelle 7.9 Gegenüberstellung der deklarierten mit den gemessenen von der Lasersicherheitsnorm EN 60825-1:2014 geforderten Informationen bei Lasertaschenlampen der Laserklasse 2M

Gerät	Deklariert			Gemessen		
	λ (nm)	Laserklasse	P (mW)	λ (nm)	Laserklasse	P (mW)
NS300 Subzero	520	2M	≤ 1	523	2M	0,95
Parforce DGL8	520	2M	≤ 8	510	2M	0,92
Picotronic PLD800	520	2M	≤ 8	517	2M	0,88
Tacfirst Green Laser	520	2M	≤ 8	511	2M	1,00

Die vermessenen Lasertaschenlampen sind bis auf die Abweichung in der deklarierten Wellenlänge weitestgehend korrekt bezeichnet. Die Systeme sind in die Laserklasse 2M einzustufen, diese Laserklasse beschreibt Lasersysteme, die bei kurzzeitiger Exposition für das bloße Auge ungefährlich sind. Für den Fall, dass optisch sammelnde Instrumente (Ferngläser, Teleskope) verwendet werden, können vergleichbare Gefährdungen wie bei den Laserklasse 3R und 3B auftreten.

Bei der Lasertaschenlampe Parforce DGL8 liegt keine Bedienungsanleitung bei. Hierdurch fehlen Sicherheitsinformationen für den korrekten Betrieb des Klasse 2M Lasersystems. Eine Bedienungsanleitung mit Sicherheitsinformationen lässt sich online finden.

Die Lasertaschenlampen werden unter anderem als Jagdausrüstung beworben. In diesem Umfeld ist die Verwendung von Ferngläsern üblich, hierdurch entsteht eine potenzielle Gefahrenquelle. Selbst unbeabsichtigtes kurzfristiges Bestrahlen kann bei Verwendung von Ferngläsern zu einer Augenverletzung durch die Laserstrahlung führen.

Aufgrund der Breite des stark aufgeweiteten Laserstrahls kam bei Beginn des Projektes die Diskussion auf, die Laser-Taschenlampen nach der DIN EN 62471 für inkohärente Lichtquellen beurteilt werden können und inwiefern dabei die Ergebnisse vergleichbar sind.

Die Abbildung des Lichtpunktes ist, wenn auf diesen fokussiert wird, sehr klein und füllt weniger als ein einzelnes Pixel der orts aufgelösten Leuchtdichtekamera aus. Da der Leuchtdichtewert eines Pixels einen Mittelwert über den Raumwinkel darstellt und es nicht bekannt ist, wie vollständig und homogen dieser Pixel ausgeleuchtet wird, ist der angezeigte Leuchtdichtewert nicht vertrauenswürdig. Prinzipiell ist der Fall einer kleinen Lichtquelle mit $\alpha < 0,011$ Radiant in der Norm vorgesehen, der in diesem Fall auch anzuwenden wäre. Die entscheidende Messgröße wäre hier die Bestrahlungsstärke, die aber bei diesen Taschenlampen so gering ist, dass sie alle in die Freie Gruppe RG0) fallen würden.

Dies kann jedoch nicht zutreffen. Der direkte Blick in Taschenlampe mit kombiniert zwei Neutralglasfiltern (ND1 und ND3) mit einer Intensitätsdämpfung von ca. 10.000 hat eine sofortige Abwendreaktion ausgelöst, während die Verwendung von ND2 und ND3, also einer Dämpfung von 100.000, immer noch als sehr hell empfunden wurde. Das lässt darauf schließen, dass die verwendete Messmethode nach DIN EN 62471 nicht die richtige ist, um die Laser-Taschenlampen bezüglich ihrer Gefährlichkeit einzustufen.

7.4 Laserpointer

Als Übersicht der auf dem Markt vorhandenen Laserpointer (LP), wurden im Rahmen des Projektes zehn Laserpointer vermessen und bewertet. Acht der Laserpointer emittieren grünes Laserlicht, die übrigen zwei Laserpointer blaues oder violette Laserlicht.

Die meisten der Laserpointer erinnern von den äußeren Abmessungen her an Stifte, nur die beiden Laserpointer *Professioneller Grüner LP G2* und *405 LP Pen Laser 303* sind merklich dicker.

In Tabelle 7.10 sind die jeweils gemessenen Laserleistungen den berechneten Grenzwerten der zugänglichen Strahlung gegenübergestellt. Es ist jeweils nur der kleinste nicht überschrittene Grenzwert angegeben. Die Laserleistung ist bei allen Laserpointern nur nach Bedingung 3 bestimmt worden, auf eine Bewertung nach Bedingung 1 kann aufgrund des geringen Stahlquerschnittes verzichtet werden.

Tabelle 7.10 Vergleich der Laserleistung der Laserpointer mit den Grenzwerten der niedrigsten nicht überschrittenen Laserklasse

Gerät	Laserklasse	Farbe	Grenzwert	Messwert
Hama Profi LP11	2	Grün	1 mW	0,66 mW
GeneralKey Grüner LP	2		1 mW	0,72 mW
Legamaster LX3 LP	2		1 mW	0,78 mW
Laserliner LP Business Green	2		1 mW	0,54 mW
Conrad LP Grün und Rot	2		1 mW	0,75 mW ¹
Laserpointeronline.de Professioneller Grüner LP G2	3B		500 mW	67,9 mW ²
Laser Components Laco 532	2		1 mW	0,81 mW
Wedo Grüner LP	2		1 mW	0,56 mW
eBay 405 LP Pen Laser 303	3B	Blau	500 mW	51,3 mW
eBay 405nm LP Pen	3B		500 mW	44,2 mW

¹Der Laser emittiert Laserstrahlung bei 652 nm und 532 nm, der Messwert beschreibt die addierten Leistungen beider Wellenlängen.

²Neben der frequenzverdoppelten Laserstrahlung bei 532 nm wird auch noch 6,7 mW Laserstrahlung der Grundwellenlänge von 1064 nm emittiert. Die Leistung dieser Laserstrahlung liegt innerhalb des GZS der Laserklasse 3R.

Die beiden Laserpointer bei 405 nm und der Professionelle Grüne LP G2 emittieren Laserstrahlung welche geringer als der GZS für die Laserklasse 3B sind. Die abgestrahlte Laserstrahlleistung erfüllt damit die Bedingungen der Laserklasse 3B. Die anderen Laserpointer emittieren Laserstrahlung unterhalb des GZS für die Laserklasse 2 und können entsprechend der Laserklasse 2 zugeordnet werden.

Die Augen-Sicherheitsabstände einzelner Laserpointer sind in der Abbildung 7.10 dargestellt. Laserpointer, die der Laserklasse 2 zuzuordnen sind, benötigen einen Sicherheitsabstand im Bereich zwischen 10 und 30 m. Dadurch sind sie auch in Alltagssituationen, beispielsweise bei Präsentationen in kleineren Besprechungsräumen, potenziell gefährlich. Laserpointer der Klasse 3B weisen im Vergleich dazu viel höhere Sicherheitsabstände auf. So liegen die Abstände für die Laserpointer von Laserpointeronline bzw. der auf eBay gekaufte Pointer Pen Laser 303 bei 209 m bzw. 231 m; für den zweiten Pointer Pen bei 767 m. Solche Produkte sind als hoch gefährlich anzusehen.

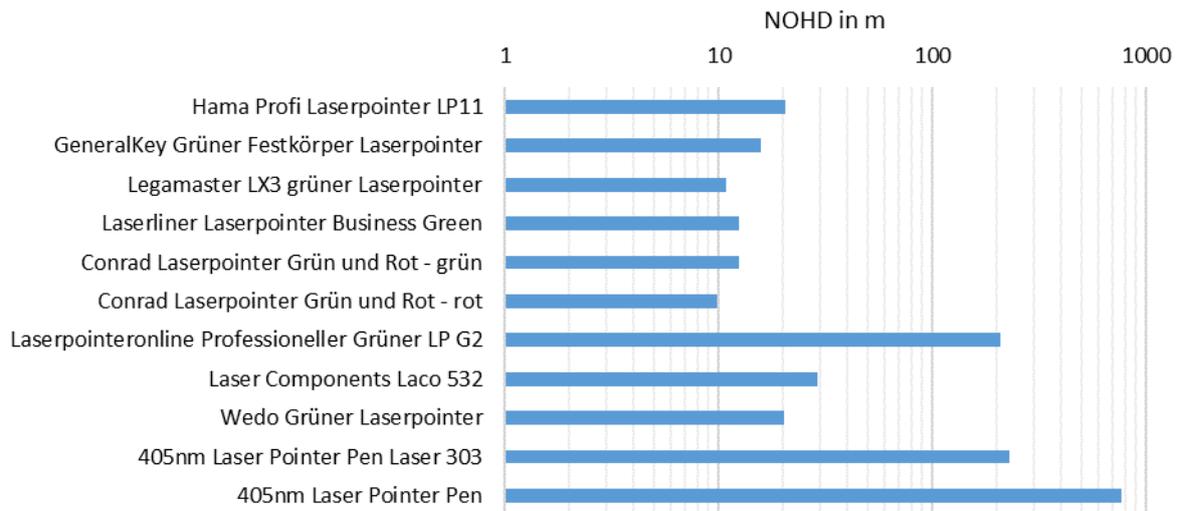


Abbildung 7.10 Augen-Sicherheitsabstände der untersuchten Laserpointer

Bei den Lasersystemen der Klasse 2 müssen Warn- und Hinweisschilder auf den Geräten angebracht werden. Das Hinweisschild muss neben der Laserklasse noch Informationen über die maximale Ausgangsleistung, die Impulsdauer (falls zutreffend) und die Wellenlänge der emittierten Strahlung enthalten.

In Tabelle 7.11 sind die auf den Geräten angebrachten Kennzeichnungen mit den Ergebnissen der Messung verglichen. Bei den Laserpointern der Laserklasse 2 entspricht die deklarierte der gemessenen Laserklasse und die Ausgangsleistung liegt unterhalb der deklarierten Laserleistung. Die gemessene Wellenlänge unterscheidet sich um bis zu 8 nm von der deklarierten Wellenlänge.

Tabelle 7.11 Gegenüberstellung der deklarierten mit den gemessenen von der Lasersicherheitsnorm EN 60825-1:2014 geforderten Informationen für Laserpointer der Laserklasse 2

Gerät	Deklariert			Gemessen		
	λ (nm)	Laserklasse	P (mW)	λ (nm)	Laserklasse	P (mW)
Hama Profi LP11	540	2	< 1	532	2	0,66
GeneralKey Grüner LP	532	2	< 1	532	2	0,72
Legamaster LX3 LP	532	2	≤ 1	532	2	0,78
Laserline LP Business Green	532	2	≤ 1	532	2	0,54
Conrad LP Grün und Rot	630–680; 532	2	1	652; 532	2	0,75
Laser Components Laco 532	532	2	< 1	532	2	0,81
Wedo Grüner LP	532 \pm 10	2	< 1	532	2	0,56

Die Lasersysteme der Klasse 3B müssen neben den Warn- und Hinweisschildern noch Schlüsselschalter, einen Strahlabschwächer, eine Markierung der Strahlaustrittöffnung und eine Emissions-Warneinrichtung besitzen.

In Tabelle 7.12 sind die auf den Geräten angebrachten Kennzeichnungen mit den Ergebnissen der Messung verglichen. Bei den Laserpointern der Laserklasse 3B gibt es eine starke Diskrepanz zwischen den deklarierten und den gemessenen Werten. Die zusätzlichen Anforderungen an Lasersysteme der Klasse 3B werden von keinem Gerät vollständig erfüllt.

Tabelle 7.12 Gegenüberstellung der deklarierten mit den gemessenen von der Lasersicherheitsnorm EN 60825-1:2014 geforderten Informationen für Laserpointer der Laserklasse 3B

Gerät	Deklariert			Gemessen			Anforderungen Laserklasse 3B			
	λ (nm)	LK	P (mW)	λ (nm)	LK	P (mW)	Schlüsselschalter	Strahlabschwächer	Emissionswarneinricht.	Markierung Strahlaustritt
Laserpointeronline.de Professioneller Grüner G2	-	-	-	532 ¹	3B	67,9	Nein	Nein	Nein	Nein
eBay 405 LP Pen Laser 303	405 ± 10	2	< 1	407	3B	51,3	Ja	Ja	Nein	Ja
eBay 405nm LP Pen	405 ± 10	3R	< 5	404	3B	44,2	Nein	Nein	Nein	Ja

¹Der Laser emittiert auch Strahlung mit einer Leistung von 6,7 mW bei 1064 nm.

Die Laserpointer der Laserklasse 2 sind bis auf die 8 nm Abweichung in der Wellenlänge des Hama Profi LP11 korrekt bezeichnet. Bei Lasersystemen der Klasse 2 ist die Strahlung bei einer kurzzeitigen Expositionszeit von 0,25 s ungefährlich für das Auge. Ein länger andauernder direkter Blick in den Strahl kann gefährlich für das Auge sein.

Bei den Laserpointern der Klasse 3B sind ein großer Teil der geforderten Hinweis- und Warnschilder nicht vorhanden oder fehlerhaft. Eine Emissions-Warneinrichtung hat keines der drei Systeme und einen Schlüsselschalter und Strahlabschwächer besitzt nur der eBay 405 LP Pen Laser 303. Eine Markierung der Strahlaustrittöffnung haben der eBay 405 LP Pen Laser 303 und eBay 405nm LP Pen. Lasersysteme der Klasse 3B stellen selbst bei einem kurzen Blick eine Gefahr für das Auge dar und sollten keinesfalls von Personen ohne das nötige Fachwissen verwendet werden.

7.5 Laser für Lichteffekte

Im Rahmen des Projekts wurden fünf Lasersysteme vermessen, welche vornehmlich für Lichteffekte eingesetzt werden.

Die beiden Systeme *Laserworld GS200RG* und *Lunartec LaserProjektor* werden für eine Projektion im Außenbereich beworben. Die Systeme emittieren je nach Betriebsmodus stehende oder bewegte rote und grüne Punktmuster. Der *Ibiza Mini Laser Firefly* emittiert ebenfalls bewegte Punktmuster, ist allerdings nicht für den Einsatz im Außenbereich ausgelegt. Die beiden Systeme *Beamz Prospero Laser Blue* und *Stairville DJ Laser 400-B Blue DMX* sind mit einem Laser-Scannersystem ausgestattet und können damit Formen und Muster projizieren.

Die Bewertung erfolgt bei möglichst stehendem Laserstrahl mit maximaler Ausgangsleistung. Ohne Werkzeug entfernbare Abdeckungen werden entfernt.

Aufgrund des Strahlquerschnittes von unter 7 mm kann auf eine Bewertung nach Bedingung 1 bei allen Systemen verzichtet werden.

In Tabelle 7.13 sind die jeweils gemessenen Laserleistungen den berechneten Grenzwerten der zugänglichen Strahlung gegenübergestellt. Es ist jeweils nur der kleinste nicht überschrittene Grenzwert angegeben.

Tabelle 7.13 Vergleich der Laserleistung der Laser für Lichteffekte mit den Grenzwerten der niedrigsten nicht überschrittenen Laserklasse

Gerät	Laserklasse	Grenzwert		Messwert
Laserworld GS200RG	3R	532 nm	14,6 nJ	3,28 nJ
		663 nm	5 mW	1,66 mW
		1064 nm	10 mW	0,89 mW
Lunartec LaserProjektor	3R	532 nm	16,4 µJ	3,46 µJ
		661 nm	5 mW	3,16 mW
		1064 nm	10 mW	0,28 mW
Ibiza Mini Laser Firefly	2	532 nm	1 mW	0,37 mW
		663 nm	3,2 mW	0,67 mW
Beamz Prospero Laser Blue	3B	500 mW		103 mW
Stairville DJ Laser 400-B blue DMX	3B	500 mW		408 mW

Die beiden Systeme Laserworld GS200RG und Lunartec LaserProjektor emittieren Laserstrahlung bei 532, 661/3 und 1064 nm. Die Laserstrahlung überschreitet den Grenzwert der Laserklasse 2, die Systeme werden deshalb in die Laserklasse 3R eingestuft.

Der Ibiza Mini Laser Firefly emittiert Laserstrahlung bei 532 nm und 663 nm, welche kombiniert den Grenzwert der Laserklasse 1 überschreitet. Das System wird deshalb in die Laserklasse 2 eingestuft.

Die beiden Systeme Beamz Prospero Laser Blue und Stairville DJ Laser 400-B blue DMX emittieren Laserstrahlung welche innerhalb des Grenzwertes für die Laserklasse 3B sind. Die beiden Geräte werden in die Klasse 3B eingestuft.

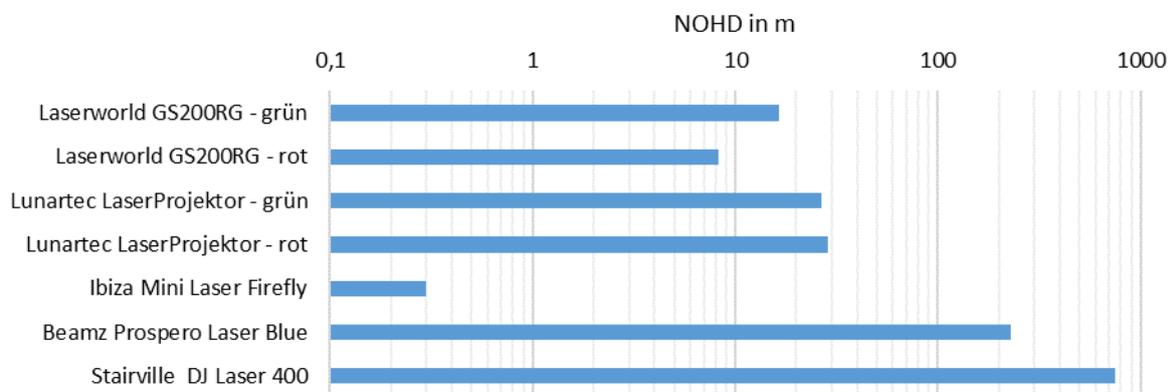


Abbildung 7.11 Augen-Sicherheitsabstände für Lichteffekte

Die Augen-Sicherheitsabstände einzelner Laser für Lichteffekte sind in der Abbildung 7.11 dargestellt. Lichteffekte mit Leistungen im Bereich weniger Milliwatt benötigen einen Sicherheitsabstand im Bereich zwischen 8 und 30 m. Der Ibiza Mini Laser Firefly weist einen Abstand von 0,3 m auf. Beamz Prospero Laser Blue und Stairville DJ Laser 400-B, die mit höheren Leistungen operieren, weisen Sicherheitsabstände von 230 m bzw. 750 m auf und sollten daher mit größter Vorsicht betrieben werden.

Bei den Lasersystemen der Klasse 2 müssen Warn- und Hinweisschilder auf den Geräten angebracht werden. Das Hinweisschild muss neben der Laserklasse noch Informationen über die maximale Ausgangsleistung, die Impulsdauer (falls zutreffend) und die Wellenlänge der emittierten Strahlung enthalten. Lasersysteme der Klasse 3R müssen neben den Warn- und Hinweisschildern noch eine Kennzeichnung der Strahlaustrittsöffnung und eine Emissions-Warneinrichtung besitzen. Bei den beiden getesteten Geräten können die Emissions-Warneinrichtungen allerdings entfallen, da die Systeme sichtbare Laserstrahlung emittieren.

Tabelle 7.14 Gegenüberstellung der deklarierten mit den gemessenen von der Lasersicherheitsnorm EN 60825-1:2014 geforderten Informationen bei Laser für Lichteffekte der Klasse 2 und 3R

Gerät	Deklariert			Gemessen			Markierung Strahlaustritt
	λ (nm)	Laserklasse	P (mW)	λ (nm)	Laserklasse	P (mW)	
Laserworld GS200RG	532	3R	≤ 1	532	3R	4,32	JA
	655			663		1,66	
				1064		0,89	
Lunartec Laser-Projektor	532	2	≤ 1	532	3R	1,42	JA
	655			661		3,16	
				1064		0,28	
Ibiza Mini Laser Firefly	532	2	≤ 1	532	2	0,37	JA
	662			663		0,67	

Die Lasersysteme der Klasse 3B müssen neben den Warn- und Hinweisschildern, der Emissions-Warneinrichtung und der Markierung des Strahlaustritts noch einen Schlüsselschalter, einen Strahlabschwächer und einen Fernbedienungsanschluss besitzen.

Tabelle 7.15 Gegenüberstellung der deklarierten mit den gemessenen von der Lasersicherheitsnorm EN 60825-1:2014 geforderten Informationen bei Laser für Lichteffekte der Klasse 3B

	Deklariert			Gemessen			Anforderungen Laserklasse 3B				
	λ (nm)	LK	P (mW)	λ (nm)	LK	P (mW)	Schlüsselschalter	Strahlabschwächer	Emissions-Warneinr.	Markier. Strahlaust.	Fernbed.-anschluss
Beamz Prospero Laser Blue	blau	3B	150	451	3B	103	JA	JA	JA	JA	JA
Stairville DJ Laser 400-B blue DMX	450	3B	400	442	3B	408	JA	JA	JA	JA	JA

Der Laserworld GS200RG ist nicht korrekt ausgezeichnet, die maximale Ausgangsleistung ist mit ≤ 1 mW angegeben, gemessen wurden maximal 4,32 mW. Der Lunartec LaserProjektor ist ebenfalls nicht korrekt ausgezeichnet. Deklariert ist er als Laserklasse 2, gemessen wurde Laserklasse 3R und die Ausgangsleistung ist mit maximal 3,16 mW auch größer als die angegebene von ≤ 1 mW. Bei beiden Systemen ist die Wellenlänge der roten Laseremission nicht korrekt deklariert und hat eine Abweichung von 6 und 8 nm. Die emittierte Strahlung ist bei Systemen der Laserklasse 3R für das Auge gefährlich, die Systeme sollten nur dann eingesetzt werden, wenn ein direkter Blick in der Laserstrahl unwahrscheinlich ist. Aufgrund der typischen Anwendung der beiden Systeme, das Projizieren von Punktmustern außerhalb geschlossener Räume, geht eine potentielle Gefahr von den beiden Systemen aus.

Der Ibiza Mini Laser Firefly ist korrekt deklariert, die Warn- und Hinweisschilder enthalten alle geforderten Informationen. Der Ibiza Mini Laser Firefly ist in der Laserklasse 2 und bei einer kurzzeitigen Expositionszeit von 0,25 s aufgrund der natürlichen Abwendreaktion ungefährlich für das Auge. Ein länger andauernder direkter Blick in den Strahl kann gefährlich für das Auge sein.

Der Beamz Prospero Laser Blue und der Starville DJ Laser 400-B blue DMX sind bis auf die Angabe der Laserwellenlänge korrekt ausgezeichnet. Beim Beamz fehlt die Angabe komplett, beim Starville gibt es eine Abweichung von 8 nm. Die maximale Ausgangsleistung liegt beim Starville innerhalb der Messunsicherheit des Leistungsmessgerätes. Beide Systeme sind in die Laserklasse 3B einzustufen und stellen selbst bei einem kurzen Blick eine Gefahr für das Auge dar, sie sollten keinesfalls von Personen ohne das nötige Fachwissen verwendet werden.

7.6 Lasermesssysteme

Im Rahmen des Projekts werden vier Lasermesssysteme vermessen, zwei selbstnivellierende Linienlaser und zwei Entfernungsmesser. Die Linienlaser werden typischerweise zum Projizieren von Linien in Innenräumen eingesetzt, sie emittieren eine vertikale Linie und einen horizontalen Ring. Die Bewertung der Laserleistung erfolgt im Kreuzungspunkt der beiden Linien. Die Entfernungsmesser werden zum Messen von Distanzen sowohl im Freien wie auch in Innenräumen verwendet.

In Tabelle 7.16 sind die jeweils gemessenen Pulsenergien oder Laserleistungen den berechneten Grenzwerten der zugänglichen Strahlung gegenübergestellt. Es ist jeweils nur der kleinste nicht überschrittene Grenzwert angegeben.

Die Laserleistung/Pulsenergie ist bei den beiden Linienlasern aufgrund der großen Strahldivergenz nur nach Bedingung 3 bestimmt worden (siehe Abschnitt 6.2.1).

Wegen des Strahlquerschnittes von unter 7 mm kann beim *Floureon Distanzmessgerät 0,0580m* auf eine Bewertung nach Bedingung 1 verzichtet werden.

Die Messung und Bewertung beim *Zavariu Laser Entfernungsmesser 6x21* erfolgt nach Bedingung 1 und Bedingung 3.

Tabelle 7.16 Vergleich der Laserleistung und Pulsenergie bei den Lasermesssystemen mit den Grenzwerten der niedrigsten nicht überschrittenen Laserklasse

Gerät	Laserklasse	Grenzwert	Messwert	
Tacklife SC L03	1	Linienlaser	120 nJ	37,4 nJ
		Ringlaser	175 nJ	39,3 nJ
Bosch PLL360	1	Linienlaser	1,9 mW	0,09 mW
		Ringlaser	1,6 mW	0,22 mW
Floureon Distanz- messgerät 0,0580m	3R		5 mW	2,24 mW
Zavarius Laser Ent- fernungsmesser 6x21	3R	Bed. 1	2,23 µJ	0,55 µJ
		Bed. 3	1,68 µJ	1,57 µJ

Die beiden Linienlaser emittieren Laserstrahlung, welche unterhalb des GZS für die Laserklasse 1 liegt und können der Laserklasse 1 zugeordnet werden. Die Hersteller klassifizieren die Linienlaser jedoch als Laserklasse 2, dies kann aufgrund von potentiellen Fehlerquellen der Geräte aber korrekt oder sogar notwendig sein.

Die beiden Entfernungsmesser emittieren Laserlicht unterhalb des GZS für die Laserklasse 3R und können der Laserklasse 3R zugeordnet werden.

Bei den Lasersystemen der Klasse 2 müssen Warn- und Hinweisschilder auf den Geräten angebracht werden. Das Hinweisschild muss neben der Laserklasse noch Informationen über die maximale Ausgangsleistung, die Impulsdauer (falls zutreffend) und die Wellenlänge der emittierten Strahlung enthalten. Lasersysteme der Klasse 3R müssen neben den Warn- und Hinweisschildern noch eine Emissions-Warneinrichtung und eine Markierung der Laseraustrittsöffnung besitzen. Bei den beiden getesteten Geräten können diese Emissions-Warneinrichtungen allerdings entfallen, da der handgeführte Zavarius Laser Entfernungsmesser 6x21 nur bei Betätigung eines Tastschalters und das Floureon Distanzmessgerät 0,0580m sichtbare Laserstrahlung bei 637 nm emittiert. Bei dem Floureon Distanzmessgerät 0,0580m ist die Laseraustrittsöffnung gekennzeichnet, der Zavarius Laser Entfernungsmesser 6x21 besitzt keine Markierung der Laseraustrittsöffnung.

In Tabelle 7.17 sind die auf den Geräten angebrachten Kennzeichnungen mit den Ergebnissen der Messung verglichen.

Tabelle 7.17 Gegenüberstellung der deklarierten mit den gemessenen von der Lasersicherheitsnorm EN 60825-1:2014 geforderten Informationen für Lasermesssysteme

Gerät	Deklariert			Gemessen		
	λ (nm)	Laser- klasse	P (mW)	λ (nm)	Laser- klasse	P (mW)
Tacklife SC L03	630 - 670	2	< 1	637 & 640	1	< 1
Bosch PLL360	635	2	< 1	636	1	0,31
Floureon Distanzmessgerät 0,0580m	635	2	< 1	637	3R	2,24
Zavarius Laser Entfernungsmesser 6x21	905	1	< 0,4	894	3R	57 E3 ¹

¹Angegeben ist die Pulsspitzenleistung nach Bedingung 1, die mittlere Leistung beträgt 0,42 mW

Die beiden Linienlasersysteme sind korrekt bezeichnet. Die gemessene Laserstrahlung erfüllt die Bedingungen der Laserklasse 1 und ist ungefährlich für das Auge. Die jeweils deklarierte Laserklasse 2 erscheint unter Einbeziehung der Einfehlersicherheit realistisch.

Die beiden Laserentfernungsmessgeräte sind falsch deklariert. Das Floureon Distanzmessgerät 0,0580m ist als Laserklasse 2 deklariert, der Zavarius Laser Entfernungsmesser 6x21 als Laserklasse 1, korrekt ist bei beiden Systemen die Laserklasse 3R. Die emittierte Strahlung ist bei Systemen der Laserklasse 3R für das Auge gefährlich, die Systeme sollten nur dann eingesetzt werden, wenn ein direkter Blick in den Laserstrahl unwahrscheinlich ist. Aufgrund der typischen Anwendung der beiden Systeme, das Messen außerhalb geschlossener Räume, geht eine potentielle Gefahr von den beiden Laserentfernungsmessgeräten aus.

7.7 Sonstige Laserprodukte

Es wurden im Rahmen des Projektes noch fünf weitere Lasersysteme vermessen und bewertet die in keine der vorhergehenden Kategorien passen. Im Einzelnen sind dies:

- Laserbeamer: LG HF80JGGL
- Lasertag: Jamara Impulse Laser Gun Battle Set
- Verspannungslösung: Medical Quant Soft Laser Kombigerät Handy Cure S
- Haarwuchs: Forever25 Vibro Massage Laser Kamm
- Lasermarkierer: Neje DK8KZ R8E6

Der Laserbeamer LG HF80JGGL ist ein Datenprojektor der anstelle einer normalen Lampe eine Laserquelle zur Lichterzeugung nutzt. In Tabelle 7.18 ist die gemessene Pulsenergie dem berechneten Grenzwerten der zugänglichen Strahlung gegenübergestellt. Es ist nur der kleinste nicht überschrittene Grenzwert angegeben. Da der Laserbeamer in Innenräumen eingesetzt wird, kann auf eine Bewertung nach Bedingung 1 verzichtet werden.

Tabelle 7.18 Vergleich der der Pulsenergie beim LG HF80JGGL mit den Grenzwerten der niedrigsten nicht überschrittenen Laserklasse

Gerät	Laserklasse	Grenzwert	Messwert	Δ
LG HF80JGGL	3R	20,8 μJ	17,1 μJ	82 %

Bei dem Laserbeamer wird die Laserstrahlung nur als konventionelle Lampe eingesetzt. Die Lasernorm EN 60825-1:2014 bietet die Möglichkeit solche Produkte alternativ nach der Norm IEC 62471 (Photobiologische Sicherheit der Lampen) zu bewerten. Damit ein Lasersystem als Lampe bewertet werden kann, müssen mehrere Bedingungen erfüllt werden. Die Winkelausdehnung der Quelle in einem Abstand von 200 mm muss größer als 5 mrad sein und die emittierte Strahlung darf eine bestimmte Strahldichte nicht überschreiten. Beide Kriterien werden von dem System erfüllt, damit darf die abgegebene Laserstrahlung nach IEC 62471 bewertet werden.

Tabelle 7.19 Gegenüberstellung der deklarierten mit den gemessenen von der Lasersicherheitsnorm EN 60825-1:2014 geforderten Informationen

Gerät	Deklariert			Gemessen		
	λ (nm)	Laserklasse	Risikogruppe ¹	λ (nm)	Laserklasse	Risikogruppe
LG HF80JGGL	448 - 462	1	2	450 & 455	3R	2

¹Einstufung der Gefährlichkeit nach IEC 62471

Die Einstufung des Laserbeamers als konventionelle Lampe ist korrekt, das System ist als Laserklasse 1 und Risikogruppe 2 deklariert.

Das Lasertag System Jamara Impulse Laser Gun Battle Set besteht aus zwei Pistolenmodellen welche unsichtbare Strahlung emittieren und detektieren. Bei der Vermessung des Jamara Impulse Laser Gun Battle Set zeigt sich, dass das System keine kohärente Laserstrahlung emittiert, sondern inkohärentes Licht. In Tabelle 7.20 ist die gemessene Pulsenergie den berechneten Grenzwerten der zugänglichen Strahlung nach IEC 62471 gegenübergestellt. Es ist nur der kritischste Grenzwert für die Infrarot-Be-strahlung des Auges angegeben.

Tabelle 7.20 Vergleich des Grenzwertes mit der gemessenen Bestrahlungsstärke des Jamara Impuls Laser Gun Battle Set

Gerät	Risikogruppe	Grenzwert	Messwert	Δ
Jamara Impulse Laser Gun Battle Set	freie Gruppe	100 Wm^{-2}	16,6 Wm^{-2}	16,6%

Das Jamara Impulse Laser Gun Battle Set ist in die freie Gruppe nach IEC 62471 einzustufen. Für Strahlungsquellen der freien Gruppe gibt es keine Anforderungen an Hinweisschilder oder ähnliches, das Produkt ist damit korrekt bezeichnet.

Die beiden Systeme Medical Quant Soft Laser Kombigerät Handy Cure S und Forever25 Vibro Massage Laser Kamm sollen für eine selbstangewendete Bestrahlung der Haut eingesetzt werden.

In Tabelle 7.21 sind die jeweils gemessenen Pulsenergien den berechneten Grenzwerten der zugänglichen Strahlung gegenübergestellt. Es ist jeweils nur der kleinste nicht überschrittene Grenzwert angegeben.

Die Pulsenergie ist bei den beiden Systemen aufgrund der großen Strahldivergenz nur nach Bedingung 3 bestimmt worden.

Tabelle 7.21 Vergleich des Grenzwertes mit der Pulsenergie beim Medical Quant Soft Laser und Forever25 Vibro Kamm

Gerät	Laserklasse	Grenzwert	Messwert	Δ
Medical Quant Soft Laser Kombigerät Handy Cure S	1	454 nJ	62 nJ	14 %
Forever25 Vibro Massage Laser Kamm	1	30,8 nJ	2 nJ	7 %

Die emittierte Laserstrahlung der beiden Geräte ist geringer als der GZS der Laserklasse 1. Damit können beide Systeme der Laserklasse 1 zugeordnet werden.

Lasersysteme der Laserklasse 1 müssen nicht mit einem Hinweisschild versehen werden. In der Tabelle 7.22 sind die auf den Geräten angebrachten Kennzeichnungen mit den Ergebnissen der Messung gegenübergestellt.

Tabelle 7.22 Gegenüberstellung der deklarierten mit den gemessenen von der Lasersicherheitsnorm EN 60825-1:2014 geforderten Informationen

Gerät	Deklariert			Gemessen		
	λ (nm)	Laserklasse	P (mW)	λ (nm)	Laserklasse	P (mW)
Medical Quant Soft Laser Kombigerät Handy Cure S	905	1M	0,4 – 6,25	912	1	480
Forever25 Vibro Massage Laser Kamm	650	2	< 1	652 & 655	1	0,79

Bis auf die Abweichung in der Wellenlänge sind die beiden Geräte weitestgehend korrekt bezeichnet. Die deklarierte Laserklasse 1M für das Medical Quant Soft Laser Kombigerät Handy Cure S kann aufgrund einer Klassifizierung nach der Norm 60825-1:2007 kommen (die Version/Jahr der verwendeten Norm ist nicht angegeben). Die deklarierte Laserklasse 2 erscheint für den Forever25 Vibro Massage Laser Kamm unter Einbeziehung der Einfehlersicherheit realistisch. Die gemessene Laserstrahlung beider Systeme erfüllt die Bedingungen der Laserklasse 1 und ist ungefährlich für das Auge.

Der Neje DK8KZ R8E6 ist ein Beschriftungslaser, mit dem sich beispielsweise Papier beschriften lässt. In Tabelle 7.23 sind die jeweils gemessenen Pulsenergien den berechneten Grenzwerten der zugänglichen Strahlung gegenübergestellt.

Tabelle 7.23 Vergleich des Grenzwertes mit der Pulsenergie beim Neje DK8KZ R8E6

Gerät	Laserklasse	Grenzwert	Messwert
Neje DK8KZ R8E6	4	> 11,6 mJ	11,8 mJ

Die emittierte Laserstrahlung des Systems ist inklusive Messunsicherheit größer als der Grenzwert für die Laserklasse 3B. Damit kann der Neje DK8KZ R8E6 nicht mit Sicherheit der Laserklasse 3B zugeordnet werden und wird deshalb in die Laserklasse 4 eingestuft.

Lasersysteme der Klasse 4 müssen Warn- und Hinweisschildern, eine Emissions-Warkeinrichtung, eine Markierung des Strahlaustritts, einen Schlüsselschalter, einen Strahlabschwächer und einen Fernbedienungsanschluss besitzen.

Tabelle 7.24 Gegenüberstellung der deklarierten mit den gemessenen von der Lasersicherheitsnorm EN 60825-1:2014 geforderten Informationen bei Lasern der Klasse 4

Gerät	Deklariert			Gemessen			Anforderungen Laserklasse 4					
	λ (nm)	LK	P (W)	λ (nm)	LK	P (W)	Warn- /Hin- weis- schilder	Schlüs- selschal- ter	Strahlab- schwä- cher	Emissions- Warnein- richtung.	Markier. Strahl- aust.	Fernbed.- anschluss
Neje DK8KZ R8E6	405	-	1	408	4	544	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN

Der Beschriftungslaser Neje DK8KZ R8E6 ist nicht korrekt beschriftet. Die zusätzlichen Anforderungen an Laser der Klasse 4 werden nicht erfüllt. Das System macht den Eindruck eines Prototyps ohne Beachtung des Laserschutzes. Von dem Gerät geht eine potenzielle Gefahr von Augen und Hautverletzungen aus.

8 Blendungsbewertung

Im Folgenden soll an ausgewählten Beispielen die Beurteilung der Messobjekte in Bezug auf die Blendung untersucht werden. So werden die Fahrradlichter hinsichtlich der psychologischen und physiologischen Blendung in einer beispielhaften Verkehrssituation betrachtet. Die Blendung durch die untersuchten Laser wird auf die potentielle Gefährdung der Piloten durch Blendattaken beurteilt, für die es mittlerweile Richtlinien gibt. Durch die Blendattaken auf die Piloten sind natürlich auch die Passagiere und die Menschen am Boden gefährdet. Die Blendsituation lässt sich aber auch ohne weiteres auf den Straßenverkehr übertragen.

8.1 Blendung durch Fahrradlicht

Wie bereits erwähnt, kann eine Gefährdung nicht nur aus einer direkten Schädigung der Augen bestehen. Durch die Blendung, die vor allem in der Dunkelheit von sehr hellen Objekten verursacht wird, wird die Sehleistung gemindert (physiologische Blendung) oder es werden stark unangenehme Empfindungen ausgelöst, die eine Person zu einer Abwendreaktion zwingen (psychologische Blendung). In beiden Fällen können dadurch Hindernisse oder beispielsweise andere Verkehrsteilnehmer nicht erkannt oder übersehen werden, was vor allem im Straßenverkehr regelmäßig zu Unfällen führt.

An einer Beispielszenerie aus dem Straßenverkehr sollen an dieser Stelle die beiden unterschiedlichen Blendungsarten, die durch die im Kapitel 7.1 betrachteten Fahrradlichter verursacht werden, bewertet werden. Es wird die Platzierung des Fahrradlichts am Lenkrad in einem Meter Höhe über dem Boden und der vorschriftsmäßigen Ausrichtung des Lichts für die Berechnungen angenommen. Dabei soll das Maximum der Lichtverteilung in zehn Metern Entfernung auf der halben Höhe, also in diesem Fall 50 cm, liegen. Das Fahrrad wird in unterschiedlichen Entfernungen frontal vor einer Person in verschiedenen Abständen positioniert. Als Augenhöhe sind für die Berechnungen 1,50 m angenommen und dies entspricht in etwa einem entgegenkommenden Passanten oder Fahrradfahrer.

Zur Bewertung der psychologischen Blendung wurde die Formel nach Schmidt-Clausen verwendet, die bereits im Kapitel 4.2 erläutert wurde.

$$W = 5 - 2 \cdot \log \frac{E_B}{0,02 \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{LU}{0,04}}\right) \cdot \Theta^{0,46}}$$

Dazu wurde der Winkel Θ zwischen dem Auge und dem Fahrradlicht berechnet. Unter Berücksichtigung der Neigung des Lichts bei der Montage kann die Lichtstärke für den entsprechenden Winkel aus der gemessenen Lichtverteilung nachgeschlagen werden und mit dem Abstand zum Auge die Beleuchtungsstärke E_B kalkuliert werden. Als Umfeldleuchtdichte wurde für eine eher nächtliche Szenerie 1 cd/m^2 angenommen.

In der Abbildung 8.1 sind die Ergebnisse der Bewertung der psychologischen Blendung auf der de Boer-Skala dargestellt. Dabei entspricht 1 auf der Skala einer Bewertung der Blendung als unerträglich, 3 als störend und 5 als gerade akzeptabel (siehe Tabelle 4.1).

Die beiden Fahrradlichter von Philips und busch+müller, die oberhalb des Lichtstärkemaximums entblendet sind und den Anforderungen der StVZO entsprechen, verursachen für die hier betrachtete Szenerie die geringste Blendung. Die Blendung ist dabei nur für kurze Abstände störend und ist ab ca. 20 m akzeptabel. Die beiden Hochleistungslichter mit einer nicht StVZO-konformen Lichtverteilung verursachen eine sehr starke Blendung. Die Bewertung ist für einen kurzen Abstand unerträglich, die

3 auf der Skala wird erst in ca. 70 m erreicht und akzeptabel wird die Blendung erst in mehreren hundert Meter Entfernung. Das fünfte Licht, das über eBay bezogen wurde, hat die gleiche Lichtverteilung wie die beiden Hochleistungsleuchten, aber nur einen Bruchteil des Lichtstroms. Dadurch verursacht es im Vergleich eine geringere Blendung.

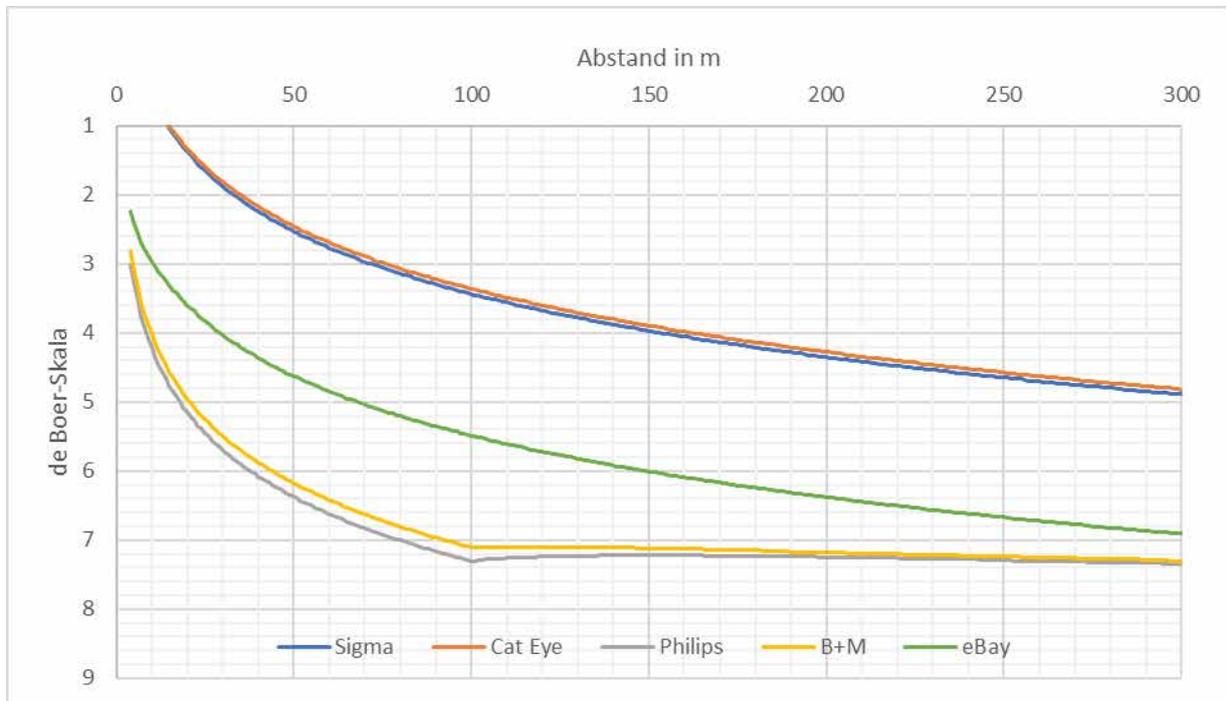


Abbildung 8.1 Blendungsbewertung auf der de Boer-Skala für die gemessenen Fahrradlichter nach der Formel von Schmidt-Clausen

In der vorherigen Betrachtung wurden die Lichter in der maximalen Helligkeitsstufe betrieben, die für das dauerhafte Leuchten möglich war. Dabei weisen die Hochleistungslichter von Sigma und Cat Eye beispielsweise im Vergleich zum Fahrradlicht von Philips einen ca. drei Mal so hohen Lichtstrom auf. Unter der Annahme, dass dem Fahrradfahrer bewusst ist, dass sein Fahrradlicht im Straßenverkehr eine starke Blendung verursacht und er das Licht auf einen zu Philips vergleichbaren Lichtstrom herunterdimmt, ergibt sich eine in der Abbildung 8.2 gezeigte Blendungsbewertung. Dabei reduziert sich zwar die Bewertung auf der de Boer-Skala um einen Punkt, die Leuchte blendet aber immer noch stärker als die Philips-Leuchte mit dem nun vergleichbaren Lichtstrom.

Die physiologische Blendung wird hauptsächlich durch die Schleierleuchtdichte im Auge verursacht, die durch die Streuung des Lichts der Blendquelle im Auge entsteht. Das führt zur Reduzierung der Kontrastwahrnehmung, wodurch die betreffenden Objekte, die ohne Blendung sichtbar wären, nicht mehr erkannt werden. Zugleich kommt es durch die von der Blendquelle erzeugte Beleuchtungsstärke am Auge zu einer lokalen Änderung des Adaptationsniveaus, d.h. die betreffende Stelle auf der Netzhaut wird somit unempfindlicher für Kontraste. Um die entsprechende Kontrastwahrnehmung ohne Blendung wieder zu erreichen, benötigt das Auge eine Readaptationszeit.

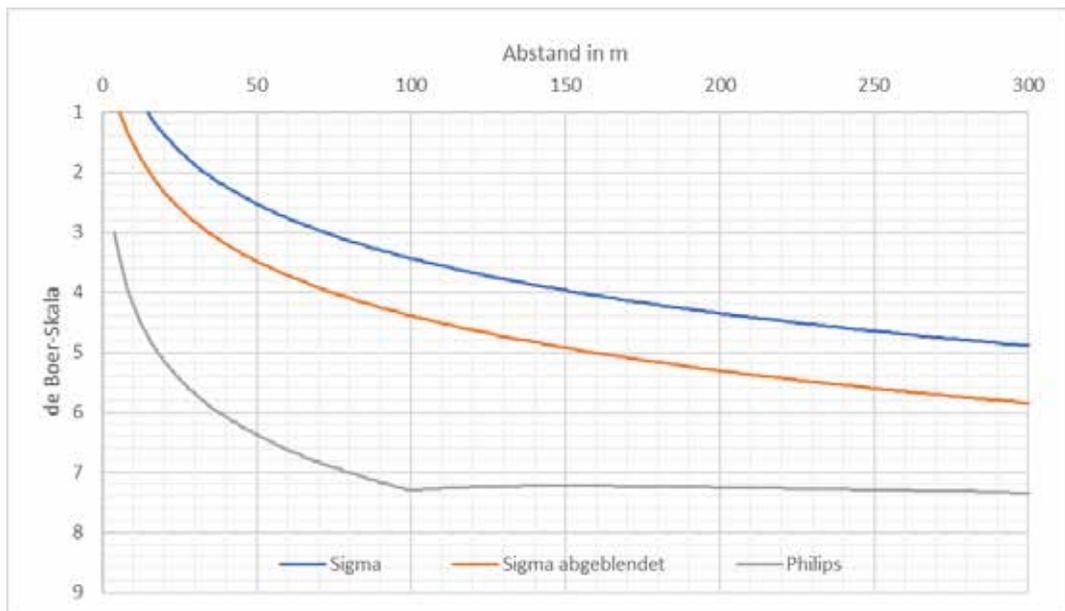


Abbildung 8.2 Blendungsbewertung auf der de Boer-Skala für die Fahrradlichter von Philips und Sigma nach der Formel von Schmidt-Clausen

Die Schleierleuchtdichten, die von den fünf untersuchten Fahrradlichtern verursacht werden, sind für unterschiedliche Abstände zur Blendquelle in der Abbildung 8.3 dargestellt. Diese sind für die gleiche Szenerie, die bei der Bewertung der psychologischen Blendung verwendet wurde, nach der im Kapitel 4.2 vorgestellten CIE-Formel berechnet worden.

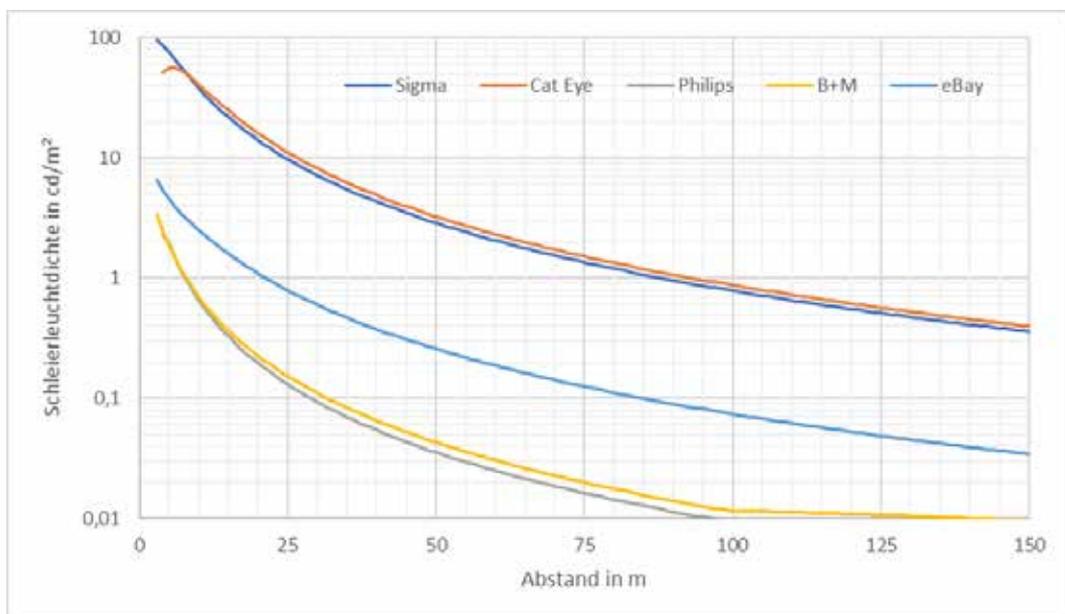


Abbildung 8.3 Durch die charakterisierten Fahrradlichter verursachte Schleierleuchtdichte im Auge

Die beiden entblendeten Fahrradlichter von Philips und B+M verursachen eine Schleierleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ in etwa 30 m Entfernung und erreichen 3 cd/m^2 in 3-4 m. Die Hochleistungsleuchten dagegen müssen für eine Schleierleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ ca. 300 m entfernt sein, erreichen 3 cd/m^2 in 50 m und überschreiten 10 cd/m^2 in 25 m. Dadurch stören sie auch eine viel längere Zeit, da es

entsprechend lange dauert diese Strecken zu überwinden. So dauert es bei einer Geschwindigkeit von 15 km/h ca. 6 Sekunden die 25 m durchzufahren, in denen der Gegenverkehr massiv geblendet ist. Dabei unterscheidet sich der Kurvenverlauf nur unwesentlich von der psychologischen Blendungsbewertung. Die Fahrradlichter von Philips und busch+müller verursachen eine um Größenordnungen geringere Schleierleuchtdichte und ermöglichen dadurch auch eine bessere Erkennbarkeit von möglichen Hindernissen.

Um Objekte mit einer bestimmten Leuchtdichte vor dem Umfeld (in der Nacht typischerweise 0,1 bis 2 cd/m²) erkennen zu können, ist ein Mindestkontrast notwendig. Dadurch, dass die Schleierleuchtdichte im Auge sich zur Leuchtdichte sowohl des Objekts als auch des Umfelds addiert, reduziert sie den retinalen Kontrast. Nimmt folglich das Verhältnis des Kontrastes des Objektes zum Schwellenkontrast als Folge der Gegenwart einer Blendlichtquelle ab, dann wird das Objekt schlechter gesehen und kann vollständig im entstandenen Schleier verschwinden.

Dieser Effekt ist dabei stark altersabhängig. In der Abbildung 8.4 sind die Schleierleuchtdichten für drei verschiedene Altersstufen (15, 45 und 75 Jahre) ähnlich der vorherigen Betrachtung für die Fahrradlichter von Sigma und Philips dargestellt. Während die Verläufe für Personen mit 15 und 45 Jahren sich nur leicht unterscheiden, müssen 75-Jährige im Vergleich dazu eine doppelt so hohe Schleierleuchtdichte in Kauf nehmen.

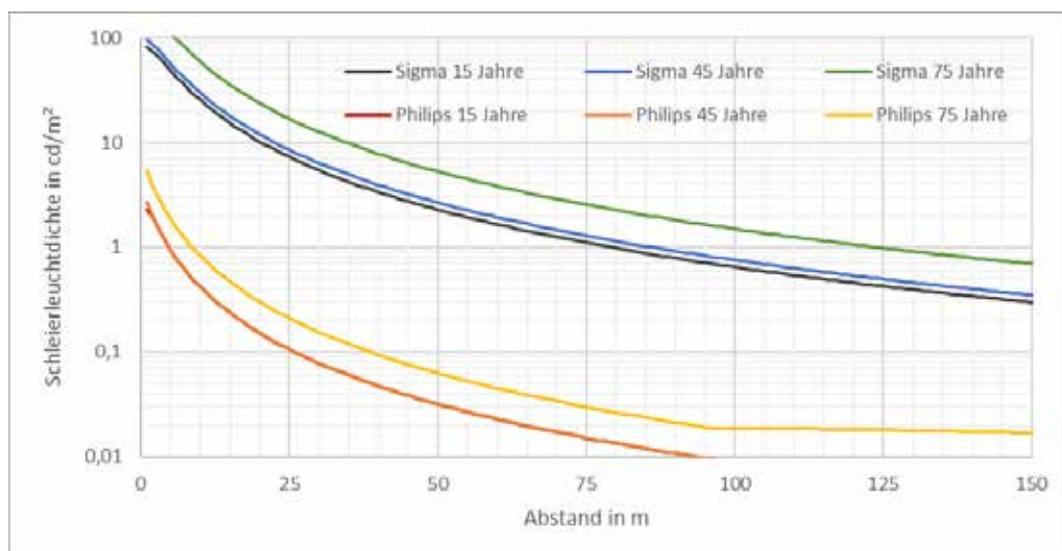


Abbildung 8.4 Durch die Fahrradlichter von Philips und Sigma verursachte Schleierleuchtdichte im Auge für geblendete Person unterschiedlichen Alters

Eine weitere Möglichkeit sich dem Thema der physiologischen Blendung zu nähern, ist Betrachtung der Blitzlichtblindheit, die während der Blendung einsetzt und eine Zeit lang weiter besteht. Dabei wird das Augenbild durch die Phantombilder überlagert, wodurch die Umgebung und mögliche Hindernisse nicht erkannt werden können. Reidenbach hat auf Grundlage von Probandenversuchen mit Blendquellen unterschiedlicher Zusammensetzung und unterschiedlichen Blenddauern folgenden Zusammenhang zwischen der Strahlungsleistung und der Nachbilddauer für die foveale Bestrahlung vorgeschlagen (98):

$$t_{nb} = 50,6 \ln(P \cdot t_{exp}) - 13,4$$

Mit den bereits kalkulierten Beleuchtungsstärken am Auge kann für die untersuchten Fahrradlichter unter der Annahme eines Pupillendurchmessers von 7mm für ein dunkeladaptiertes Auge der ins Auge

auftreffende Lichtstrom bzw. bei bekannten Spektren die Strahlungsleistung P für unterschiedliche Expositionszeiten bestimmt werden (Abbildung 8.5 und Abbildung 8.6).

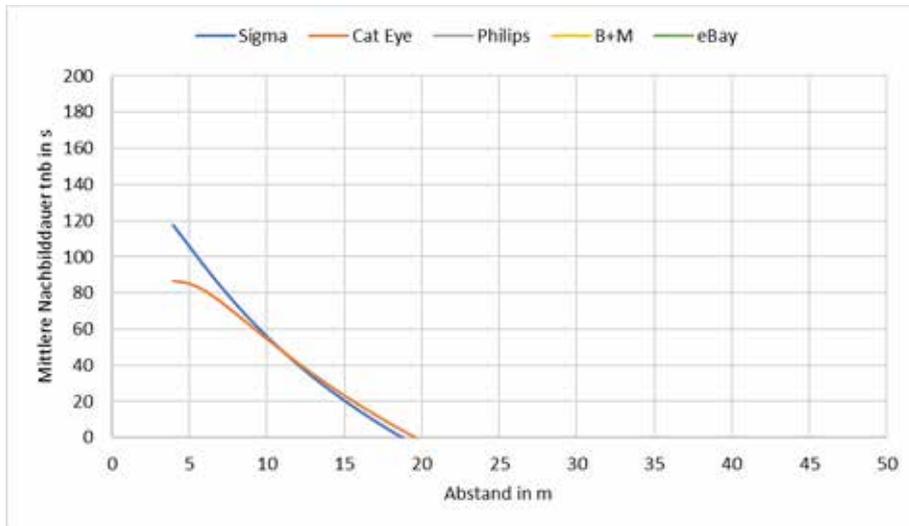


Abbildung 8.5 Nachbilddauer für eine Expositionsdauer von einer Sekunde

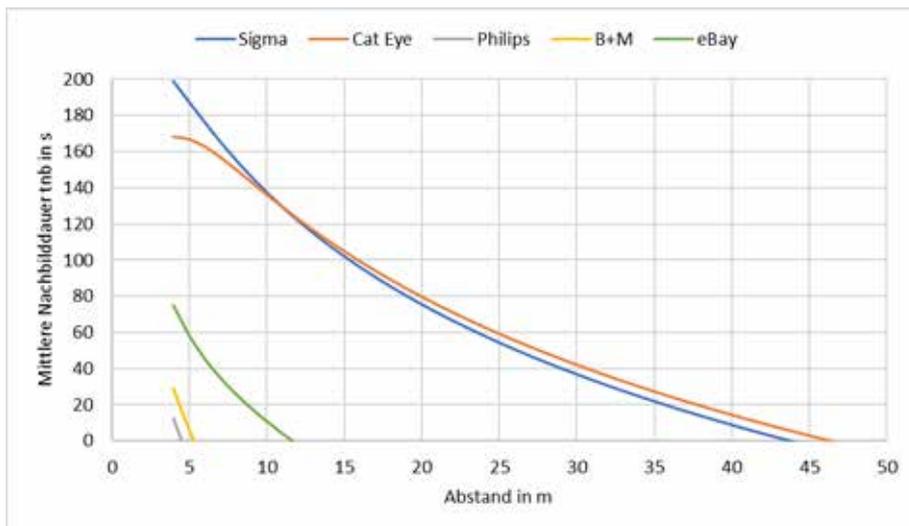


Abbildung 8.6 Nachbilddauer für eine Expositionsdauer von fünf Sekunden

Die negativen Zeiten, die durch die vorliegende Formel für geringe Strahlungsleistungen bei großen Entfernungen von der Quelle möglich sind, werden hier ignoriert. Bei einem Blick von einer Sekunde würde bei den beiden nicht abgeblendeten Fahrradlichtern von Sigma und Cat Eye Nachbilder mit einer Dauer von 20 Sekunden bei einer Entfernung von 15 m, einer Minute bei 10 m und ca. 100 Sekunden bei 5 m. Dabei muss natürlich berücksichtigt werden, dass ein Nachbild nicht über die gesamte Dauer und nicht im gesamten Augenbild andere Objekte unsichtbar macht. Als Orientierung kann hier vielleicht ein Ergebnis von Reidenbach dienen, dass das Lesen ca. ein Zehntel der Nachbilddauer nicht möglich war.

Wenn man die von Reidenbach vorgeschlagenen Blendgruppen auf die hier untersuchten Fahrradlichter anwendet, so würden die Fahrradlichter bei gegebener Geometrie und einer Expositionszeit von einer Sekunde folgendermaßen eingeordnet werden:

Gerät	Blendgruppe	Bezeichnung
Sigma Sport Buster 2000	2	starke Blendung
Cat Eye Volt 1600 HL	2	starke Blendung
Philips SafeRide 80 LED	0	nicht blendend/unkritisch
busch+müller Lumotec IQ-X E 150 Lux	0	nicht blendend/unkritisch
eBay 10000LM 3xXML T6 LED	0	nicht blendend/unkritisch

In Bezug auf psychologische Blendung, wenn die Abbildung 8.5 mit der Abbildung 8.1 verglichen wird, sei hier angemerkt, dass die psychologische Blendung aus dieser Entfernung mit 1 bis 2 auf der De-Boer-Skala zu bewerten ist, also zu „unerträglich“ tendiert. Berücksichtigt man des Weiteren die hohe Schleierleuchtdichte von bis zu 100 cd/m^2 bei einer Umgebungshelligkeit in der Nacht von wenigen cd/m^2 kann davon ausgegangen werden, dass diese beiden Fahrradlichter durch die Blendung nicht nur stören, sondern die geblendete Person je nach Entfernung bis zu 10 Sekunden mögliche Hindernisse nicht mehr wahrnehmen kann. Das würde für einen entgegenkommenden Fahrradfahrer mit einer mittleren Geschwindigkeit von 15 km/h ca. 40 Meter Blindfahrt bedeuten.

Es ist ergänzend anzumerken, dass die StVZO-konformen Fahrradlichter nur bei richtiger Montage einen Vorteil gegenüber den nicht entblendeten Geräten im Straßenverkehr bieten.

8.2 Blendung durch Laserpointer

Im folgenden Abschnitt soll nun auf die Blendung durch Laserpointer eingegangen werden. Besonders kritisch ist dabei die Zunahme der Blendattacken in der Luftfahrt zu sehen, da hier mit besonders großer Gefährdung zu rechnen ist. Die Situation kann dabei aber ebenso auf den normalen Straßenverkehr übertragen werden, wenn mit Laserpointern vom Straßenrand oder einer Autobahnbrücke auf die Autofahrer gezielt wird.

So wurde in den USA die Norm ANSI 136.6 (173) verabschiedet, die auf Untersuchungen der Bundesluftfahrtbehörde FAA basiert. Dabei wurden Grenzwerte für unterschiedliche Blendeffekte festgelegt, die in der Tabelle 8.1 zusammengefasst sind. Für weitere Details sei hier auf die Arbeit von Dickmann verwiesen (149).

Tabelle 8.1 Grenzwerte unterschiedlicher Blendeffekte nach ANSI 136.6

Gefährdung	Grenzwert (in W/m^2)	Interne Bezeichnung
Netzhautschädigung	25	„inj.“ (eye injury)
Blitzlichtblindheit	1	„flash.“ (flashblindness/afterimages)
Blendung	0,05	„glare“ (glare/disruption)
Ablenkung	0,0005	„distr.“ (distraction/startle)

Auf dieser Grundlage zusammen mit vorhandenen Messergebnissen können Sicherheitsabstände für die untersuchten Laserpointer berechnet werden. Der Sicherheitsabstand wird hier nach der Gleichung von Nakagawara unter der Annahme kleiner Strahlradian berechnet (149; 174):

$$SD_{haz} = \sqrt{\frac{4}{\pi \cdot \theta_x \cdot \theta_y} \frac{P_0}{MZB_{haz}}}$$

mit SD_{haz} dem Sicherheitsabstand in m, MZB_{haz} (in W) der maximal zulässigen Bestrahlung für die jeweilige Gefährdung, θ der Strahldivergenz in rad und P_0 der Laserausgangsleistung in W.

Während in der Tabelle 8.2 die notwendigen Parameter der charakterisierten Laserpointer zusammengestellt sind, fasst die Tabelle 8.3 die berechneten Sicherheitsabstände zusammen.

Tabelle 8.2 Strahldivergenzen und Ausgangsleistungen der gemessenen Laserpointer

Laserpointer	θ_x in rad	θ_y in rad	P_0 in W
Hama Profi Laserpointer LP11	0,00046	0,00042	0,00063
GeneralKey Grüner Festkörper Laserpointer	0,00064	0,00055	0,00069
Legamaster LX3 Laserpointer	0,00092	0,00088	0,00075
Laserliner Laserpointer Business Green	0,00068	0,00057	0,00052
Conrad Laserpointer Grün	0,00058	0,00061	0,00043
Conrad Laserpointer Rot	0,00060	0,00077	0,00029
Laserpointeronline.de Professioneller Grüner LP G2	0,00043	0,00050	0,06530
Laser Components Laco 532	0,00036	0,00033	0,00078
Wedo Grüner Laserpointer	0,00040	0,00040	0,00054
eBay 405nm Laser Pointer Pen Laser 303	0,00124	0,00102	0,04930
eBay 405nm Laser Pointer Pen	0,00034	0,00027	0,04250

Tabelle 8.3 Sicherheitsabstände für die verschiedenen Gefährdungen nach ANSI 136.6

Laserpointer	MZB _{haz} in W/m ²			
	25	1	0,05	0,0005
Hama Profi Laserpointer LP11	-	64,4 m	288 m	2880 m
GeneralKey Grüner Festkörper Laserpointer	-	50,0 m	223 m	2230 m
Legamaster LX3 Laserpointer	-	34,3 m	154 m	1540 m
Laserliner Laserpointer Business Green	-	41,3 m	185 m	1850 m
Conrad Laserpointer Grün	-	39,3 m	176 m	1760 m
Conrad Laserpointer Rot	-	28,3 m	126 m	1260 m
Laserpointeronline.de Professioneller Grüner LP G2	124 m	621 m	2780 m	27800 m
Laser Components Laco 532	-	91,4 m	409 m	4090 m
Wedo Grüner Laserpointer	-	65,6 m	293 m	2930 m
eBay 405nm Laser Pointer Pen Laser 303	44,6 m	222 m	996 m	9960 m
eBay 405nm Laser Pointer Pen	153 m	768 m	3430 m	34300 m

In der Abbildung 8.7 sind die Sicherheitsabstände für Netzhautschädigung, Blitzlichtblindheit, Blendung und für die Ablenkung grafisch in der absteigenden Reihenfolge veranschaulicht.

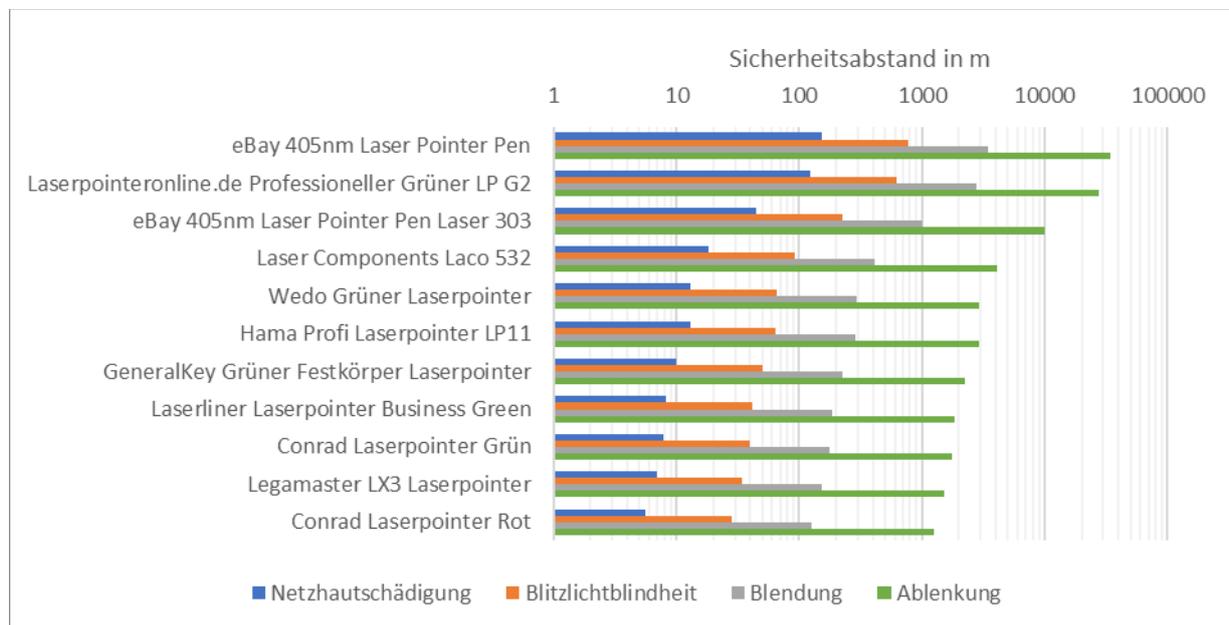


Abbildung 8.7 Sicherheitsabstände für die verschiedenen Gefährdungen nach ANSI 136.6

Wie zu erwarten ist, zeigen die drei Laserpointer Professioneller Grüner LP G2, eBay 405nm Laser Pointer Pen Laser 303 und eBay 405nm Laser Pointer Pen, die aufgrund der Messergebnisse der Laserklasse 3B zuzuordnen sind, die höchsten Sicherheitsabstände.

Professioneller Grüner LP G2 und vor allem eBay 405nm Laser Pointer Pen ragen dabei besonders heraus. Zum einen sind sie auch in 124 m bzw. 154 m immer noch in der Lage eine Netzhautschädigung zu verursachen, zum anderen liegt der Sicherheitsabstand zur Blendungsvermeidung bei über 2,8 km bzw. 3,4 km. Eine Ablenkung ist in Abständen bis 27,8 km bzw. 34,3 km merklich.

Die übrigen Laserpointer, die der Laserklasse 2 zuzuordnen sind, würden keine Netzhautschädigung verursachen. Die Blitzlichtblindheit stellt bei Abständen um die 50 m ein Problem dar. Die Blendung kann je nach Leistung des Geräts bei Entfernungen unter 126 m bis 293 m verursacht werden. Damit sind diese Geräte eher im Innenraum auf kurze Entfernungen in Bezug auf die Netzhautschädigung gefährlich, während sie im Straßenverkehr durch die Blendung der Verkehrsteilnehmer gefährliche Situationen verursachen können.

9 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Studie wurden 40 als repräsentativ betrachtete und heute am Markt erhältliche Verbraucherprodukte, die optische Strahlungsquellen enthalten und bestimmten Produktgruppen zugeordnet werden können, in Abstimmung mit dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) ausgewählt und unter Zugrundelegung entsprechender Produktsicherheitsnormen messtechnisch charakterisiert und bewertet.

Im Einzelnen wurden fünf LED-Hochleistungs-Fahrradlampen (LED-Fahrradlichter) und sieben LED-Taschenlampen als typische Produkte, die inkohärente sichtbare optische Strahlung emittieren, untersucht. Von den insgesamt 28 Laserstrahlung emittierenden Produkten ("Laserlichtquellen") waren zehn Laserpointer, vier Laser-Taschenlampen, sowie 14 Geräte für unterschiedliche Anwendungen (Laserprojektor, Gartenlaser, Laser-Tag, Showlaser, Messwerkzeug, kosmetisches Gerät und Beschriftungslaser).

Für die untersuchten inkohärenten optischen Strahlungsquellen wurde die photobiologische Bewertung auf der Grundlage der Norm DIN EN 62471:2009-03 (61) vorgenommen, da es sich um Lampen bzw. Lampensysteme handelte, während für Laserprodukte die Norm DIN EN 60825-1:2015-07 (29) herangezogen wurde.

Bei den LED-Fahrradlampen waren vier von fünf als Produkte der Risikogruppe 2 nach DIN EN 62471 einzuordnen. Dabei wurden sowohl die Grenzwerte für die Blaulicht- als auch die thermische Netzhautgefährdung überschritten. Eine Klassifizierung als Risikogruppe 2 (mittleres Risiko) bedeutet, dass diese Lampen aufgrund von Abwendreaktionen von hellen Lichtquellen oder durch thermische Unbehaglichkeit keine Gefahr darstellen. Abwendreaktionen werden dabei einer maximalen Expositionsdauer von 0,25 s gleichgesetzt, und zwar insbesondere soweit es photochemische und photothermische Gefährdungen betrifft.

Keine der untersuchten LED-Fahrradlampen wies auf dem Produkt selbst Sicherheitshinweise auf und nur in den Bedienungsanleitungen von zwei LED-Fahrradlampen waren Warnhinweise enthalten. Eine deutliche Kennzeichnung im Sinne der DIN EN 62471 Beiblatt 1 (172) wäre angebracht, d. h. man hätte in diesen Fällen eine gefährdungsbezogene Risikogruppenkennzeichnung mit der Angabe "ACHTUNG möglicherweise gefährliche optische Strahlung" erwarten können. Eine Verpflichtung zu einer entsprechenden Kennzeichnung besteht allerdings derzeit aufgrund diesbezüglich fehlender, normativ festgelegter Herstelleranforderungen für Lampen und Lampensysteme und erfolgt mithin nur auf freiwilliger Basis.

In Bezug auf die Lichtverteilung können die untersuchten LED-Fahrradlampen in zwei Gruppen unterteilt werden, und zwar liegt entweder eine rotationssymmetrische Lichtverteilung oder eine solche vor, bei der die Licht"intensität" oberhalb des Lichtstärkemaximums stark abnimmt und damit im Gegensatz zur rotationssymmetrischen Lichtverteilung bei korrekter Anbringung eine Entblendung für andere Verkehrsteilnehmer erfolgt.

Auch alle sieben LED-Taschenlampen konnten messtechnisch der Risikogruppe 2 zugeordnet werden. Dabei wurden sowohl die Grenzwerte für die Blaulicht- als auch die thermische Netzhautgefährdung überschritten. Nur eine LED-Taschenlampe wies auf dem Produkt einen Sicherheitsverweis vor, bei sechs von sieben LED-Lampen waren allerdings Warnhinweise in den Bedienungsanleitungen angegeben, während bei einer durch Direktimport erworbenen LED-Lampe weder eine Bedienungsanleitung noch eine Verpackung vorhanden war.

Die messtechnisch untersuchten vier Laser-Taschenlampen waren bis auf Abweichungen in der deklarierten Wellenlänge weitestgehend korrekt bezeichnet. Die Produkte sind in die Laserklasse 2M nach DIN EN 60825-1 einzustufen. In diese Laserklasse werden Lasereinrichtungen eingeordnet, die bei kurzzeitiger Exposition ($< 0,25$ s) für das bloße Auge ungefährlich sind. Für den Fall, dass optisch sammelnde Instrumente wie Ferngläser oder Teleskope verwendet werden, können allerdings vergleichbare Gefährdungen wie bei den Laserklassen 3R und 3B auftreten, d. h. es kann zu Augenverletzungen kommen. Der Grad ist wiederum abhängig von der Gesamtlaserstrahlleistung des betreffenden Produktes.

Da es sich bei den vier Laser-Taschenlampen um solche handelt, die bevorzugt als Jagdausrüstung beworben werden, kann eine potenzielle Gefährdung in diesem Fall bei Benutzung z. B. eines Fernglases nicht ausgeschlossen werden. Bei einem Produkt fehlte diesbezüglich die Bedienungsanleitung und insofern auch ein entsprechender Gefahrenhinweis.

Die Zahl der untersuchten Laserpointer betrug zehn. Davon emittierten sieben grünes und zwei blaues oder violettes Laserlicht. Ein weiterer konnte sowohl grünes als auch rotes Laserlicht emittieren. Für alle als Laser der Klasse 2 gekennzeichneten grünen Laserpointer konnte diese Einordnung nach DIN EN 60825-1 durch Messung auch bestätigt werden. Dagegen gehörten die beiden violetten Laserpointer (405 nm) entgegen ihrer Kennzeichnung statt den Laserklassen 2 bzw. 3R in Wirklichkeit der Laserklasse 3B an. Diese Klassifizierung nach der Laserklasse 3B traf auch für einen grünen Laserpointer zu, der nicht klassifiziert war. Keiner dieser drei Laserpointer wies eine Emissionswarneinrichtung auf, wie sie herstellerseitig nach der Produktsicherheitsnorm DIN EN 60825-1 für Laser der Klasse 3B gefordert wird. Dabei trug außerdem einer der beiden violetten Laserpointer auf der Verpackung eindeutig die Bezeichnung "Green Laser Pointer", d. h. er war insofern auch hinsichtlich der Wellenlänge falsch deklariert.

Während bei dem nicht-klassifizierten grünen Laserpointer, der sich als Laser der Klasse 3B ergab, weder ein Schlüsselschalter, noch ein Strahlabschwächer und auch keine Markierung der Strahlaustrittsöffnung vorhanden war, erfüllte ein violetter Laserpointer bis auf eine Emissionswarneinrichtung alle für Laser der Klasse 3B erforderlichen Anforderungen, obwohl er eigentlich als Laser der Klasse 2 gekennzeichnet war. Dagegen fehlten bei dem als Laser der Klasse 3R gekennzeichneten Laserpointer zwar insofern richtigerweise die drei Anforderungen von Schlüsselschalter, Abschwächer und Strahlwarnung, aber dafür lag die gemessene Laserstrahlleistung um den Faktor 9 über dem für Laser der Klasse 3R erlaubten Grenzwert zugänglicher Strahlung (GZS) von 5 mW und mithin um den Faktor 44 über demjenigen für Laser der Klasse 2, die nach der Technischen Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n) (30) zulässig ist.

Es kann bei den Messergebnissen der in dieser Studie untersuchten grünen Laserpointer festgestellt werden, dass erfreulicherweise nur bei einem Exemplar neben der für den Pointerzweck vorhandenen Wellenlänge von 532 nm auch die Grundwellenlänge von 1064 nm emittiert wurde. Obwohl nur bei dem nicht-klassifizierten grünen Laserpointer neben der Laserwellenlänge von 532 nm auch diejenige der technologisch bedingten primären Wellenlänge von 1064 nm nachgewiesen werden konnte, so stellt dies gerade bei frequenzverdoppelten Laserpointern ein nicht zu unterschätzendes Gefährdungspotenzial dar, weil entsprechende Hinweise erfahrungsgemäß häufig fehlen oder die Angaben nicht zutreffen. Damit solche Laserpointer dennoch als Laser der Klasse 2 gelten können, darf die Emission bei der Wellenlänge von 1064 nm den GZS der Klasse 1 nicht überschreiten, ansonsten käme nur eine Klassifikation nach Laserklasse 3R oder höher in Frage.

Im Hinblick auf eine potenzielle Gefährdung durch Laserpointer muss die Bereitstellung von violetten Laserpointern auf dem Markt besonders kritisch gesehen werden, da die tatsächlich vorliegende Laserstrahlleistung bei Wellenlängen nahe der Grenze zum UV-Bereich bei 400 nm aufgrund der geringen spektralen Hellempfindung des menschlichen Auges weitaus unterschätzt wird. So beträgt das

Verhältnis der spektralen Hellempfindung bei den beiden Wellenlängen 532 nm und 405 nm je nach zugrundegelegter Festlegung zwischen ca. 175 und ca. 1350, d. h. "grün" wird deutlich heller wahrgenommen als "violett". Dazu kommen noch u. U. relativ große interpersonelle Unterschiede bei der Farbwahrnehmung. Die Attraktivität der violetten Laserpointer besteht zum Teil darin, dass diese kurzwellige Laserstrahlung beim Auftreffen auf entsprechende Materialien meist "hellblaue" Fluoreszenzerscheinungen mit sich bringt, die dadurch wiederum den Strahlfleck heller erscheinen lassen. Bei den beiden in dieser Studie messtechnisch bewerteten violetten Laserpointern betrug die Laserstrahlleistung 44,2 mW bzw. 51,3 mW, d. h. mehr als das Tausendfache der Klasse 1 (39 μ W), und lag damit auch erheblich oberhalb der bei diesen Wellenlängen bekannten Schädigungswerte.

Außer den Laser-Taschenlampen und Laserpointern wurden weitere Verbraucherprodukte untersucht, bei denen Laserstrahlung zu Lichteffekten emittiert wurde. Dazu gehörten sogenannte Gartenlaser, Laserprojektoren und Showlaser. Die messtechnischen Untersuchungen zeigten, dass die beiden Gartenlaser neben einer roten (661 nm bzw. 663 nm) Wellenlänge und grünen (532 nm) auch Emissionen im Laserklasse 1-Bereich bei 1064 nm aufwiesen. Beide Gartenlaser wurden der Laserklasse 3R zugeordnet. Die deklarierte Laserklasse war dabei in einem Fall mit der Klasse 2 unzutreffend und im anderen Fall zwar mit 3R erfolgt, allerdings wurde die diesbezüglich angegebene Laserstrahlausgangsleistung mit ≤ 1 mW, die eigentlich für die Laserklasse 2 gilt, nicht eingehalten. Im Hinblick auf potenzielle Gefährdungen lässt sich diesbezüglich feststellen, dass die von Lasern der Klasse 3R emittierte Laserstrahlung für das Auge gefährlich ist und solche Produkte nur dann eingesetzt werden sollten, wenn ein direkter Blick in den Laserstrahl unwahrscheinlich ist. Da aber die typische Anwendung solcher Produkte in der Projektion von Punktmustern außerhalb geschlossener Räume besteht, geht von den hier untersuchten Laserprodukten eine potenzielle Gefahr aus.

Bei den drei Showlasern erwiesen sich zwei als zur Laserklasse 3B zugehörig. Sie besaßen allerdings die für Lasereinrichtungen der Klasse 3B nach DIN EN 60825-1 geforderten Warn- und Hinweisschilder, eine Emissions-Warneinrichtung und eine Markierung des Strahlaustritts, sowie außerdem einen Schlüsselschalter, einen Strahlabschwächer und einen Fernbedienungsanschluss. Hinsichtlich der mit Lasern der Klasse 3B möglicherweise verbundenen Gefahren kann aber festgestellt werden, dass selbst ein kurzer Blick ($< 0,25$ s) eine Gefahr für das Auge darstellt und daher diese Laserprodukte nur von Personen benutzt werden dürfen, die über die erforderlichen Fachkenntnisse verfügen.

Von den vier untersuchten Lasermesssystemen (zwei selbstnivellierende Linienlaser und zwei Laser-Entfernungsmesser) erwiesen sich die beiden Linienlaser als der Laserklasse 1 zugehörig und die beiden Entfernungsmesser derjenigen der Klasse 3R. Von Herstellerseite waren allerdings beide Linienlaser als solche der Klasse 2 gekennzeichnet worden, was möglicherweise im Hinblick auf Einfehlersicherheit erfolgt ist. Die Deklaration der beiden Entfernungsmesser von entweder Klasse 2 oder 1 entsprach dagegen nicht den Messergebnissen und insofern ist festzustellen, dass von diesen beiden Laserprodukten eine mit einem direkten Blick in den Laserstrahl verbundene Gefahr ausgehen kann, da sie zum Messen außerhalb geschlossener Räume bestimmt sind. Hinzu kommt, dass in einem Fall die abgestrahlte Laserwellenlänge bei ca. 900 nm lag und mithin auch keine sichtbare Warnung mit der Laserstrahlemission verbunden war und dieses spezielle Laserprodukt als solches der Laserklasse 1, d. h. unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen als ungefährlich deklariert war.

Die restlichen fünf Laserprodukte gehörten wiederum verschiedenen Produktgruppen an und die daran durchgeführten Messungen und Untersuchungen können daher nur als exemplarisch betrachtet werden. Im Einzelnen handelte es sich um einen Laserbeamer, ein Lasertag, zwei kosmetisch eingesetzte Laser und eine Laser-Beschriftungseinrichtung. Hierbei wurde z. B. der Laserbeamer, bei dem der Laser in seiner Funktion als Lampe eingesetzt wird, mit der angegebenen Risikogruppe 2 nach DIN EN 62471 korrekt bewertet.

Bei dem Beschriftungslaser fehlte eine entsprechende Laserklassifizierung. Die diesbezügliche Messung ergab jedoch eine Zuordnung zur höchsten Laserklasse, nämlich derjenigen der Klasse 4. Insofern fehlten auch Warn- und Hinweisschilder, die Emissions-Warneinrichtung, die Markierung des Strahlaustritts, der Schlüsselschalter, der Strahlabschwächer und der Fernbedienungsanschluss, wie sie gemäß Norm DIN EN 60825-1 für Laser der Klasse 4 gefordert werden.

Die Bewertung der photobiologischen Gefährdung durch inkohärente optische Strahlungsquellen erfolgte in dieser Studie unter Zugrundelegung der aktuellen Ausgabe der Norm DIN EN 62471:2009-03 (61), und zwar insbesondere durch die Zuordnung in die betreffende Risikogruppe. Dabei ist aber festzustellen, dass sich die hierzu herangezogenen Grenzwerte im sichtbaren Spektralbereich in der Norm DIN EN 62471 auf von der Internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) 1997 (53) empfohlene Expositionsgrenzwerte bezieht. Hierzu sind 2013 in den derzeit aktuellen ICNIRP-Guidelines "Visible and Infrared Radiation" (55) Änderungen erfolgt, die aber noch nicht zu einer Neuauflage der entsprechenden "Lampennorm" DIN EN 62471 geführt haben. In den 2013 von ICNIRP veröffentlichten Guidelines wird in verschiedenen Wellenlängenbereichen durchaus eine Erhöhung der bisherigen Grenzwerte empfohlen und die neuen Grenzwerte werden wohl auch bei der Neuauflage der Norm EN 62471 Berücksichtigung finden, wie dies bereits im Teil 5 der Normserie IEC 62471 geschehen ist (siehe hierzu: DIN EN 62471-5:2017 (173)). Ob auch die Einteilung bzw. Zuordnung zu Risikogruppen davon betroffen sein wird, wenn die entsprechenden Änderungen in der Norm DIN EN 62471-1 (dies wird die Bezeichnung der 2. Ausgabe der "Lampennorm" sein) erfolgen, muss abgewartet werden. Gegenwärtig erfolgt die Bearbeitung der Norm auf internationaler Ebene zwischen IEC und CIE.

Aus der Sicht des Strahlenschutzes liegt aber zu den 2013 von ICNIRP empfohlenen Expositionsgrenzwerten auch eine Stellungnahme mit Änderungsvorschlägen vor (174). Hierin wird darauf hingewiesen, dass es einige Hinweise gibt, dass sogar bei Expositionsdauern von weniger als 0,25 s eventuell photochemische Effekte auftreten können. Aufgrund der kumulativen Wirkungen bei einer photochemischen Netzhautverletzung ist außerdem die Wiederholung von Expositionen zu berücksichtigen, die kürzer als 0,25 s sind. Beide Argumente können insbesondere im Wellenlängenbereich zwischen 300 nm und 500 nm gelten. Daher sind weitere Untersuchungen erforderlich, um Expositionsgrenzwerte für den Schutz vor der photochemischen Netzhautgefährdung durch Blaulicht bei Expositionen unter 0,25 s zu ermitteln.

Soweit es Blaulichtgefährdung betrifft ist auch der Bericht der französischen Agentur für Lebensmittel, Umwelt- und Arbeitsschutz (L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), The French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety) vom Oktober 2010 mit dem Titel "Beleuchtungssysteme mit Leuchtdioden: zu berücksichtigende Gesundheitsaspekte" (fr.: Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED) (175)) beachtenswert. Auch wenn sich dieser Bericht vornehmlich mit möglichen Problemen befasst, die durch LED-Beleuchtung verursacht werden könnten, so erscheinen dennoch bestimmte Aussagen es wert sein, hinterfragt zu werden, zumal es dazu auch eine wissenschaftliche Publikation von Behar-Cohen et al. (81) gibt. Besonders kritisch gesehen wird bei der Definition von Risikogruppen, dass diese für wiederholte Exposition gegenüber blauem Licht ungeeignet sind, da höchstens von einer eintägigen Exposition von 8 Stunden ausgegangen wird und die Möglichkeit einer Exposition während des gesamten Lebens unberücksichtigt bleibt. Dies kann allerdings eine Norm zur photobiologischen Sicherheit, wie die EN 62471, auch nicht leisten, da international - also auch von ICNIRP - in Ermangelung entsprechender wissenschaftlicher Erkenntnisse auch keine entsprechenden Langzeitgrenzwerte empfohlen werden können. Darüber hinaus legt ANSES Wert darauf festzustellen, dass die Empfindlichkeit bestimmter Personengruppen, deren natürliche Mechanismen zur Filterung von blauem Licht reduziert sind, nämlich von Kindern (Entwicklungsstadium und Augenlinse filtert kurzwellige sichtbare Strahlung noch relativ wenig), Aphaken (fehlende Augenlinse), Pseudophaken

(Vorhandensein einer Kunstlinse) oder die empfindlicher sind, weil sie an Netzhauterkrankungen leiden, entweder nicht oder nur ungenügend Berücksichtigung findet. So wird z. B. von ICNIRP bereits seit 1997 (53) eine andere Blaulicht-Phototoxizitätskurve für aphakische Personen vorgeschlagen.

Bei der Bewertung der photobiologischen Gefährdung durch Laserstrahlung erfolgte die entsprechende Orientierung anhand von Emissionsgrenzwerten, die den Laserklassen zugrunde liegen. Dabei lassen sich die Grenzwerte zugänglicher Strahlung (GZS) der Laserklasse 1 unter Bezugnahme von Messblenden in die zugehörigen Expositionsgrenzwerte (Bestrahlungsstärke oder Bestrahlung) umrechnen. In der Laserproduktsicherheitsnorm DIN EN 60825-1:2015-07 (29) wurden die von ICNIRP 2013 (58) empfohlenen Werte als maximal zulässige Bestrahlung (MZB-Werte) übernommen. Außerdem wurden die von ICNIRP empfohlenen Blenden zur Mittelung der Bestrahlungsstärke (Messblenden) verwendet. Diese spielen bei der Ableitung der GZS eine Rolle, denn sie spiegeln sowohl biophysikalische als auch physiologische Faktoren wider. Festzustellen ist hierbei, dass gegenwärtig bei der Laserklassifizierung soweit es sich um Laserprodukte handelt, die als Arbeitsmittel eingesetzt werden, noch diejenige nach der 2. Ausgabe der Norm DIN EN 60825-1:2008-05 (145) rechtlich verbindlich ist. Diese Diskrepanz ist sicherlich nicht befriedigend. Aus der Sicht der Produktsicherheit kann diesbezüglich von Herstellerseite die 3. Ausgabe der Laserproduktsicherheitsnorm angewandt werden, wenn unterstellt wird, dass die darin zugrunde gelegten Emissionsgrenzwerte den von ICNIRP 2013 empfohlenen entsprechen und den aktuell vorliegenden wissenschaftlichen Kenntnisstand wiedergeben. Es sollte aber auch beachtet werden, dass vergleichbar zur Situation bei inkohärenter breitbandiger optischer Strahlung aus der Sicht des Strahlenschutzes auch zu den 2013 von ICNIRP empfohlenen Expositionsgrenzwerten zu Laserstrahlung eine Stellungnahme mit Änderungsvorschlägen vorliegt (176). Diese Stellungnahme weist u. a. auf Probleme mit der praktischen Umsetzung der rechtsverbindlichen Expositionsgrenzwerte sowie mit den Expositionsgrenzwert-Empfehlungen der neuen ICNIRP-Leitlinien (58) hin. Sie enthält auch konkrete Vorschläge mit dem Ziel, Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit zu verbessern. Die Änderungsvorschläge sind aber nicht allein arbeitsschutzbezogen, da die Grenzwertempfehlungen von ICNIRP keine Unterschiede zwischen Arbeitsschutz und Allgemeinbevölkerung aufweisen.

Soweit bei der Bewertung der Gefährdung und damit der Betrachtung der Sicherheit von Laserprodukten die Expositionsgrenzwerte (EGW) bzw. maximal zulässigen Bestrahlungswerte (MZB-Werte) zugrunde gelegt werden, kann man dies auch bei Kenntnis der Strahldivergenz mit dem sogenannten Augensicherheitsabstand (NOHD, engl.: Nominal Ocular Hazard Distance) in Zusammenhang bringen. Unter dem Augensicherheitsabstand versteht man nämlich die Entfernung, bei der die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung gleich dem entsprechenden Expositionsgrenzwert der Hornhaut des Auges ist. Man spricht dann auch vom sogenannten Laserbereich, innerhalb dessen der EGW überschritten werden kann, m. a. W. außerhalb ist mit keiner direkten Gefährdung durch Laserstrahlung zu rechnen. Wird beim Augensicherheitsabstand auch die Möglichkeit der Betrachtung mit optischen Hilfsmitteln eingeschlossen, wie z. B. bei der Verwendung von Teleskopen oder Fernrohren, so wird vom erweiterten Augensicherheitsabstand (ENOHD) gesprochen. Genau genommen muss bei der Angabe des Augensicherheitsabstandes auch die zutreffende Expositionsdauer berücksichtigt werden, die bei der Ermittlung des NOHD angesetzt wurde.

Für die in dieser Studie untersuchten Laserprodukte ergaben sich aufgrund der an Laser-Taschenlampen und Laserpointern durchgeführten Messungen Werte für den NOHD zwischen 9,9 m und 767 m, d. h. in einem relativ großen Wertebereich, und zwar unter Berücksichtigung der Laserstrahlleistung, der Strahldivergenz und der jeweiligen Wellenlänge. Dabei fielen die beiden violetten Laserpointer mit 231 m und 767 m aus dem sonstigen Rahmen der untersuchten grünen Laserpointer, für welche die NOHD-Werte zwischen 10,5 m und 26,5 m liegen, und zwar mit einer Ausnahme von 209 m bei einem Klasse 3B-Laser. Für die vier Laser-Taschenlampen liegen dagegen die NOHD-Werte ziemlich nahe beieinander, und zwar zwischen 17,3 m und 22,6 m. Die Angabe des NOHD-Wertes könnte durchaus eine

Bereicherung bei den technischen Daten eines Laserproduktes darstellen. Ihre Angabe wird aber gemäß der Produktsicherheitsnorm DIN EN 60825-1 nicht gefordert, sie könnte aber herstellereitig als Information für den Benutzer interessant sein und der Hersteller des jeweiligen Laserproduktes kann den NOHD-Wert aus den gerätespezifischen Daten einfach herleiten.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass bei Laserprodukten die bei den verschiedenen Laserklassen gemäß DIN EN 60825-1 vorgeschriebenen technischen Anforderungen nur in wenigen Fällen bei den in dieser Studie untersuchten Verbraucherprodukten vollständig bzw. annähernd vollständig erfüllt waren. Nicht zuletzt resultierte dies sicherlich auch daraus, dass vielfach eine falsche bzw. unzutreffende Klassifizierung vorlag. Bei Lampen und Lampensystemen werden vergleichbare Anforderungen gemäß DIN EN 62471 nicht gefordert.

Zur Bewertung der Blendung durch inkohärente optische Strahlung bzw. durch Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich können im Gegensatz zur Bewertung der photobiologischen Gefährdung keine technischen Normen angewandt werden, da solche derzeit nicht vorliegen.

Wenn bei Beleuchtung von Blendung gesprochen wird, geht es in der Regel um die sogenannte psychologische Blendung (engl.: discomfort glare), die dann meist auch nach dem UGR-Verfahren (Unified Glare Rating) bewertet wird. Dieses Verfahren weist bei der Anwendung auf kleine Lichtquellen und im Hinblick auf die spektrale Lichtverteilung gewisse Einschränkungen auf. In der vorliegenden Studie erfolgte daher die Bewertung der psychologischen Blendung auf der de Boer-Skala für die gemessenen LED-Fahrradlampen nach der Formel von Schmidt-Clausen, die für die Anwendung im Straßenverkehr konzipiert wurden. Dabei zeigte sich, dass LED-Fahrradlampen, die oberhalb des Lichtstärkemaximums entblendet sind und den Anforderungen der StVZO entsprechen, die geringste Blendung verursachen. Die Blendung ist dabei nur für kurze Abstände störend und ist ab ca. 20 m akzeptabel. Andererseits verursachen Hochleistungs-LED-Fahrradlampe mit einer nicht StVZO-konformen Lichtverteilung eine sehr starke Blendung. Die diesbezüglich durchgeführte Bewertung ergab eine unerträgliche psychologische Blendung für einen kurzen Abstand. Als störend wurde diese erst in ca. 70 m eingestuft und als akzeptabel empfunden erst in mehreren hundert Meter Entfernung.

Neben der psychologischen Blendung ist aber im Hinblick auf Beeinträchtigungen des Sehvermögens die sogenannte physiologische Blendung (engl.: disability glare) von Bedeutung, und zwar nicht zuletzt, weil außer der direkten Blendung, die beim Blick in eine Lichtquelle entstehen kann, auch sogenannte Nachbilder auftreten. Nachbilder haben insbesondere Auswirkungen auf den Visus (Sehschärfe), welcher für eine bestimmte Zeitdauer durch das Nachbild vermindert wird und auf das Farbsehen, da sich das Nachbild in seiner Farbe dynamisch ändert, was dazu führt, dass bestimmte Farben vorübergehend nicht mehr richtig wahrgenommen werden können.

Für die untersuchten fünf LED-Fahrradlampen wurde zur Beurteilung der physiologischen Blendung die Schleierleuchtdichte im Auge nach der CIE-Formel berechnet, da sich hiermit insbesondere die Reduzierung der Kontrastwahrnehmung im Vergleich zur Situation ohne Blendung darstellen lässt. Dabei zeigte sich, dass die Entfernungsabhängigkeit einen zu demjenigen der psychologischen Blendungsbewertung vergleichbaren Kurvenverlauf aufweist. Dabei entsprachen die Entfernungen für den hier betrachteten Fall mit den aufeinander zubewegenden Fahrradfahrern, bei denen eine Schleierleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ von den Lichtern verursacht wurde, in etwa denen mit der „akzeptablen“ Blendung von 5 auf der De-Boer-Skala. Die Schleierleuchtdichte im Bereich von 3 cd/m^2 verursacht eine Blendung die schon „störend“ ist, während bei Werten über 10 cd/m^2 die Blendung schnell „unerträglich“ (über 2 auf der De-Boer-Skala) wird. Wenn man bedenkt, dass die mittlere Umfeldleuchtdichte bei etwa 1 cd/m^2 liegt, wobei natürlich die Hindernisse je nach ihren Reflexionseigenschaften heller erscheinen, dann verursacht eine Schleierleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ keine signifikante Kontrastminderung zum Umfeld und damit auch keine physiologische Blendung. Bei 3 cd/m^2 sind die helleren Objekte zwar sichtbar, aber da die Schleierleuchtdichte über der Umgebungshelligkeit ist, sind die Fahrer

wohl verunsichert. Über 10 cd/m^2 kann man sich womöglich kaum noch orientieren. Des Weiteren muss bedacht sein, dass diese Betrachtungen für Personen mittleres Alters gelten (45 Jahre) und aufgrund der Alterung der Augenmedien die Schleierleuchtdichte bei gleicher Bestrahlung des Auges mit dem zunehmenden Alter deutlich zunimmt. Für ältere Personen ist damit eine stärkere Blendungsbelastung zu erwarten.

Die beiden entblendeten Fahrradlichter von Philips und B+M verursachen eine Schleierleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ in etwa 30 m Entfernung und erreichen 3 cd/m^2 in 3-4 m. Die Hochleistungsleuchten dagegen müssen für eine Schleierleuchtdichte von $0,1 \text{ cd/m}^2$ ca. 300 m entfernt sein, erreichen 3 cd/m^2 in 50 m und überschreiten 10 cd/m^2 in 25 m. Dadurch stören sie auch eine viel längere Zeit, da es entsprechend lange dauert diese Strecken zu überwinden. So dauert es bei einer Geschwindigkeit von 15 km/h ca. 6 Sekunden die 25 m durchzufahren, in denen der Gegenverkehr massiv geblendet ist.

Zusätzlich zur Schleierleuchte verursachen die durch den direkten Blick in die entgegenkommende Leuchte entstehenden Nachbilder für eine weitere Störung, da sie das eigentliche Bild des Fahrers überlagern und Erkennung von möglichen Hindernissen eine Zeit lang erschweren. Nach der von Reidenbach aufgestellten Formel für die Nachbilddauer verursachen die beiden entblendeten Fahrradlichter von Philips und B+M bei einer Expositionszeit keine signifikanten Nachbilder, während die beiden leistungsstarken Leuchten vor allem bei kurzen Entfernungen Nachbilder dauern im Bereich von 1,5 bis 2 Minuten verursachen können. Natürlich setzt das Sehvermögen nicht diese ganze Zeitspanne aus, so geht Reidenbach aufgrund seiner Versuche von etwa 10 % dieser Zeit aus, in denen das Sehen stark beeinträchtigt ist. Nach seiner vorgeschlagen Blendklassifizierung würden die beiden Hochleistungsleuchten die Blendklasse 2 „starke Blendung“, während andere untersuchten Geräte bei korrekter Anbringung ans Fahrrad die Klasse 0 „praktisch nicht blendend“ erhalten.

Diese Betrachtungen machen die Wirkung der StVZO-Regelungen deutlich und unterstreichen die Wichtigkeit, dass diese Regelungen im Straßenverkehr tatsächlich auch umgesetzt werden. Die StVZO-konformen Fahrradlichter verursachen keine störende Blendung und tragen damit zur Sicherheit im Straßenverkehr bei. Bei nichtkonformen Leuchten, die im Straßenverkehr nicht zugelassen sind, aber abseits des Verkehrs durchaus ihre Berechtigung haben, sollten zumindest mit deutlichen Warnhinweisen auf den Geräten und der eventuellen Aufklärungspflicht beim Kauf versehen sein.

Zur Beurteilung der Blendung durch Laserpointer kann mittlerweile auf die Norm ANSI 136.6 aus den USA zurückgegriffen werden, die wegen der Zunahme der Blendattaken auf Piloten in der Luftfahrt entstanden ist, die auch die Passagiere und die Menschen am Boden gefährden. Dabei wurden Grenzwerte für verschiedene schwere Gefährdungen definiert, um Sicherheitsbereiche an Flughäfen definieren zu können. Die Situation lässt sich ohne weiteres auch auf die Blendung der Autofahrer übertragen.

Die untersuchten grünen Laserpointer, die der Laserklasse 2 zugeordnet sind, haben einen Sicherheitsabstand im Bereich von 35 m bis 91 m bezüglich der Blitzlichtblindheit und 175 m bis 408 m in Bezug auf die Blendung. Damit sind sie zwar nicht in der Lage Piloten zu blenden, sind aber im normalen Straßenverkehr nichtsdestotrotz potenziell gefährlich. Der einzige grüne Laser, der in die Laserklasse 3B fällt und eine Leistung von 68 mW emittiert, weist höhere Sicherheitsabstände von 621 m bzw. 2781 m auf. In die gleiche Leistungsklasse fallen beide blauen, der Klasse 3B zugeordneten Laserpointer, die ebenfalls viel höhere Sicherheitsabstände aufweisen. Dabei ist der Laserpointer mit der etwas geringeren Leistung von 44 mW (gegenüber den 51 mW beim Zweiten) aufgrund der geringeren Divergenz mit 767 m (Blitzlichtblindheit) und 3430 m (Blendung) viel gefährlicher. Der zweite blaue Laserpointer weist dagegen Abstände von 223 m und 996 m auf. Da sie, wie schon früher geschrieben, in der Lage sind auf bedeutende Entfernungen von mehreren hundert Metern Augenschäden und auf mehrere Kilometer Blendung zu bewirken, sollten wirkungsvolle Mechanismen erarbeitet werden, um Zugang zu solchen Geräten deutlich zu erschweren.

10 Literaturverzeichnis

1. Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 30. November 2016 (BGBl. I S. 2681) geändert worden ist.
2. Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung). (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) (ABl. L 114 vom 27.4.2006, S. 38).
3. DGUV Vorschrift 11 (bisher Unfallverhütungsvorschrift/Berufsgenossenschaftliche Vorschrift BGV B2) „Laserstrahlung“. (vom 1. April 1988 in der Fassung vom 1. Januar 1997 mit Durchführungsanweisungen vom Oktober 1995, Aktualisierte Nachdruckfassung April 2007).
4. DGUV Vorschrift 12 (bisher Unfallverhütungsvorschrift/Berufsgenossenschaftliche Vorschrift GUV-V B2) „Laserstrahlung“. (November 1987, in der Fassung vom Januar 1997 mit Durchführungsanweisungen vom Oktober 1995, Aktualisierte Ausgabe April 2007).
5. Technische Regel zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - TROS Laserstrahlung. Gemeinsames Ministerialblatt 2015, Nr. 12-15, S. 211-294 .
6. Technische Regel zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - TROS Inkohärente Optische Strahlung. Gemeinsames Ministerialblatt 2013, Nr. 65-67, S. 1301-1368.
7. Richtlinie 89/391/EWG des Rates über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit (ArbeitsschutzRahmenRL) vom 12. Juni 1989. (ABl. EG Nr. L 183 S. 1) zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. Oktober 2008 (ABl. EG L 311, S. 1) in Kraft getreten am 11. Dezember 2008.
8. Missling, S., et al. Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nicht-ionisierenden Bereich - Vorhaben 3614S80010. Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz (2015). Bd. 2: Ländervergleich der Regelungen im Bereich Optischer Strahlung, BfS-RES-FOR-109/16.
9. Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSG) - Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen vom 29. Juli 2009. (BGBl. I S. 2433), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 8. April 2013 (BGBl. I S. 734) geändert worden ist.
10. Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung. (UV-Schutz-Verordnung - UVSV) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1412).
11. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. v. 15. März 1974; BGBl. I 1974, 721, Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 29. Mai 2017 (BGBl. I S. 1298) geändert worden ist.
12. Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz - ProdSG). Produktsicherheitsgesetz vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178, 2179; 2012 I S. 131), das durch Artikel 435 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.
13. Richtlinie 89/392/EWG des Rates vom 14. Juni 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen. ABl. L 183 vom 29.6.1989, S. 9–32.

14. Richtlinie 91/368/EWG des Rates vom 20. Juni 1991 zur Änderung der Richtlinie 89/392/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen. ABl. L 198 vom 22.7.1991, S. 16–32.
15. Richtlinie 89/686/EWG des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen. ABl. L 399 vom 30.12.1989, S. 18–38.
16. Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften. ABl. L 204 vom 21.7.1998, S. 37–48.
17. Richtlinie 2001/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Dezember 2001 über die allgemeine Produktsicherheit. ABl. L 11 vom 15.1.2002, S. 4–17.
18. Richtlinie 2005/36/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. September 2005 über die Anerkennung von Berufsqualifikationen. ABl. L 255 vom 30.9.2005, S. 22–142.
19. Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung). ABl. L 157 vom 9.6.2006, S. 24–86.
20. Richtlinie 2006/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen. ABl. L 374 vom 27.12.2006, S. 10–19.
21. Richtlinie 2006/123/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 über Dienstleistungen im Binnenmarkt. ABl. L 376 vom 27.12.2006, S. 36 - 68.
22. Richtlinie 2014/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen. ABl. L 96 vom 29.3.2014, S. 357–374.
23. Richtlinie 98/48/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juli 1998 zur Änderung der Richtlinie 98/34/EG über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften. ABl. L 217 vom 5.8.1998, S. 18–26.
24. Erste Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über elektrische Betriebsmittel - 1. ProdSV). Verordnung über elektrische Betriebsmittel vom 17. März 2016 (BGBl. I S. 502).
25. Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur europäischen Normung, zur Änderung der Richtlinien 89/686/EWG und 93/15/EWG des Rates sowie der Richtlinien 94/9/EG, 94/25/EG, 95/16/EG, 97/23/EG, etc. ABl. L 316 vom 14.11.2012, S. 12–33.
26. Mitteilung der Kommission im Rahmen der Durchführung der Richtlinie 2014/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel. ABl. C 249 vom 8.7.2016, S. 62 - 190.
27. Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz - GPSG). Geräte- und Produktsicherheitsgesetz vom 6. Januar 2004 (BGBl. I S. 2 (219)), zuletzt geändert durch Artikel 3 Abs. 33 des Gesetzes vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970).
28. 2010/15/EU: Entscheidung der Kommission vom 16. Dezember 2009 zur Festlegung von Leitlinien für die Verwaltung des gemeinschaftlichen Systems zum raschen Informationsaustausch „RAPEX“ gemäß Artikel 12 und des Meldeverfahrens gemäß Artikel 11 etc. (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2009) 9843), ABl. L 22 vom 26.1.2010, S. 1–64.
29. DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1):2015-07: Sicherheit von Lasereinrichtungen - Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen (IEC 60825-1:2014). Deutsche Fassung EN 60825-1:2014.

30. Arbeitskreis „Laser als Verbraucherprodukte“. Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n). Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2013.
31. Reidenbach, H.-D. Laserklassifizierung – noch zeitgemäß? StrahlenschutzPRAXIS. 2018. Bd. 24, 1.
32. Zweite Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über die Sicherheit von Spielzeug). (2. ProdSV) vom 7. Juli 2011 (BGBl. I S. 1350, 1470), die zuletzt durch Artikel 28 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) geändert worden ist.
33. Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung). (9. ProdSV) vom 12. Mai 1993 (BGBl. I S. 704), die zuletzt durch Artikel 19 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178) geändert worden ist.
34. DIN EN 60065 (VDE 0860:2015-11): 2015-11: Audio-, Video- und ähnliche elektronische Geräte - Sicherheitsanforderungen (IEC 60065:2014, modifiziert). Deutsche Fassung EN 60065:2014 (Achtung: Dokument zurückgezogen).
35. DIN EN 62115 (VDE 0700-210:2016-06): 2016-06: Elektrische Spielzeuge - Sicherheit (IEC 62115:2003 + A1:2004, modifiziert + A2:2010, modifiziert). Deutsche Fassung EN 62115:2005 + A2:2011 + A11:2012 + A12:2015.
36. DIN EN 60950-1 (VDE 0805-1:2014-08): 2014-08: Einrichtungen der Informationstechnik - Sicherheit - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60950-1:2005, modifiziert + Cor.:2006 + A1:2009, modifiziert + A1:2009/Cor.:2012 + A2:2013, modifiziert). Deutsche Fassung EN 60950-1:2006 + A11:2009 + A1:2010 + A12:2011 + AC:2011 + A2:2013 (Achtung: Dokument zurückgezogen).
37. DIN EN 62368-1 (VDE 0868-1:2016-05): 2016-05: Einrichtungen für Audio/Video-, Informations- und Kommunikationstechnik - Teil 1: Sicherheitsanforderungen (IEC 62368-1:2014, modifiziert + Cor.:2015). Deutsche Fassung EN 62368-1:2014 + AC:2015.
38. Normen über Produkte nach der Richtlinie über die allgemeine Produktsicherheit, Verzeichnis 1: Harmonisierter Bereich – Teil 20, Stand März 2014.
39. Normenverzeichnisse (https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Gesetzliche-und-hoheitliche-Aufgaben/Produktsicherheitsgesetz/Normenverzeichnisse_node.html). s.l. : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. zuletzt besucht 2017-07-17.
40. Richtlinie 1999/5/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 1999 über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen und die gegenseitige Anerkennung ihrer Konformität. ABl. L 91 vom 7.4.1999, S. 10–28.
41. Mitteilung der Kommission im Rahmen der Durchführung der Richtlinie 1999/5/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 1999 über Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen und die gegenseitige Anerkennung ihrer Konformität. ABl. 2015/C 125/01 vom 17. April 2015.
42. Mitteilung der Kommission im Rahmen der Umsetzung der Richtlinie 2006/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel etc. ABl. 2015/C 125/02 vom 17. April 2015.
43. M/531: Durchführungsbeschluss der Kommission vom 5.2.2015 über einen Normungsauftrag an das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung betreffend Lasereinrichtungen für Verbraucher gemäß der Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 des Europäischen Parlaments. Brüssel, den 5.2.2015, (2015) 557 final.
44. 2014/59/EU: Beschluss der Kommission vom 5. Februar 2014 über Sicherheitsanforderungen, denen europäische Normen für Lasereinrichtungen für Verbraucher gemäß der Richtlinie 2001/95/EG

des Europäischen Parlaments und des Rates genügen müssen. Amtsblatt der Europäischen Union L 36, 6.2.2014, p. 20–21.

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

46. DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1:2003-10):2003-10: Sicherheit von Laser-Einrichtungen - 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 (Achtung: Dokument zurückgezogen).

47. Lasers and Optical Radiation. Environmental Health Criteria 23. Geneva : World Health Organization, 1982.

48. Statutes of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) – Approved at the Commission Meeting. 13-14 October 2008, in Rio de Janeiro, Brazil.

49. Bewertung von Mobilfunk-Strahlung durch die Bundesregierung aufgrund von Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen (ICNIRP). Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Gerhard Jüttemann, Eva-Maria Bulling-Schröter und der Fraktion der PDS. Berlin : Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode 18. 12. 2001. Drucksache 14/7907, Drucksache 14/7636.

50. Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). Health Physics. 1985. Bd. 49, (2): 331-340.

51. Proposed Change to the IRPA 1985 Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation. Health Physics. 1989. Bd. 56, (6): 971-972.

52. Guidelines on UV Radiation Exposure Limits. Health Physics. 1996. Bd. 71, (6): 978.

53. Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3 µm). Health Physics. 1997. Bd. 73, 539 – 553.

54. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). Health Physics. 2004. Bd. 87, 171 – 186.

55. Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. Health Physics. 2013. Bd. 105, (1):74-96.

56. Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 1000 µm. Health Physics. 1996. Bd. 71, 804 – 819.

57. Revision of guidelines on limits for laser radiation of wavelengths between 400 nm and 1,400 nm. Health Physics. 2000. Bd. 79, 431-440.

58. Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1,000 µm. Health Physics. 2013. Bd. 105, (3): 271-295.

59. IEC 60825-1 Ed. 3.0: Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements. Geneva : IEC, 2014.

60. IEC 62471: Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems. Geneva : IEC, 2006.

61. DIN EN 62471 (VDE 0837-471):2009-03: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471:2006, modifiziert). Deutsche Fassung EN 62471:2008.

62. ICNIRP statement Laser Pointers. Health Physics. 1999. Bd. 77, (2): 218-220.

63. ICNIRP statement on light-emitting diodes (LEDS) and laser diodes: implications for hazard assessment. *Health Physics*. 2000. Bd. 78, (6): 744-752.
64. Fact sheet No 202: Health Risks from the Use of Laser Pointers - July 1998. s.l. : WHO, 1998.
65. ACGIH® Threshold Limit Values (TLVs®) and Biological Exposure Indices (BEIs®). ACGIH 2012: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2012.
66. Documentation for the Threshold Limit Values 4th edn. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). 1992.
67. CIE 031-1976: Glare and Uniformity in Road Lighting Installations.
68. CIE 055-1983: Discomfort Glare in the Interior Working Environment.
69. CIE 103-1993: CIE Technical Collection 1993, Biologically Effective Emissions and Hazard Potential of Desktop Luminaires.
70. CIE 106-1993: CIE Collection in Photobiology and Photochemistry.
71. CIE 112-1994: Glare Evaluation System for Use within Outdoor and Area Lighting.
72. CIE 117-1995: Discomfort Glare in Interior Lighting.
73. CIE 134-1999: CIE Collection in Photobiology and Photochemistry.
74. CIE 135-1999: CIE Collection 1999: Vision and Colour, Physical Measurement of Light and Radiation.
75. CIE 138-2000: CIE Collection in Photobiology and Photochemistry.
76. CIE 127:2007: Measurement of LEDs.
77. CIE 190:2010: Calculation and Presentation of Unified Glare Rating Tables for Indoor Lighting Luminaires.
78. SCENIHR. Scientific opinion on light sensitivity. 26th Plenary. 2008.
79. —. Health Effects of Artificial Light. 17th plenary. 2012.
80. SCHEER. Preliminary Opinion on "Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs)". 6 July 2017.
81. Behar-Cohen, F., et al. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? *Progress in Retinal and Eye Research*. 2011. Bd. 30, (4):239-257.
82. Chamorro, E., et al. Effects of Light-emitting Diode Radiations on Human Retinal Pigment Epithelial Cells In Vitro. *Photochem Photobiol*. 2013. Bd. 89, (2):468-473.
83. SCHEER. Final Opinion on Biological effects of UV-C radiation relevant to health with particular reference to UV-C lamps. 2017.
84. —. Preliminary Opinion on the potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs). 6 July 2017.
85. SSK. Gefahren durch Laserpointer. *Bundesanzeiger* Nr. 144 vom 06. August 1998.
86. —. Gefährdungen durch Laserpointer. *Bundesanzeiger* Nr. 75 vom 20. April 2006.
87. —. Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren. verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006.
88. —. Moderne Lichtquellen. verabschiedet in der 242. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 01./02. Juli 2010.

89. —. Blendattacken durch Laser. verabschiedet in der 246. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 02./03. Dezember 2010.
90. —. Vorschlag zur Weiterentwicklung der Forschung zum Schutz vor nichtionisierenden Strahlen. Bundesanzeiger Nr. 145 vom 07. August 1998.
91. —. Gefahren bei Laseranwendung an der menschlichen Haut. verabschiedet in der 169. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 31. Oktober 2000.
92. —. Weiterentwicklung der Forschung zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung. verabschiedet in der 178. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 11./12. April 2002.
93. —. Zusammenfassung und Bewertung der Klausurtagung 2009 der Strahlenschutz-kommission: „Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung“. verabschiedet in der 241. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 28./29. April 2010.
94. —. Gefährdungspotenzial bei der Anwendung von Lasern und anderen optischen Strahlungsquellen an der menschlichen Haut. verabschiedet in der 280. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 11./12. Februar 2016.
95. Reidenbach, H.-D., Dollinger, K., Hofmann, J. Überprüfung der Laserklassifizierung unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes. Schriftreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Bremerhaven : Wirtschaftsverlag NW, 2003. Fb 985.
96. Bundesamt für Strahlenschutz. Information zu elektromagnetischen Emissionen von Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen). 2009.
97. CIE 017:2011 ILV International Lighting Vocabulary. Vienna : CIE, 2011.
98. Reidenbach, H.-D., et al. Blendung durch optische Strahlungsquellen. Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2008. Projektnummer: F 2185.
99. Reidenbach, H.-D., et al. Blendung durch künstliche optische Strahlung unter Dämmerungsbedingungen. Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2014. Projektnummer: F 2310.
100. Brose, M., et al. Leitfaden Laserstrahlung. Köln : Fachverband für Strahlenschutz, 2017. FS-2017-173-AKNIR-Netz.
101. SSK. Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 205. Sitzung der SSK am 16./17.02.2006.
102. Verfassung der Weltgesundheitsorganisation; unterzeichnet in New York am 22. Juli 1946, Ratifikationsurkunde von Deutschland hinterlegt am 29. Mai 1951, für Deutschland in Kraft getreten am 29. Mai 1951.
103. ISO/IEC Guide 51: Third edition 2014-04-01; Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards.
104. Hirsch, L. R., et al. Significance of Retinal Lesions Potentially Caused by Dazzling Lasers. Technical Report, 01 Dec 2015, AD1013805.
105. Koinzer, S., et al. Correlation of Temperature Rise and Optical Coherence Characteristics in patient Retinal Photocoagulation. Journal of Biophotonics. 2012. Bd. 5, (11–12): 889–902.
106. Reidenbach, H.-D., et al. Is There an Unknown Risk for Short-Wavelength Visible Laser Radiation? Strahlenschutzpraxis. 2013. (3) 45-53.

107. Reidenbach, H.-D. Temporary Blinding Limits versus Maximum Permissible Exposure – A Paradigm Change in Risk Assessment for Visible Optical Radiation. *Physics Procedia*. 2014. Bd. 56, 1366–1376.
108. Damit nichts ins Auge geht ... – Schutz vor Laserstrahlung. Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2010.
109. Kimlin, J.A., Black, A.A. und Wood, J.M. Nighttime Driving in Older Adults: Effects of Glare and Association With Mesopic Visual Function. *Investigative ophthalmology and visual science*. 2017. Bd. 58, 2796-2803.
110. Hentschel, H.-J. und Bernitz, F. Licht und Beleuchtung: Grundlagen und Anwendung der Lichttechnik. Heidelberg : Hüthig, 2002.
111. CIE Collection on Glare. Wien : CIE, 2002.
112. Völker, S. Blendung durch Kfz-Scheinwerfer im nächtlichen Straßenverkehr. Berlin : Technische Universität, 2017.
113. LiTG. Methoden zur Bewertung der Blendung in der Straßenbeleuchtung. Technical Report. Berlin : LiTG, 1981.
114. Lynes, J. Discomfort glare and visaul distraction. *Lighting research and technology*. 1977. Bd. 9, (1) 51-52.
115. Niedling, M. Zum Einfluss des Spektrums auf die Blendung: Untersuchungen zur Wirkung des kurzwelligen Strahlungsanteils auf die physiologische und psychologische Blendung. Dissertation. Berlin : Technische Inuversität, 2018.
116. Funke, C. Blendungsbewertung von LED-Leuchten in Innenräumen. Schriften der Ilmenauer Lichttechnik. Ilmenau : Universitätsverlag, 2016.
117. De Boer, J.B., Burghout, F. und van Heemskerck Veeckens, J.F.T. Appraisal of the quality of public lighting based on road surface luminance and glare. *Proceedings of the CIE*. Brussels : s.n., 1959.
118. De Boer, J.B. und Schreuder, D.A. Glare as a Criterion for Quality in Street Lighting;. *Transactions of the Transportation Illuminating Engineering Society*. London) : s.n., 1967.
119. DIN EN 13201:2004 Straßenbeleuchtung. Berlin : Deutsches Institut für Normung, 2004.
120. UNECE. R98: Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps equipped with gas-discharge light sources. 2012.
121. —. R112: Uniform provisions concerning the approval of motor vehicle headlamps emitting asymmetrical passing beam or a driving beam or both and equipped with filament lamps and/or light emitting diode modules. 2014.
122. Völker, S. und Niedling, M. Neue Herausforderungen in der Blendungsbewertung von LED-Leuchten. LiTG-Tagung Stadt- und Aussenbeleuchtung. Berlin : LiTG, 2013.
123. Flannagan, M.J. Subjective and objective aspects of head lamp glare: effects of size and spectral power distribution. Technical report. Michigan : Transportation Research Institute, 1999.
124. Bullough, J.D., Fu, Z. und van Derlofske, J. Discomfort and disability glare from halogen and HID headlamp systems. Technical report. Troy : Lighting Research Center, 2002.
125. Schmidt, S. Master thesis. Paderborn : L-Lab, 2006.
126. Zydek, B. Blendungsbewertung von Kraftfahrzeugscheinwerfern unter dynamischen Bedingungen. Dissertation. Darmstadt : Technische Universität, 2014.

127. Thoma, A. und Locher, J. Potential Hazard Glare - Does Luminance Make a Difference? ISAL 2017. München : Utz Verlag, 2017.
128. Niedling, M., Völker, S. und Knoop, M.M Böhm, M. LEDs in der Straßenbeleuchtung - sichtbar oder nicht? LICHT Den Haag/Holland. 2014.
129. Niedling, M., Völker, S. und Böhm, M. Average or maximum luminance - what is the right dimension for discomfort glare evaluating and street lighting conditions. CIE Proceedings. Manchester : CIE, 2015.
130. Lai, D., et al. Influence of light source luminance on discomfort glare from LED road luminaires. CIE Proceedings Kuala Lumpur/Malaysia. 2014.
131. Tatula, C., et al. Bestimmung von peripherem Streulicht im Auge. Lux Junior. Ilmenau : Technische Universität, 2017.
132. Lasermedizin Gefährliches 'Kinderspielzeug'. 1998. Düsseldorf : Heinrich-Heine-Universität . (<http://www.uni-duesseldorf.de/home/startseite/news-detailansicht/article/lasermedizin-gefaehrliches-kinderspielzeug.html>) - zuletzt besucht 2017-07-22.
133. DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1):1997-03: Sicherheit von Laser-Einrichtungen - Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien (IEC 60825-1:1993). Deutsche Fassung EN 60825-1:1994 + A11:1996 (Achtung: Dokument zurückgezogen).
134. Hessisches Sozialministerium. Marktüberwachung im Bereich des Produktsicherheitsgesetzes, Ergebnisbericht 2012. 2013.
135. Reidenbach, H.-D., Dollinger, Esser, M., Seckler, M. Charakteristische Messwerte kommerzieller Laserpointer und Klassifizierung nach DIN EN 60825-1. Fortschritte im Strahlenschutz. Köln : s.n., 1999. Bd. II, FS-99-106-T, S. 947 – 966.
136. Federal Performance Standard for Laser Products, 21 CFR 1040.10. Rockville, Maryland : Center for Devices and Radiological Health, 2017.
137. Jahresbericht 2000. München : Bayerischen Landesamtes für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik, 2001.
138. PROSAFE. Laser Pointers. Five Consumer Products, Joint Market Surveillance Action funded by the Executive Agency for Health and Consumers (EAHC), Agreement No: 2010 81 01. Final Implementation Report Covering the period 1 January 2011 – 30 April 2013; June 2013, Updated on 24 February 2014, S. 6, 50 - 58.
139. Health Council of the Netherlands. Laser pointers held up to the light. A risk assessment. 1999. publication no. 1999/03E.
140. Bärenwald, U. Überprüfung von Laserpointern auf Einhaltung der zulässigen Strahlungsleistung, Projekt der Marktüberwachung 2010 in Sachsen-Anhalt. Jahresbericht 2010 der Gewerbeaufsicht Sachsen-Anhalt. 2011. S. 16 - 22.
141. —. Überprüfung von Laserpointern auf Einhaltung der zulässigen Strahlungsleistung. Projekt der Marktüberwachung 2010 in Sachsen-Anhalt. s.l. : Landesamt für Verbraucherschutz Sachsen-Anhalt, Juni 2011.
142. Reidenbach, H.-D. Blendung von Flugzeugpiloten als gefährliche Fehlanwendung von Laserpointern – von der Präsentationshilfe zum gefährlichen Blendwerkzeug im Flugverkehr. Fortschritte im Strahlenschutz. Köln : TÜV Media, 2011. FS-2011-155-T.

143. Überprüfung der Kennzeichnung und Leistung von Lasern, die als Verbraucherprodukte auf dem Markt bereitgestellt werden. Jahresbericht der Gewerbeaufsicht. Baden-Württemberg : Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft und Ministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie, Frauen und Senioren, 2012. S. 47.
144. Richtlinie 2009/48/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2009 über die Sicherheit von Spielzeug. ABl. L 170 vom 30.6.2009, S. 1–37.
145. DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1):2008-05: Sicherheit von Lasereinrichtungen - Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen (IEC 60825-1:2007). Deutsche Fassung EN 60825-1:2007.
146. EU-Projekt: Laserpointer. Jahresbericht. Gießen : RP Gießen, 2012. S. 35 -36.
147. Gefährliche Produkte 2013, Informationen zur Produktsicherheit. Dortmund/Berlin/Dresden : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2013.
148. Gefährliche Produkte 2014, Informationen zur Produktsicherheit. Dortmund/Berlin/Dresden : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2014.
149. Dickmann, K. Gefährdung durch Bestrahlung aus Laserpointern – Untersuchungen zur Gefährdung von Piloten und Fahrzeugführern öffentlicher Verkehrsmittel beim Arbeitseinsatz (Abschlussbericht zum DGUV-Forschungsvorhaben). 2014. FP 322 „Laser-pointer“.
150. Gefährliche Produkte 2015, Informationen zur Produktsicherheit. Dortmund/Berlin/Dresden : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2015.
151. Gefährliche Produkte 2016, Informationen zur Produktsicherheit. Dortmund/Berlin/Dresden : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2016.
152. Gefährliche Produkte 2017, Informationen zur Produktsicherheit. Dortmund/Berlin/Dresden : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2017.
153. Studie nichtionisierende Strahlung und Schall. Studie im Auftrag des Direktionsbereich Verbraucherschutz, BAG. Bern : s.n., 2013.
154. Schweizerische Unfallversicherung (Suva). Laserunfälle von 1999-2011. 2012. (unveröffentlichte Angaben der Suva).
155. Hadler, J. und Dowell, M. Accurate, inexpensive testing of laser pointer power for safe operation. Meas. Sci. Technol. 2013. Bd. 24.
156. Hadler, J., Tobares, E. und Dowell, M. Random testing reveals excessive power in commercial laser pointers. Journal of Laser Applications. 2013. Bd. 25.
157. Löfgren, S., Thaug, J. und Lopes, C. Laser pointers and Eye injuries: An analysis of reported cases. s.l. : Swedish Radiation Safety Authority, 2013. Report number: 2013:30.
158. Thaug, J., Lopes, C. und Löfgren, S. Retinal injuries from handheld lasers: An updated report. s.l. : Swedish Radiation Safety Authority, 2015. Report number: 2015:54.
159. Frigerio, F. Risk for general public in the use of handheld laser pointers. Ital. J. Occup. Environ. Hyg. 2015. Bd. 6, (1), 40 - 46.
160. Garten Laser – Das Highlight für Ihren Außenbereich. Der Garten Laser Ratgeber. (<http://garten-laser-test.com/>) - zuletzt besucht 23.07.2017.
161. Garden Laser GS-200RG. (<https://www.laserworld.com/shop/laserworld-lasers/garden-star/laserworld-gs-200rg-move>) - zuletzt besucht 23.07.2017.

162. Vergleich: Fahrradlampen im Test. (<http://www.chip.de/bestenlisten/Bestenliste-Fahrradlampen--index/index/id/1152/>) - zuletzt besucht 23.07.2017.
163. Reidenbach, H.-D. und Dollinger, K. LED-Taschenlampen im polizeilichen Einsatz – Möglichkeiten und Gefahren – Ergebnisse eines Workshops. Eigensicherung & Schusswaffeneinsatz bei der Polizei, Beiträge aus Wissenschaft und Praxis 2009. Frankfurt : Verlag für Polizeiwissenschaft, 2009.
164. Taschen- und Stirnleuchten. test. 2006. (1) S. 78 - 82.
165. Reidenbach, H.-D. Besonderheiten und potenzielle direkte sowie indirekte Wirkungen bei LED-Strahlung. Eigensicherung & Schusswaffeneinsatz bei der Polizei, Beiträge aus Wissenschaft und Praxis 2009. Frankfurt : Verlag für Polizeiwissenschaft, 2009. S. 115 – 146.
166. Reidenbach, H.-D. und Dollinger, K. LED-Taschenlampen – Einsatzmöglichkeiten und potenzielle photobiologische Gefahren. Handbuch für Beleuchtung. Landsberg : ecomed Verlag, 2002.
167. Reidenbach, H.-D., Hofmann, J., Dollinger, K., Ott, G. Abwendungsreaktionen des Menschen gegenüber sichtbarer Laserstrahlung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Bremerhaven : Wirtschaftsverlag NW, 2006. Fb 1069.
168. Reidenbach, H.-D. Gefährdungsbeurteilung/Risikobewertung von intensiven LED-Quellen. Handbuch für Beleuchtung. Landsberg : ecomed Verlag, 2002. 46. Erg.-Lfg. 12/09 (2009), Kap. I – 6.13.10, S. 1 – 22 .
169. Udovičić, L., et al. Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED). Dortmund : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2013. Projektnummer: F 2115.
170. H.R. 658 (112th): FAA Modernization and Reform Act of 2012.
171. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. s.l. : Joint Committee for Guides in Metrology, 2008.
172. DIN EN 62471 Beiblatt 1 (VDE 0837-471 Beiblatt 1) Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen. 2010.
173. DIN EN 62471-5:2017-02: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen - Teil 5: Photobiologische Sicherheit von Lampensystemen für Bildprojektoren (IEC 62471-5:2015). s.l. : Beuth-Verlag, 2017.
174. Berlien, H.-P., et al. Statement on ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent optical radiation. Focus. s.l. : BAUA, 2016.
175. ANSES. Effets sanitaires des systemes d'eclairages utilisant des diodes electroluminescentes. 2010.
176. Berlien, H.-P., et al. Statement on ICNIRP guidelines on limits of exposure to laser radiation. Focus. s.l. : BAUA, 2017.
177. Chisum, G. Flashblindness recovery following exposure to constant energy adaptive flashes. Aerospace Med. 1973. 44:407-413.
178. Reidenbach, H.-D. Local susceptibility of the retina, formation and duration of after images in the case of Class 1 laser products and disability glare arising from high-brightness light emitting diodes. J Las Appl. 2009. 21:46-56.
179. ANSI. ANSI 136.6 - Safe Use Of Lasers Outdoors, LIA. 2015.
180. Advisory Circular AC 70-1: Outdoor laser applications. s.l. : FAA, 2004.

181. Williamson, C.A., et al. Wavelength and ambient luminance dependence of laser eye dazzle. *Appl Opt.* 2017. 56(29):8135-8147.
182. Reidenbach, H.-D. Blendgruppen zur Unterstützung der Risikobewertung optischer Strahlungsquellen. Forschungsbericht 2010. s.l. : Fachhochschule Köln, 2011.
183. Reidenbach, H.-D., et al. Proposal for Classification of Light Sources According to the Capability to Impair Visual Functions Due to Temporary Blinding. CIE 27th Session, Sun City/South Africa. s.l. : CIE, 2011.
184. Reidenbach, H.-D. Paradigm Change for Optical Radiation – Temporary Blinding from Optical Radiation as Part of the Risk Assessment. 13th International Congress of the International Radiation Protection Association, 13 – 18 May 2012. Glasgow, Scotland : IRPA, 2012.
185. Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (NISSG) vom 16. Juni 2017, BBl 2017, 4211.
186. Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (V-NISSG). AS 2019.
187. Laser Misuse (Vehicles) Act 2018 (c. 9). 2018.
188. Galang, J., et al. A Green Laser Pointer Hazard. 2010. NIST Technical Note 1668.
189. ICAO. Manual on Laser Emitters and Flight Safety. ICAO. 2013. Doc 9815 AN/447; First Edition.

11 Anhang

11.1 Messergebnisse untersuchter Fahrradlampen

Sigma Sport Buster 2000

Verpackungsangaben

Marke:

Sigma

Bezeichnung:

Buster 2000 HL

EAN:

4016224170012

Lichtquelle:

3x weiße LED von Cree

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

2000 lm

Risikogruppe/Laserklasse:

Keine Angabe

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung

Kommentar:

k. A.



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 2060 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 1994 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 827 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,149 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 308000 \text{ lx}$$

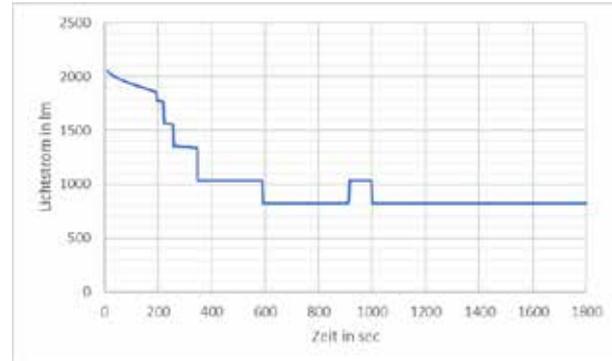
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 19880000 \text{ cd/m}^2$$

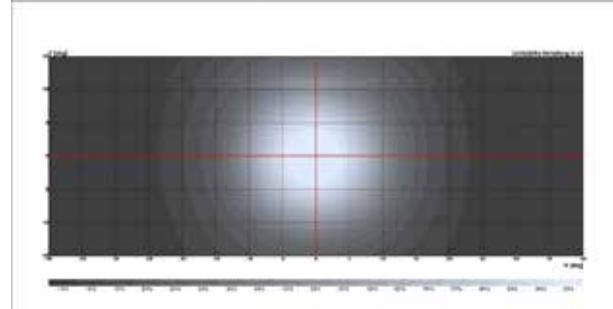
$$L_{11\text{mrad}} = 29710000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 31260000 \text{ cd/m}^2$$

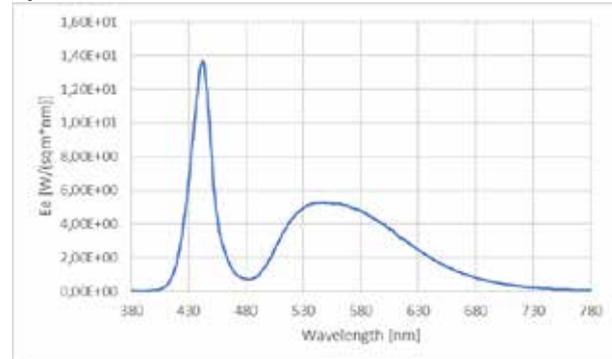
Lichtstrom:



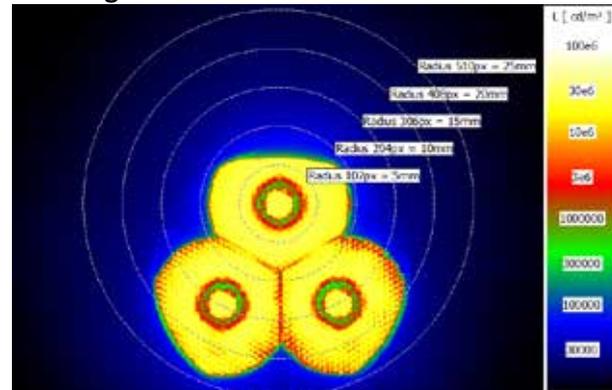
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	1,37	7320
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	33700	29,7
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	395000	2,572
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	60000	60000	60000	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	2,65	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 (RG 1) für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautschädigung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 (RG 2) einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Ergebnisse der Prüfung nach StVZO TA Nr. 23 „Scheinwerfer für Fahrräder“ sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Funktionen	Min	Max	E [lx]	H [°]	V [°]	I.O.?
Maximum	0	-	65,9	-0,15	0,05	I.O.
Line 3,4	0	2	61,4	-0,1	3,4	N.i.O.
L1	0,5E _{max}	-	60,2	-4	0	I.O.
HV	20	-	65,6	0	0	I.O.
R1	0,5E _{max}	-	59,3	4	0	I.O.
2	0,5E _{max}	-	64,9	0	-1,5	I.O.
3	2,5	-	56,1	0	-5	I.O.
L5	2	-	34,2	-8	-5	I.O.
L4	2	-	50,2	-4	-5	I.O.
R4	2	-	49,6	4	-5	I.O.
R5	2	-	32,9	8	-5	I.O.

Die Prüfung ist nicht bestanden, da keine Entblendung über der Linie 3,4 vorhanden. Die Nutzung des Scheinwerfers im Straßenverkehr ist nicht zulässig.

Cat Eye Volt 1600 HL

Verpackungsangaben

Marke:

CatEye

Bezeichnung:

VOLT1600

EAN:

4990173030088

Lichtquelle:

2x LED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

1600 lm

Risikogruppe/Laserklasse:

Keine Angabe

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung

Kommentar:



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 1612 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 1560 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 803 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,148 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 305000 \text{ lx}$$

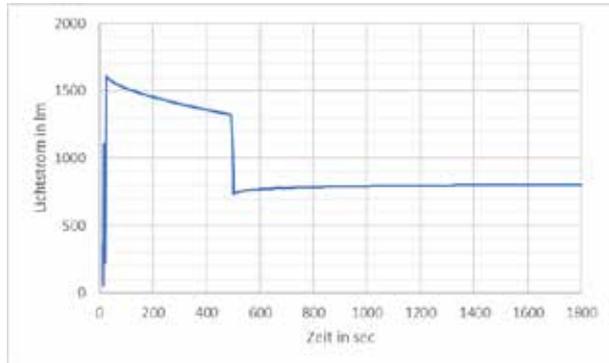
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 20160000 \text{ cd/m}^2$$

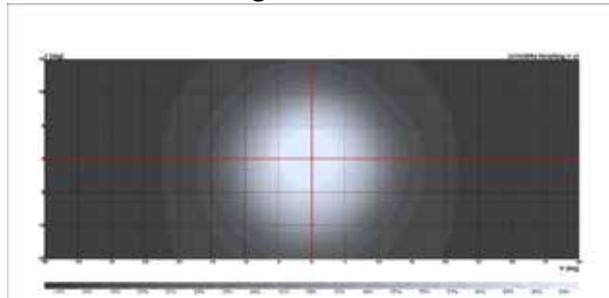
$$L_{11\text{mrad}} = 36900000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 38470000 \text{ cd/m}^2$$

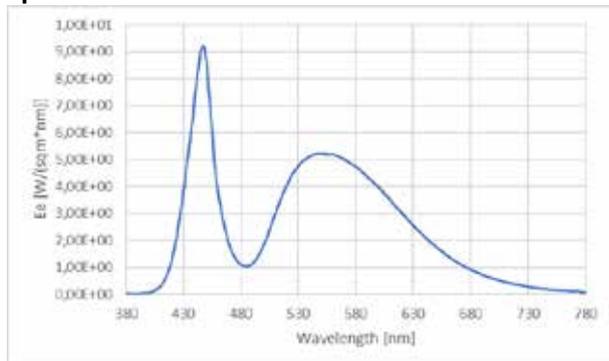
Lichtstrom:



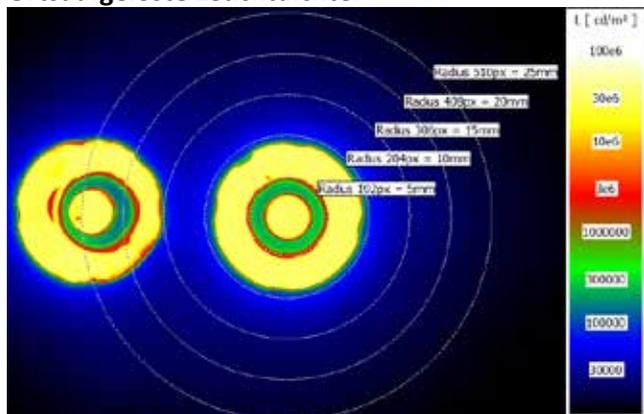
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	1,23	8130
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	33200	30,1
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	405000	2,324
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	60000	60000	60000	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	3,71	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautschädigung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Ergebnisse der Prüfung nach StVZO TA Nr. 23 „Scheinwerfer für Fahrräder“ sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Funktionen	Min	Max	E [lx]	H [°]	V [°]	I.O.?
Maximum	0	0	93,9	-0,15	-0,25	I.O.
Line 3,4	0	2	88,2	0,5	3,4	N.i.O.
L1	0,5E _{max}	-	84,4	-4	0	I.O.
HV	20	-	93,3	0	0	I.O.
R1	0,5E _{max}	-	86,0	4	0	I.O.
2	0,5E _{max}	-	91,8	0	-1,5	I.O.
3	2,5	-	78,7	0	-5	I.O.
L5	2	-	44,1	-8	-5	I.O.
L4	2	-	69,9	-4	-5	I.O.
R4	2	-	71,8	4	-5	I.O.
R5	2	-	51,5	8	-5	I.O.

Die Prüfung ist nicht bestanden, da keine Entblendung über der Linie 3,4 vorhanden. Die Nutzung des Scheinwerfers im Straßenverkehr ist nicht zulässig.

Philips SafeRide 80 LED Bike Light

Verpackungsangaben

Marke:

Philips

Bezeichnung:

Saferide 80

EAN:

8727900387605

Lichtquelle:

2x Luxeon RebelLED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

Beleuchtungsstärke 80 lx

Risikogruppe/Laserklasse:

keine Angabe

Warnhinweise:

keine

Kommentar:

StVZO zugelassen



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 276 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 272 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 262 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,145 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 74100 \text{ lx}$$

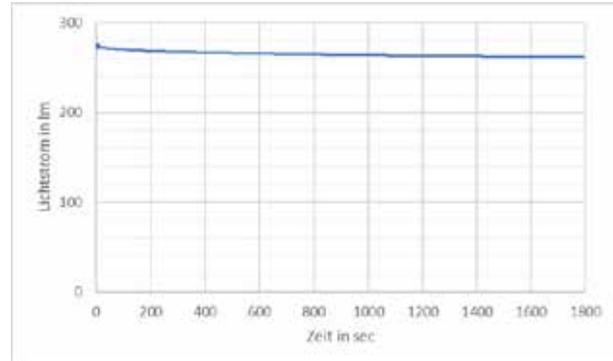
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 6393000 \text{ cd/m}^2$$

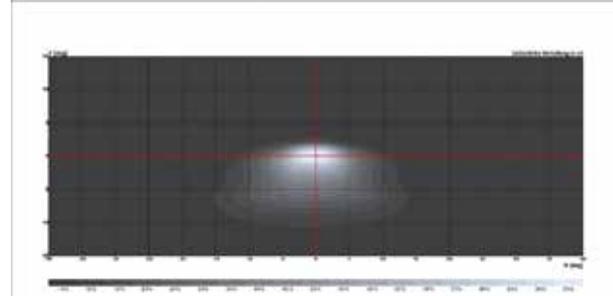
$$L_{11\text{mrad}} = 16420000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 21980000 \text{ cd/m}^2$$

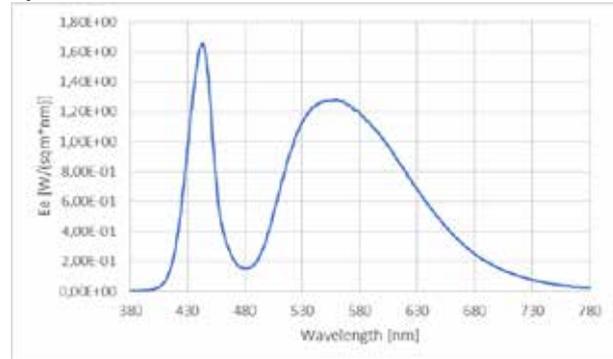
Lichtstrom:



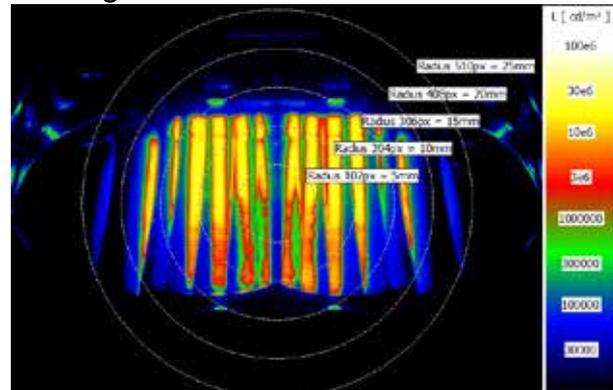
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risiko-frei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	0,23	∞
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	14230	70,3
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	138600	169,5
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	60000	60000	60000	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	1,01	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Ergebnisse der Prüfung nach StVZO TA Nr. 23 „Scheinwerfer für Fahrräder“ sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Funktionen	Min	Max	E [lx]	H [°]	V [°]	I.O.?
Maximum	0	0	86,2	0,1	0	I.O.
Line 3,4	0	2	1,9	1,3	3,4	I.O.
L1	0,5E _{max}	-	50,2	-4	0	I.O.
HV	20	-	85,9	0	0	I.O.
R1	0,5E _{max}	-	49,0	4	0	I.O.
2	0,5E _{max}	-	60,5	0	-1,5	I.O.
3	2,5	-	27,6	0	-5	I.O.
L5	2	-	16,2	-8	-5	I.O.
L4	2	-	25,1	-4	-5	I.O.
R4	2	-	24,2	4	-5	I.O.
R5	2	-	14,8	8	-5	I.O.

Die Prüfung ist bestanden.

busch+müller B + M Lumotec IQX E 150 Lux

Verpackungsangaben

Marke:

Busch+Müller

Bezeichnung:

B + M Lumotec IQX E 150 Lux

EAN:

4006021011298

Lichtquelle:

2x LED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

Beleuchtungsstärke 150 lx

Risikogruppe/Laserklasse:

keine Angabe

Warnhinweise:

keine

Kommentar:

StVZO zugelassen



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 404 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 379 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 320 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,076 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 184000 \text{ lx}$$

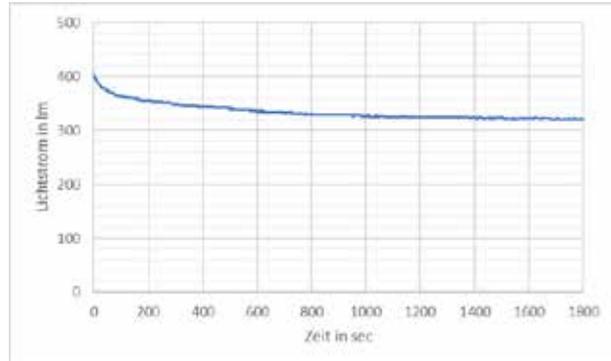
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 21040000 \text{ cd/m}^2$$

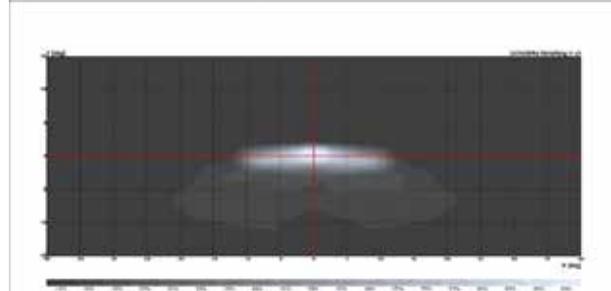
$$L_{11\text{mrad}} = 64270000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 68870000 \text{ cd/m}^2$$

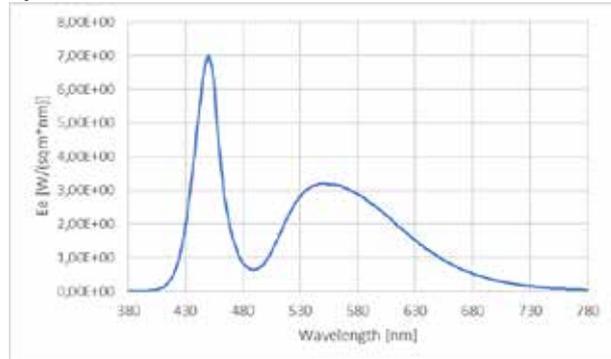
Lichtstrom:



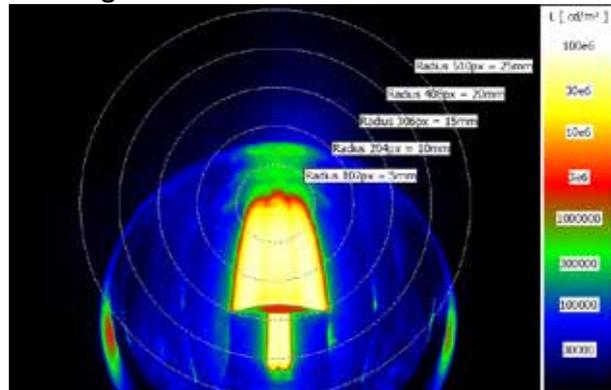
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	0,69	14540
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	71700	13,95
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	368421	368421	934211	846000	0,356
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	78947	78947	78947	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	2,01	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautschädigung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Ergebnisse der Prüfung nach StVZO TA Nr. 23 „Scheinwerfer für Fahrräder“ sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Funktionen	Min	Max	E [lx]	H[°]	V[°]	I.O.?
Maximum	0	0	108,2	0,2	-0,05	I.O.
Line 3,4	0	2	0,8	0,3	3,4	I.O.
L1	0,5E _{max}	-	77,8	-4	0	I.O.
HV	20	-	106,6	0	0	I.O.
R1	0,5E _{max}	-	76,9	4	0	I.O.
2	0,5E _{max}	-	49,1	0	-1,5	N.i.O.
3	2,5	-	10,2	0	-5	I.O.
L5	2	-	10,4	-8	-5	I.O.
L4	2	-	10,9	-4	-5	I.O.
R4	2	-	10,9	4	-5	I.O.
R5	2	-	10,8	8	-5	I.O.

Die Mindestbeleuchtungsstärke am Punkt 2 wird um ca. 10% verfehlt. Laut StVZO TA Nr. 2(5) ist bei Nachprüfungsmessungen eine Abweichung von 20% zulässig. Die Prüfung ist somit bestanden.

eBay 10000LM 3x XML T6 LED USB

Verpackungsangaben

Marke:

no name

Bezeichnung:

10000LM 3x XML T6 LED USB

EAN:

Lichtquelle:

3x Cree XML LEDs

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

10000 lm

Risikogruppe/Laserklasse:

keine Angabe

Warnhinweise:

keine

Kommentar:

keine Verpackung, keine Bedienungsanleitung, Direktimport aus China über eBay



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 177 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 174 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 160 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,194 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 29300 \text{ lx}$$

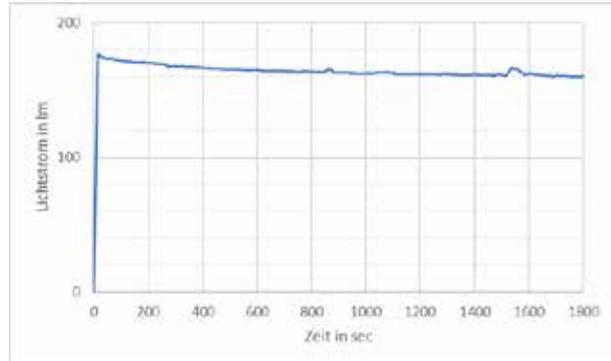
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 2363000 \text{ cd/m}^2$$

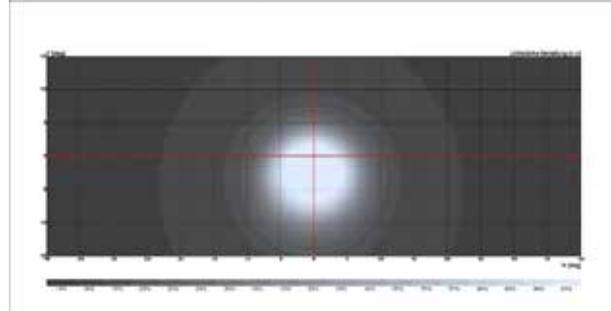
$$L_{11\text{mrad}} = 5052000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 6699000 \text{ cd/m}^2$$

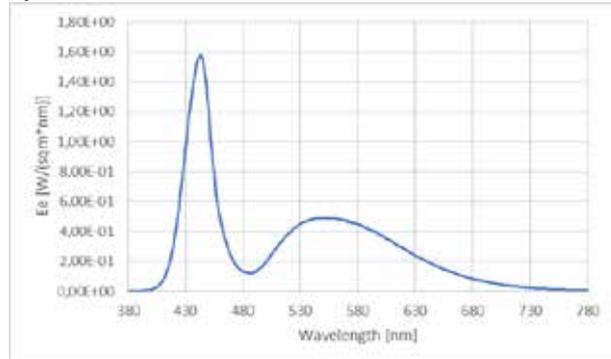
Lichtstrom:



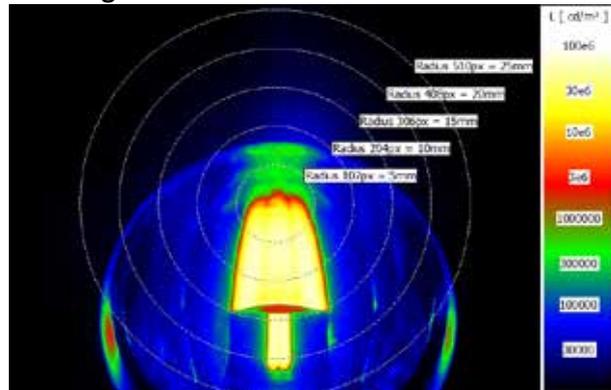
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	0,09	∞
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	8000	125
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	89400	979
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	60000	60000	60000	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	0,31	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 0 für die Blaulichtgefährdung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 1 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist nicht erforderlich.

Die Ergebnisse der Prüfung nach StVZO TA Nr. 23 „Scheinwerfer für Fahrräder“ sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Funktionen	Min	Max	E [lx]	H [°]	V [°]	I.O.?
Maximum	0	0	17,3	0	0,8	I.O.
Line 3,4	0	2	10,3	0,1	3,4	N.i.O.
L1	0,5E _{max}	-	14,8	-4	0	I.O.
HV	20	-	17,0	0	0	N.i.O.
R1	0,5E _{max}	-	14,9	4	0	I.O.
2	0,5E _{max}	-	16,2	0	-1,5	I.O.
3	2,5	-	15,6	0	-5	I.O.
L5	2	-	5,6	-8	-5	I.O.
L4	2	-	14,7	-4	-5	I.O.
R4	2	-	14,9	4	-5	I.O.
R5	2	-	5,4	8	-5	I.O.

Die Prüfung ist nicht bestanden, da zum einen die Mindestbeleuchtungsstärke nicht erreicht wird als auch keine Entblendung über der Linie 3,4 vorhanden ist. Die Nutzung des Scheinwerfers im Straßenverkehr ist nicht zulässig.

11.2 Messergebnisse untersuchter LED-Taschenlampen

Zweibrüder Ledlenser P7R

Verpackungsangaben

Marke:

LED LENSER

Bezeichnung:

P7R

EAN:

4029113940801

Lichtquelle:

1x LED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

1000 lm

Risikogruppe/Laserklasse:

RG2

Warnhinweise:

Beipackzettel, Warnaufkleber

Kommentar:



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 939 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 639 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 325 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,165 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke (Zoom in):

$$E = 601000 \text{ lx}$$

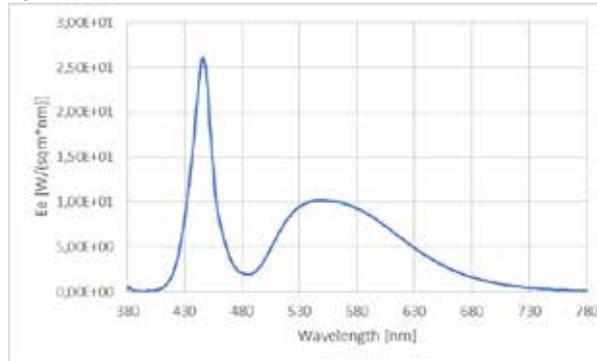
Leuchtdichte (Zoom in):

$$L_{100\text{mrad}} = 32990000 \text{ cd/m}^2$$

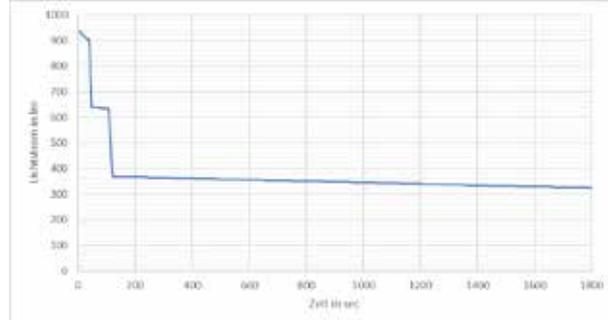
$$L_{11\text{mrad}} = 42710000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 43390000 \text{ cd/m}^2$$

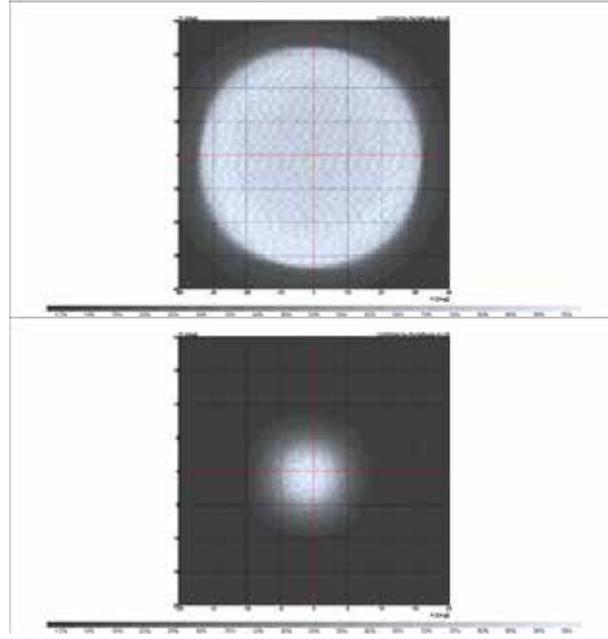
Spektrum:



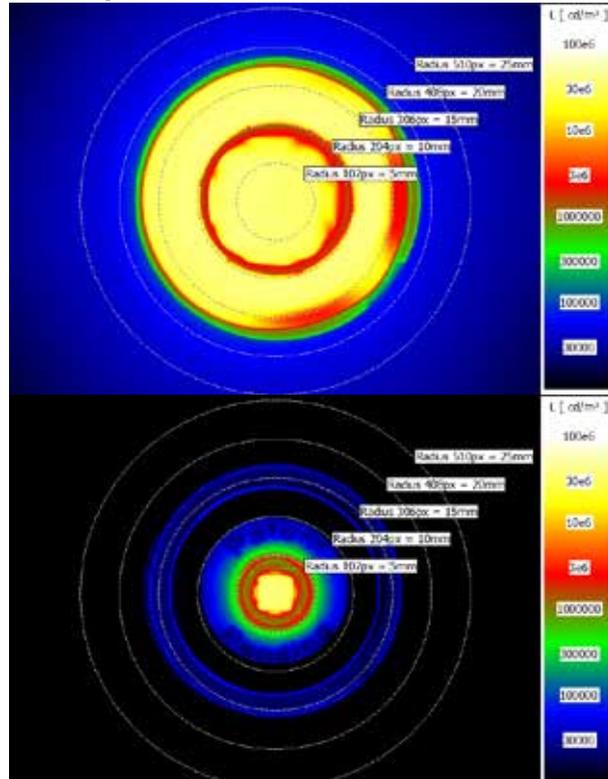
Lichtstrom:



Lichtstärkeverteilung:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	3,69	2708
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	45600	21,93
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	537000	0,753
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	60000	60000	60000	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	5,08	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautschädigung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Auswertung nach ANSI FL 1-2009 führt zu folgenden Ergebnissen:

Leuchtweite	293 m
Maximale Lichtstärke	21578 cd
Lichtstrom	639 lm

Die aus den Messergebnissen berechnete Leuchtweite übersteigt die Verpackungsangaben (210m). Der Lichtstrom nach ANSI FL1-2009 (nach 30 sec) ist geringer als die Verpackungsangabe von 1000lm, allerdings gibt der Hersteller den Lichtstrom beim Einschalten an. Dieser deckt sich wiederum ausreichend genau mit den Messwerten.

Fenix E35 Ultimate Edition

Verpackungsangaben

Marke:

Fenix

Bezeichnung:

E35 UE

EAN:

6942870303673

Lichtquelle:

1x Cree XML2 U2 LED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

1000 lm

Risikogruppe/Laserklasse:

keine Angabe

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung

Kommentar:



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 979 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 966 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 388 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,088 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 205000 \text{ lx}$$

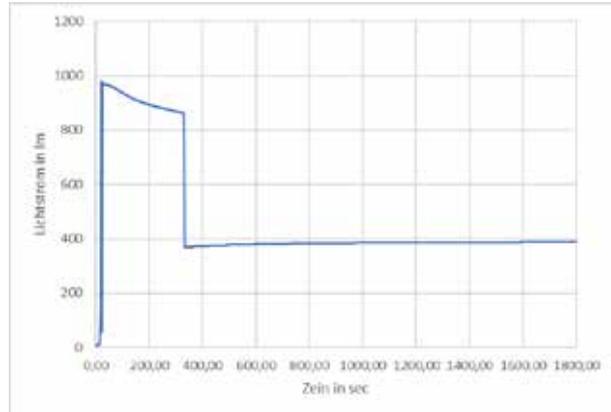
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 24430000 \text{ cd/m}^2$$

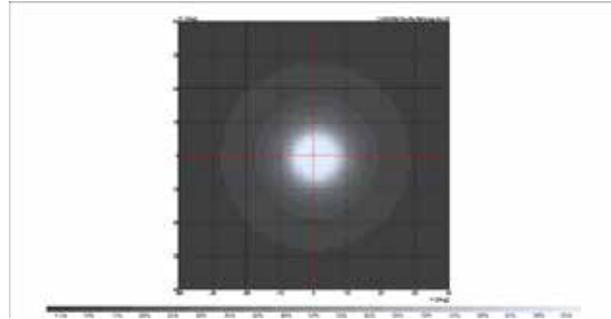
$$L_{11\text{mrad}} = 41000000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 42410000 \text{ cd/m}^2$$

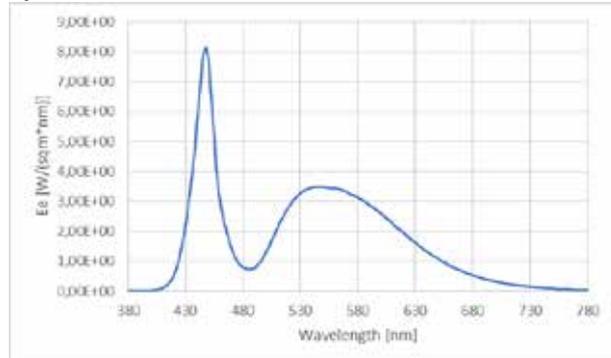
Lichtstrom:



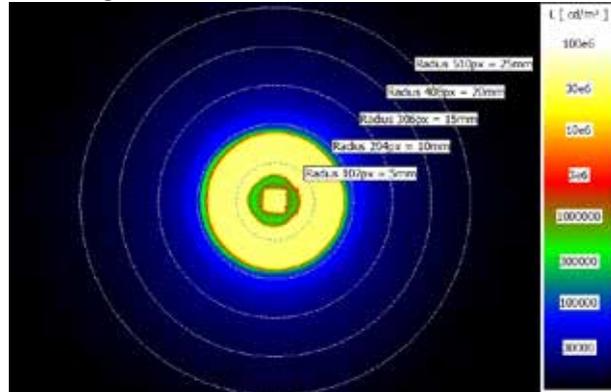
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	0,76	13170
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	41300	24,19
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	318182	318182	806818	492000	1,779
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	68182	68182	68182	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	1,80	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautschädigung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Auswertung nach ANSI FL 1-2009 führt zu folgenden Ergebnissen:

Leuchtweite	163 m
Maximale Lichtstärke	6674 cd
Lichtstrom	966 lm

Die aus Messergebnisse entsprechen ausreichend genau den Verpackungsangaben (160m, 6400cd, 1000lm).

Klarus XT11GT

Verpackungsangaben

Marke:

Klarus

Bezeichnung:

XT11GT

EAN:

X000MUC2MZ

Lichtquelle:

1x Cree XPH35 HD E4 LED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

2000 lm

Risikogruppe/Laserklasse:

keine Angabe

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung

Kommentar:



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 1433 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 1394 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 710 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,088 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 427000 \text{ lx}$$

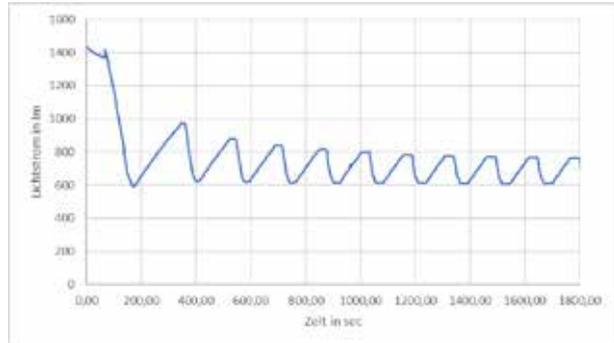
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 26040000 \text{ cd/m}^2$$

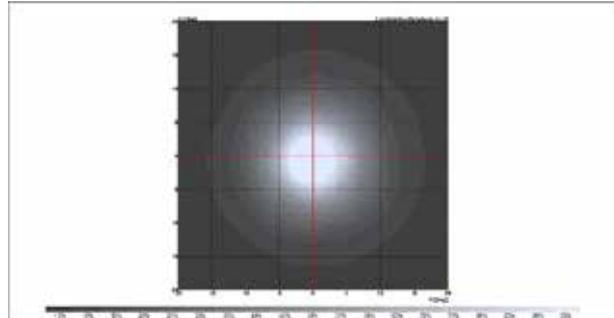
$$L_{11\text{mrad}} = 36050000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 38080000 \text{ cd/m}^2$$

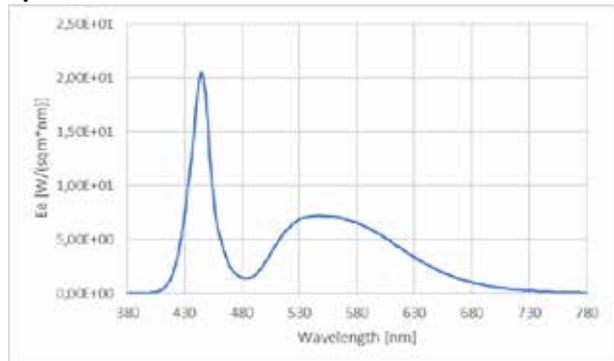
Lichtstrom:



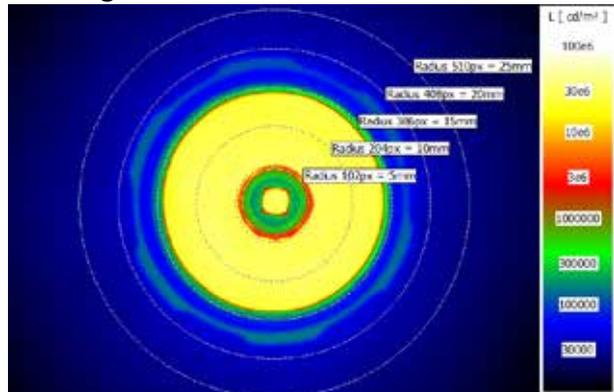
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	1,70	5880
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	44100	22,66
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	318182	318182	806818	511000	1,526
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	68182	68182	68182	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	2,86	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautschädigung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Auswertung nach ANSI FL 1-2009 führt zu folgenden Ergebnissen:

Leuchtweite	90,5 m
Maximale Lichtstärke	2046 cd
Lichtstrom	1394 lm

Die Verpackungsangaben werden deutlich verfehlt.

MagLight MAGTAC TRM4RA4

Verpackungsangaben

Marke:

MAGTAC

Bezeichnung:

TRM4RA4

EAN:

03873968023

Lichtquelle:

1x LED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

543 lm

Risikogruppe/Laserklasse:

keine Angabe

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung

Kommentar:



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 501 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 473 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 438 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,114 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 179000 \text{ lx}$$

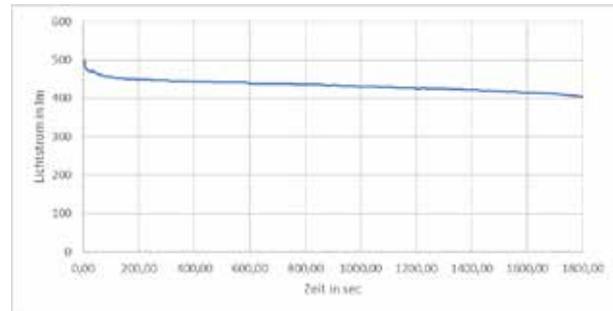
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 18170000 \text{ cd/m}^2$$

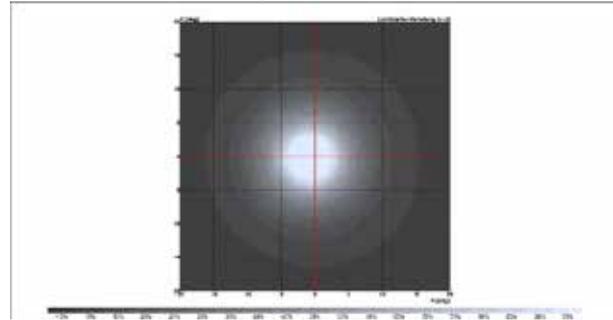
$$L_{11\text{mrad}} = 21910000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 23540000 \text{ cd/m}^2$$

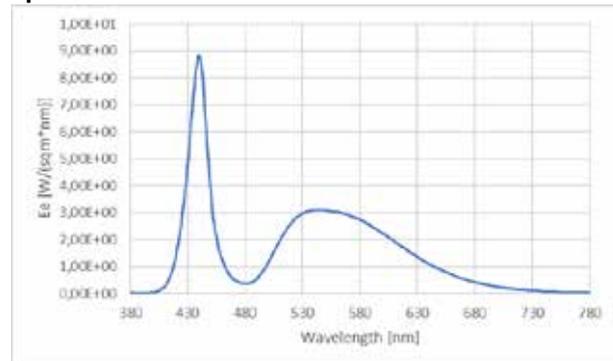
Lichtstrom:



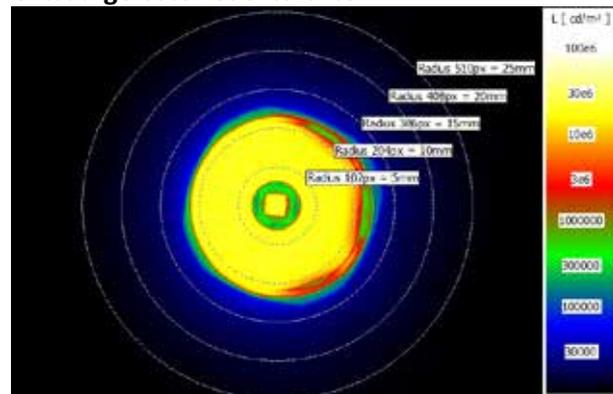
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	1,11	9000
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	26940	37,1
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	312000	6,58
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	60000	60000	60000	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	1,34	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautschädigung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Auswertung nach ANSI FL 1-2009 führt zu folgenden Ergebnissen:

Leuchtweite	166 m
Maximale Lichtstärke	472 cd
Lichtstrom	6921 lm

Die Verpackungsangaben werden in Bezug auf Leuchtweite um 8% und Lichtstärke bzw. Lichtstrom um 15% verfehlt, was der üblichen Toleranz von ±15% entspricht.

uniTEC PRO500F

Verpackungsangaben

Marke:
uniTEC

Bezeichnung:
PRO—500F

EAN:
4008153496011

Lichtquelle:
1x Cree LED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:
500 lm

Risikogruppe/Laserklasse:
RG 2

Warnhinweise:
In der Bedienungsanleitung

Kommentar:



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 608 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 589 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 563 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,224 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 275000 \text{ lx}$$

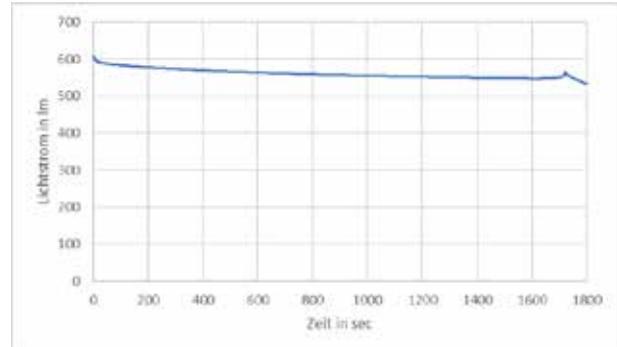
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 14720000 \text{ cd/m}^2$$

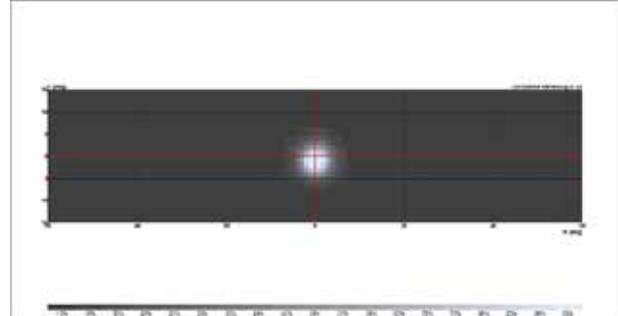
$$L_{11\text{mrad}} = 28510000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 30450000 \text{ cd/m}^2$$

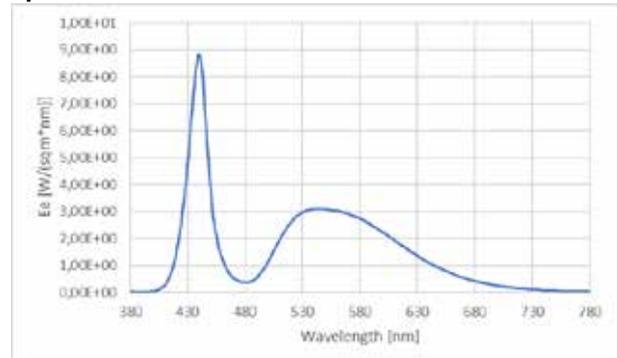
Lichtstrom:



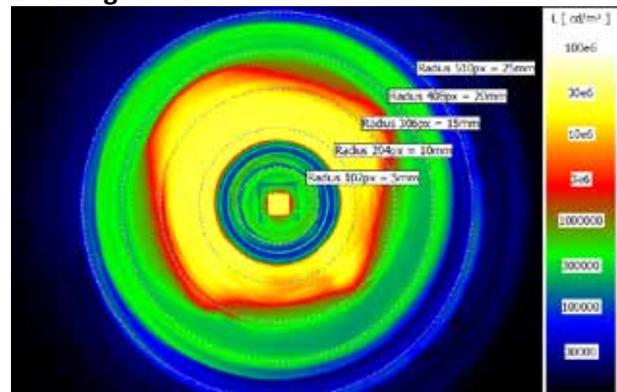
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	0,88	11430
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	25400	39,4
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	280000	280000	710000	310000	6,78
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	60000	60000	60000	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	2,36	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautschädigung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Auswertung nach ANSI FL 1-2009 führt zu folgenden Ergebnissen:

Leuchtweite	339 m
Maximale Lichtstärke	28723 cd
Lichtstrom	589 lm

Die Verpackungsangaben werden überschritten.

eBay 1x 10000 Lumen XML LED T6

Verpackungsangaben

Marke:

no name

Bezeichnung:

1x 10000 Lumen XML LED T6

EAN:

Lichtquelle:

1x LED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

Risikogruppe/Laserklasse:

keine Angabe

Warnhinweise:

keine

Kommentar:

keine Verpackung, keine Bedienungsanleitung, Direktimport aus China über eBay



Messergebnisse

Lichtstrom:

$\Phi_{\text{sofort}} = 238 \text{ lm}$
 $\Phi_{30\text{sec}} = 218 \text{ lm}$
 $\Phi_{30\text{min}} = 152 \text{ lm}$

Augenbild:

$\alpha = 0,076 \text{ rad}$

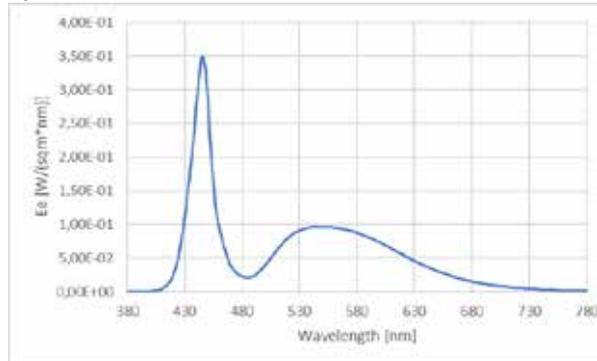
Beleuchtungsstärke (Zoom in):

$E = 5780 \text{ lx}$

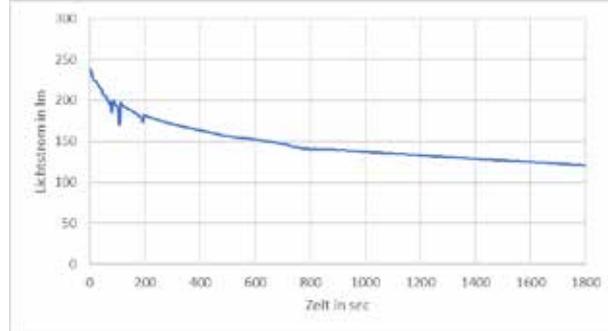
Leuchtdichte (Zoom in):

$L_{100\text{mrad}} = 8798000 \text{ cd/m}^2$
 $L_{11\text{mrad}} = 18760000 \text{ cd/m}^2$
 $L_{1,7\text{mrad}} = 21460000 \text{ cd/m}^2$

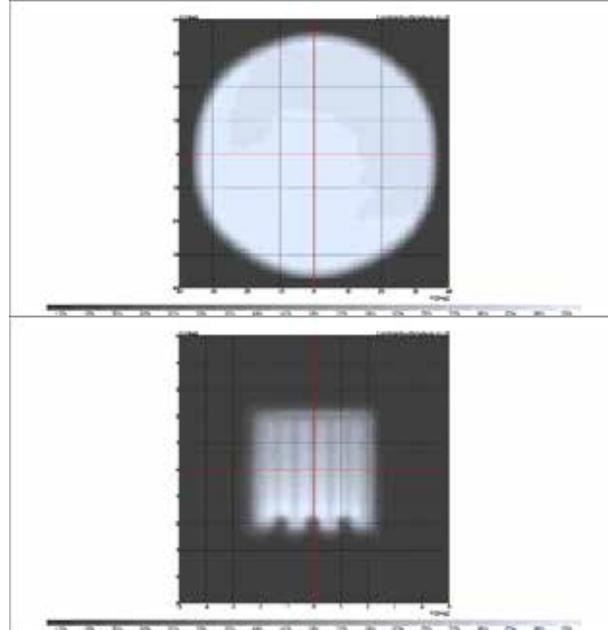
Spektrum:



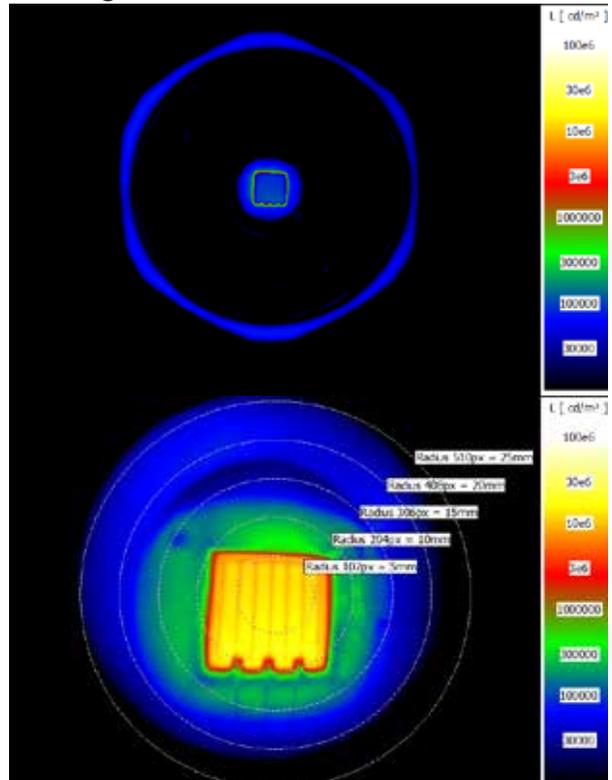
Lichtstrom:



Lichtstärkeverteilung:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	0,01	∞
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	30100	33,2
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	368421	368421	534210	298000	24,37
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	78947	78947	78947	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	0,06	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Auswertung nach ANSI FL 1-2009 führt zu folgenden Ergebnissen:

Leuchtweite	242 m
Maximale Lichtstärke	14660 cd
Lichtstrom	218 lm

Keine Verpackungsangaben vorhanden. Der beworbene Lichtstrom von 10000lm wird deutlich verfehlt.

ThruNite TN42 Max 2000 Lumen Kaltweiß CREE XHP 35 Hi

Verpackungsangaben

Marke:

Thrunite

Bezeichnung:

TN42

EAN:

X000KYLT31

Lichtquelle:

1x Cree XHP35 HI LED

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

2000 lm

Risikogruppe/Laserklasse:

RG 2

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung

Kommentar:



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 2106 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 1960 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 1830 \text{ lm}$$

Augenbild:

$$\alpha = 0,011 \text{ rad}$$

Beleuchtungsstärke:

$$E = 167200 \text{ lx}$$

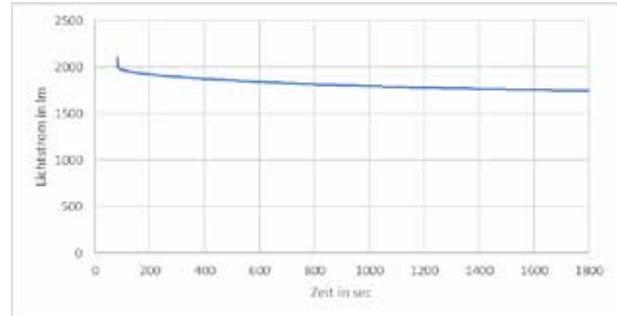
Leuchtdichte:

$$L_{100\text{mrad}} = 12890000 \text{ cd/m}^2$$

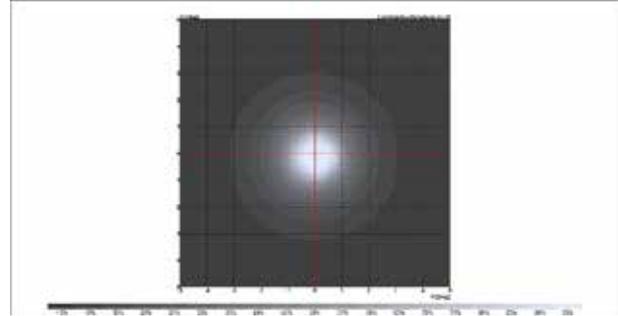
$$L_{11\text{mrad}} = 119800000 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{1,7\text{mrad}} = 147600000 \text{ cd/m}^2$$

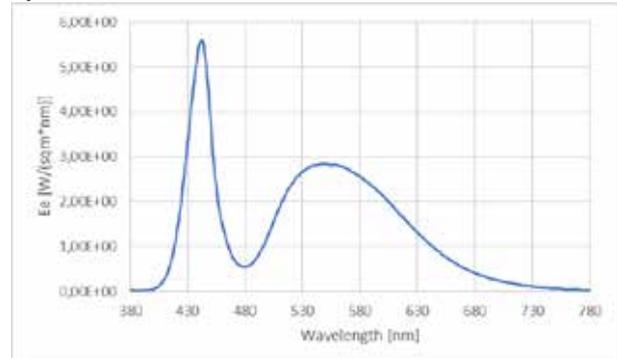
Lichtstrom:



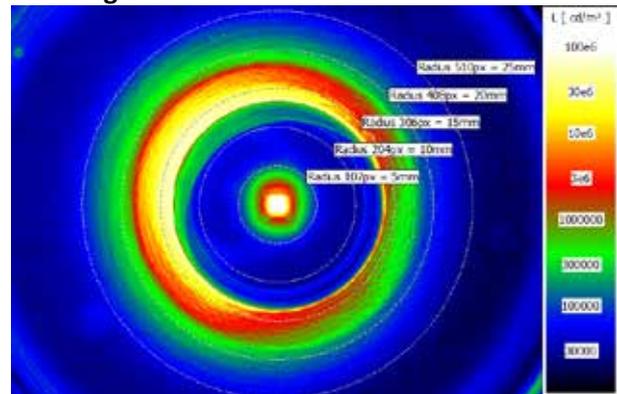
Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Ortsaufgelöste Leuchtdichte:



Auswertung

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Belichtung in sec
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	0,90	11140
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	142500	7,02
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	2545455	2545455	6454545	1375000	104,1
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	545455	545455	545455	-	-
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	1,38	∞

* Nicht zutreffend

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 für die Blaulichtgefährdung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 einzuordnen und eine Kennzeichnung ist erforderlich.

Die Auswertung nach ANSI FL 1-2009 führt zu folgenden Ergebnissen:

Leuchtweite	1658 m
Maximale Lichtstärke	687616 cd
Lichtstrom	1960 lm

Die Leuchtweite und die maximale Lichtstärke liegen über den Verpackungsangaben. Der Lichtstrom entspricht ausreichend genau dem Datenblattwert von 2000lm.

11.3 Messergebnisse untersuchter Laser-Taschenlampen

Laser Genetics NS300 Subzero

Verpackungsangaben

Marke:

Laser Genetics

Bezeichnung:

NS300

EAN:

29367606829

Lichtquelle:

HL-Laser 520nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

≤ 1 mW (Stärke für Klassifizierung)

≤ 18 mW (Abgestrahlte Stärke gesamt)

Risikogruppe/Laserklasse:

2M

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät

Kommentar:

Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 4,7 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 4,7 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 4,7 \text{ lm}$$

Wellenlänge:

$$\lambda = 523 \text{ nm}$$

Augenbild:

$$\alpha_{\text{mess}} = 0,84 \text{ \& } 0,67 \text{ mrad}$$

Leistungsmessung:

$$P_{\text{Bed3}} = 0,91 \text{ mW}$$

$$P_{\text{Bed1}} = 9,20 \text{ mW}$$

Divergenz:

$$x: 0,62 \text{ y: } 0,62 \text{ mrad}$$

NOHD:

$$17,5 \text{ m}$$

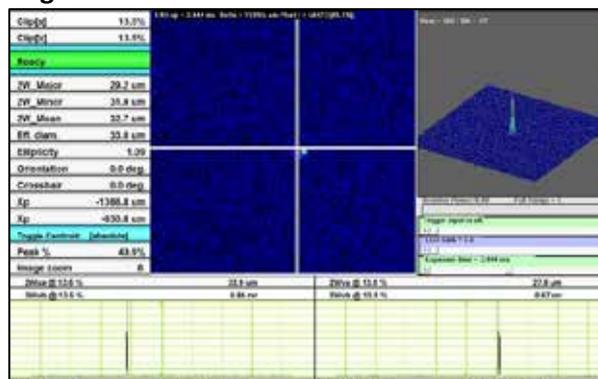
Kommentar:

Keine Pulsung und keine Überhöhung im Einschaltmoment.

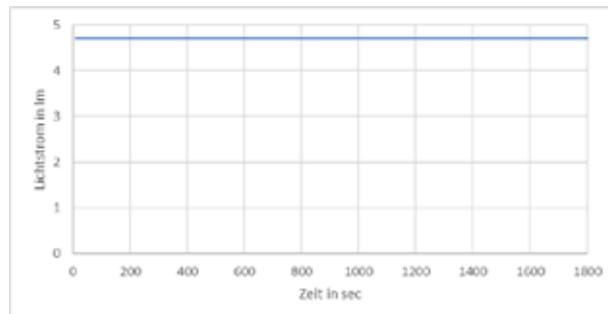
Die Strahldivergenz lässt sich einstellen, keine konvergente Strahlform möglich. Messung und Bewertung erfolgt bei der kritischsten Einstellung mit einem sehr gut kollimierten Laserstrahl.

Für eine genauere Betrachtung des Augenbildes nach Bedingung 1 siehe Picotronic PLD800.

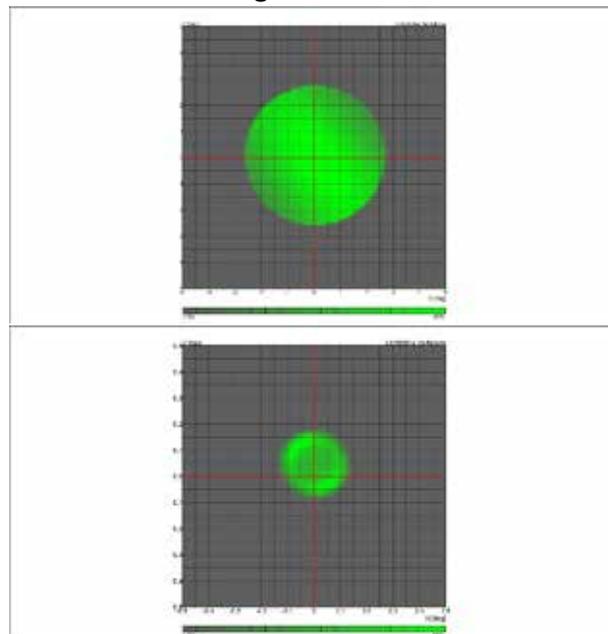
Augenbild:



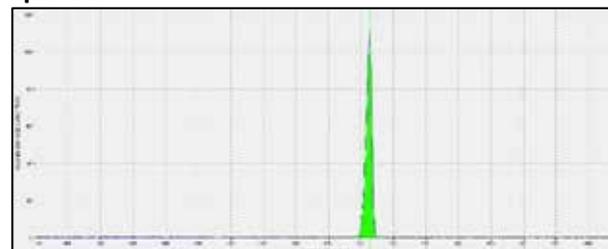
Lichtstrom:



Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 523 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Der Laserstrahl hat einen Durchmesser von über 7 mm und ist sehr gut kollimiert. Die Bewertung erfolgt deshalb nach Bedingung 1 mit einer Messblende von 50 mm und Bedingung 3 mit einer Messblende von 7 mm Durchmesser.

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_{k, \text{Bed}1} = 9,20 \text{ mW} * 1,04 = 9,57 \text{ mW}$$

$$P_{k, \text{Bed}3} = 0,91 \text{ mW} * 1,04 = 0,95 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Bedingung 1			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung	Δ
1	0,39 mW	9,57 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		191 %
3B	500 mW		2 %

Bedingung 3			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung	Δ
1	0,39 mW	0,95 mW	244 %
2	1 mW		95 %
3R	5 mW		19 %

Die emittierte Laserleistung nach Bedingung 1 ist größer als der GZS für Klasse 2 und geringer als der GZS für Klasse 3B. Nach Bedingung 3 ist die emittierte Laserleistung geringer als der GZS der Klasse 2. Damit wird das System in die Laserklasse 2M eingestuft.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht ganz korrekt. Die deklarierte Laserklasse 2M und die Laserleistung $< 1 \text{ mW}$ entspricht den gemessenen Werten. Die Wellenlänge zeigt mit 523 nm eine geringe Abweichung von 3 nm von der deklarierten Wellenlänge von 520 nm.

Parforce Laser Taschenlampe DGL8

Verpackungsangaben

Marke:

Parforce

Bezeichnung:

DGL8

EAN:

4055132000608

Lichtquelle:

HL-Laser 520nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

≤ 8 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2M

Warnhinweise:

Auf dem Gerät

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung und dem Gerät.

Keine Bedienungsanleitung beiliegend.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2015-07.



Messergebnisse

Lichtstrom:

$\Phi_{\text{sofort}} = 3,1 \text{ lm}$

$\Phi_{30\text{sec}} = 3,1 \text{ lm}$

$\Phi_{30\text{min}} = 3,1 \text{ lm}$

Wellenlänge:

$\lambda = 510 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 0,67 \text{ \& } 0,67 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

PBed3 = 0,88 mW

PBed1 = 8,06 mW

Divergenz:

x: 0,59; y: 0,59 mrad

NOHD:

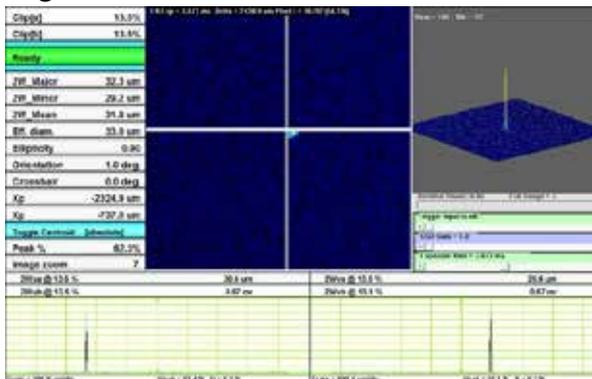
17,6m

Kommentar:

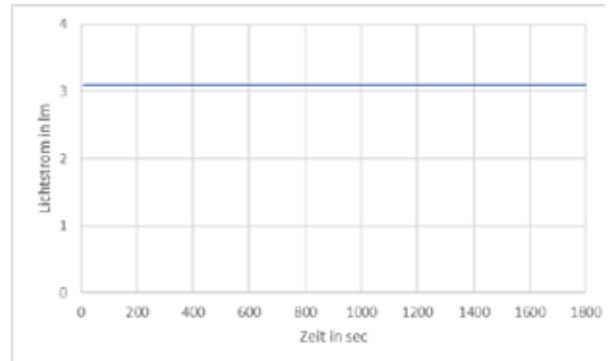
Keine Pulsung und minimale Überhöhung im Einschaltmoment.

Die Strahldivergenz lässt sich einstellen, keine konvergente Strahlform möglich. Messung und Bewertung erfolgt bei der kritischsten Einstellung mit einem sehr gut kollimierten Laserstrahl. Für eine genauere Betrachtung des Augenbildes nach Bedingung 1 siehe Picotronic PLD800.

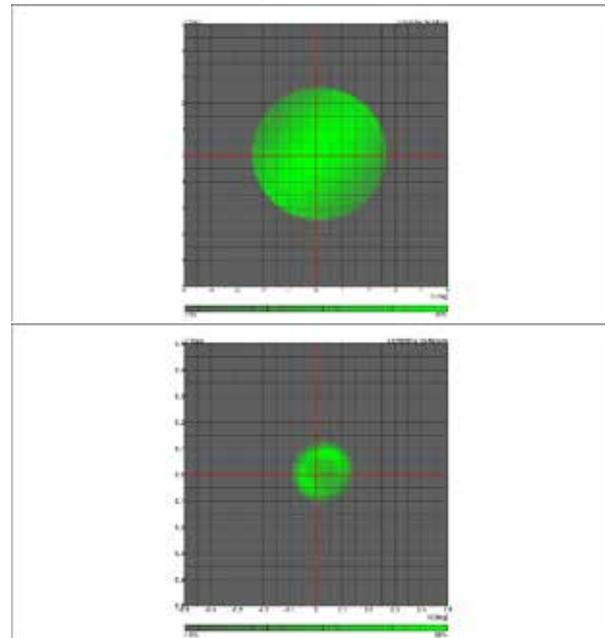
Augenbild:



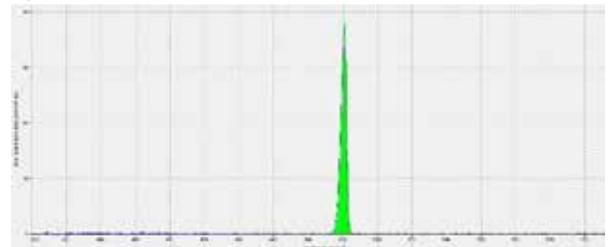
Lichtstrom:



Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 510 \text{ nm}$
- ungeladene Strahlung

Der Laserstrahl hat einen Durchmesser von über 7 mm und ist sehr gut kollimiert. Die Bewertung erfolgt deshalb nach Bedingung 1 mit einer Messblende von 50 mm und Bedingung 3 mit einer Messblende von 7 mm Durchmesser.

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_{k, \text{Bed}1} = 8,06 \text{ mW} * 1,04 = 8,38 \text{ mW}$$

$$P_{k, \text{Bed}3} = 0,88 \text{ mW} * 1,04 = 0,92 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Bedingung 1			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung	Δ
1	0,39 mW	8,38 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		168 %
3B	500 mW		2 %

Bedingung 3			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung	Δ
1	0,39 mW	0,92 mW	236 %
2	1 mW		92 %
3R	5 mW		18 %

Die emittierte Laserleistung nach Bedingung 1 ist größer als der GZS für Klasse 2 und geringer als der GZS für Klasse 3B. Nach Bedingung 3 ist die emittierte Laserleistung geringer als der GZS der Klasse 2. Damit wird das System in die Laserklasse 2M eingestuft.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht korrekt. Die angegebene maximale Laserleistung von $\leq 8 \text{ mW}$ ist geringer als die gemessene Laserleistung von 8,38 mW. Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 510 nm eine Abweichung von 10 nm von den angegebenen 520 nm. Die deklarierte Laserklasse 2M ist korrekt.

Picotronic PLD800

Verpackungsangaben

Marke:

Picotronic

Bezeichnung:

PLD800

EAN:

80174028

Lichtquelle:

Laser 520 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

≤ 8 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2M

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung

Kommentar:

CE Konformitätserklärung sowie Prüfbericht nach DIN EN 60825-1:2015-07 in der Bedienungsanleitung.

Keine Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Lichtstrom:

$$\Phi_{\text{sofort}} = 3,7 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{sec}} = 3,7 \text{ lm}$$

$$\Phi_{30\text{min}} = 3,7 \text{ lm}$$

Wellenlänge:

$$\lambda = 517 \text{ nm}$$

Augenbild:

$$\alpha_{\text{mess}} = 0,67 \text{ \& } 0,67 \text{ mrad}$$

Leistungsmessung:

$$P_{\text{Bed3}} = 0,85 \text{ mW}$$

$$P_{\text{Bed1}} = 8,32 \text{ mW}$$

Divergenz:

$$x: 0,60; y: 0,59 \text{ mrad}$$

NOHD:

$$17,3 \text{ m}$$

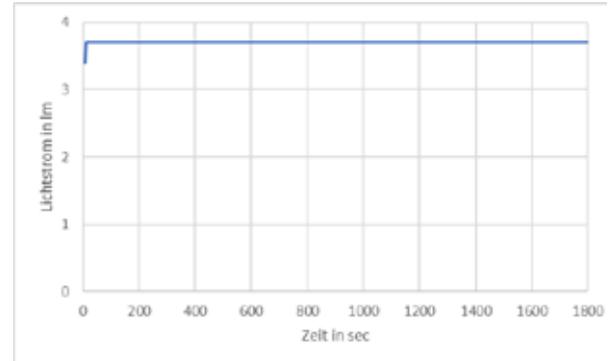
Kommentar:

Keine Pulsung und keine Überhöhung im Einschaltmoment.

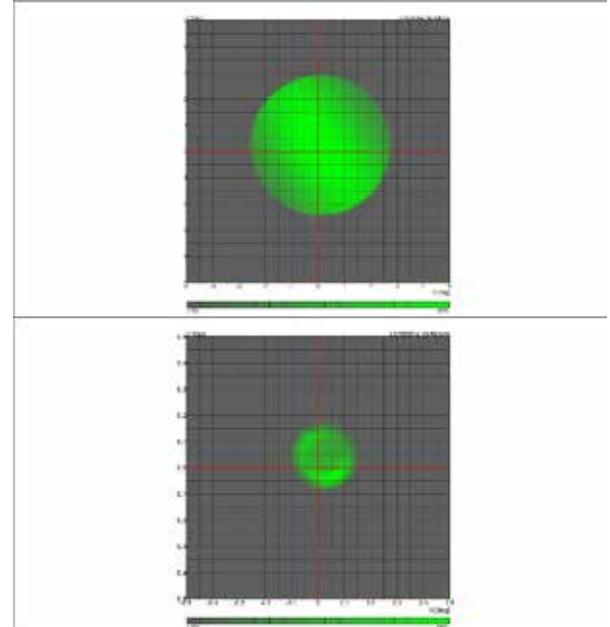
Die Strahldivergenz lässt sich einstellen, keine konvergente Strahlform möglich. Messung und Bewertung erfolgt bei der kritischsten Einstellung mit einem sehr gut kollimierten Laserstrahl. Für die Bewertung nach Bedingung 1 wird das Augenbild noch mit einer anderen Optik vermessen um eine höhere Auflösung zu erzielen. Dabei ergibt sich ein Augenbild mit $\alpha_{\text{mess}} = 0,18 \text{ \& } 0,18 \text{ mrad}$.

Augenbild:

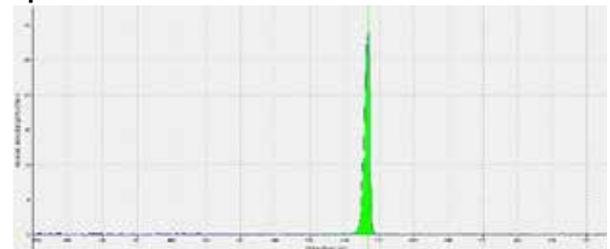
Lichtstrom:

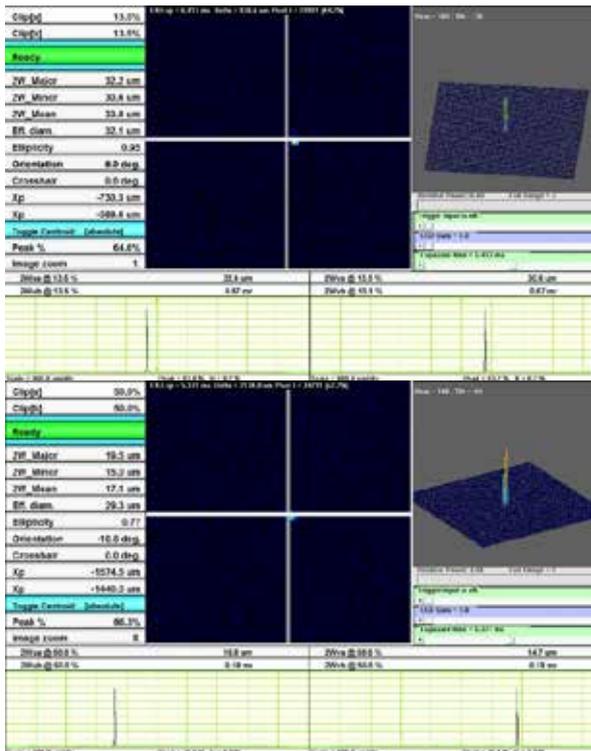


Lichtstärkeverteilung:



Spektrum:





Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$; durch Messungen mit höherer Auflösung auch für Bedingung 1 überprüft)
- Wellenlänge $\lambda = 517 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Der Laserstrahl hat einen Durchmesser von über 7 mm und ist sehr gut kollimiert. Die Bewertung erfolgt deshalb nach Bedingung 1 mit einer Messblende von 50 mm und Bedingung 3 mit einer Messblende von 7 mm Durchmesser.

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_{k, Bed1} = 8,32 \text{ mW} * 1,04 = 8,65 \text{ mW}$$

$$P_{k, Bed3} = 0,85 \text{ mW} * 1,04 = 0,88 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Bedingung 1			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung ($P_{k, \text{Bed1}}$)	Δ
1	0,39 mW	8,65 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		173 %
3B	500 mW		2 %
Bedingung 3			
Laserklasse	Laserklasse	Laserklasse	Laserklasse
1	0,39 mW	0,88 mW	226 %
2	1 mW		88 %
3R	5 mW		18 %

Die emittierte Laserleistung nach Bedingung 1 ist größer als der GZS für Klasse 2 und geringer als der GZS für Klasse 3B. Nach Bedingung 3 ist die emittierte Laserleistung geringer als der GZS der Klasse 2. Damit wird das System in die Laserklasse 2M eingestuft.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht vorhanden. In der Bedienungsanleitung ist eine maximale Laserleistung von ≤ 8 mW angegeben, diese ist geringer als die gemessene Laserleistung von 8,65 mW. Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 517 nm eine Abweichung von 3 nm von den in der Bedienungsanleitung angegebenen 520 nm und liegt innerhalb der üblichen Toleranz. Die in der Bedienungsanleitung angegebene Laserklasse 2M ist korrekt.

TACFIRST Green Laser Light Taschenlampe

Verpackungsangaben

Marke:
TacFirst

Bezeichnung:
TFGL500

EAN:
4053472009107

Lichtquelle:
Laser 520 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:
 ≤ 8 mW

Risikogruppe/Laserklasse:
Laserklasse 2M

Warnhinweise:
In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät

Kommentar:
CE-Zeichen auf der Verpackung. CE Konformitätserklärung sowie Prüfbericht nach DIN EN 60825-1:2008-05 in der Bedienungsanleitung.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2008-05



Messergebnisse

Lichtstrom:

$\Phi_{\text{sofort}} = 3,6 \text{ lm}$

$\Phi_{30\text{sec}} = 3,6 \text{ lm}$

$\Phi_{30\text{min}} = 3,6 \text{ lm}$

Wellenlänge:

$\lambda = 511 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 0,84 \text{ \& } 0,67 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P_{\text{Bed3}} = 0,96 \text{ mW}$

$P_{\text{Bed1}} = 9,05 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,48; y: 0,47 mrad

NOHD:

22,6 m

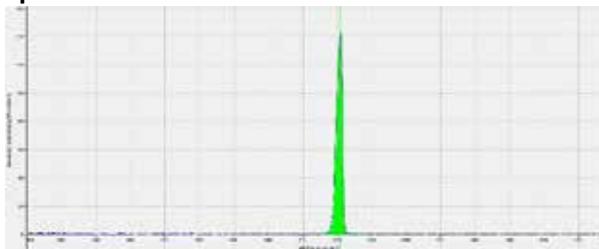
Kommentar:

Keine Pulsung und leichte Überhöhung im Einschaltmoment.

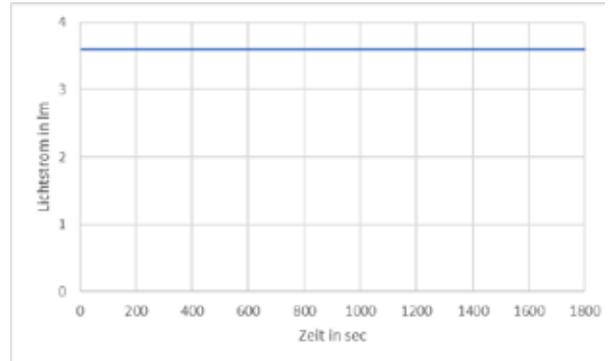
Die Strahldivergenz lässt sich einstellen, keine konvergente Strahlform möglich. Messung und Bewertung erfolgt bei der kritischsten Einstellung mit einem sehr gut kollimierten Laserstrahl. Optisch baugleich zu Picotronic PLD800.

Für eine genauere Betrachtung des Augenbildes nach Bedingung 1 siehe Picotronic PLD800.

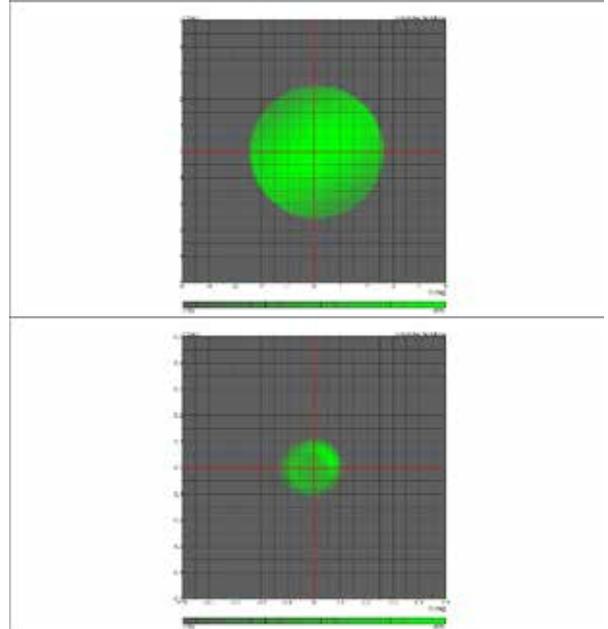
Spektrum:



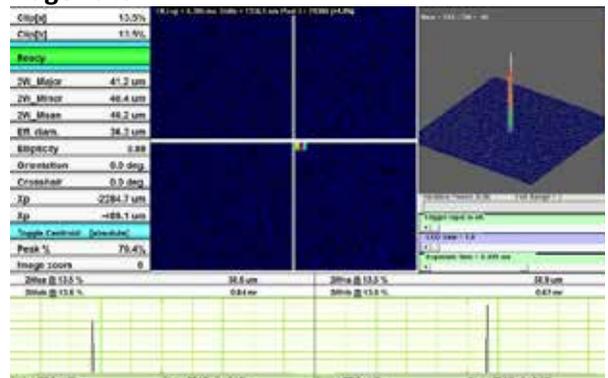
Lichtstrom:



Lichtstärkeverteilung:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 511 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Der Laserstrahl hat einen Durchmesser von über 7 mm und ist sehr gut kollimiert. Die Bewertung erfolgt deshalb nach Bedingung 1 mit einer Messblende von 50 mm und Bedingung 3 mit einer Messblende von 7 mm Durchmesser.

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_{k, \text{Bed}1} = 9,05 \text{ mW} * 1,04 = 9,41 \text{ mW}$$

$$P_{k, \text{Bed}3} = 0,96 \text{ mW} * 1,04 = 1,00 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Bedingung 1			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung	Δ
1	0,39 mW	9,41 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		188 %
3B	500 mW		2 %

Bedingung 3			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung	Δ
1	0,39 mW	1,00 mW	256 %
2	1 mW		100 %
3R	5 mW		20 %

Die emittierte Laserleistung nach Bedingung 1 ist größer als der GZS für Klasse 2 und geringer als der GZS für Klasse 3B. Nach Bedingung 3 ist die emittierte Laserleistung gleich dem GZS der Klasse 2. Damit wird das System in die Laserklasse 2M eingestuft.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht korrekt. Die angegebene maximale Laserleistung von $\leq 8 \text{ mW}$ ist geringer als die gemessene Laserleistung von 9,41 mW. Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 511 nm eine Abweichung von 9 nm von den angegebenen 520 nm. Die deklarierte Laserklasse 2M ist korrekt.

11.4 Messergebnisse untersuchter Laserpointer

Hama Profi Laserpointer LP11

Verpackungsangaben

Marke:

Hama

Bezeichnung:

Laserpointer „LP11“

EAN:

4007249035349

Lichtquelle:

Laser 540 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung, auf dem Gerät und auf der Verpackung.

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung und auf dem Gerät.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2007 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 532 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 0,67 \text{ \& } 0,40 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P = 0,63 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,46; y: 0,42 mrad

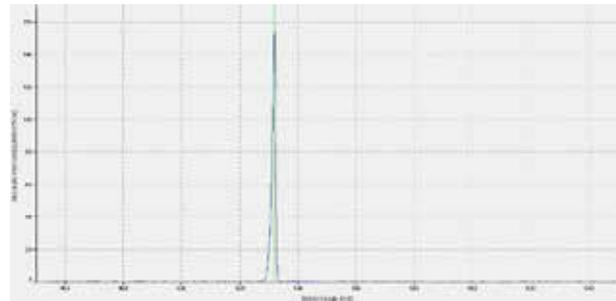
NOHD:

20,5 m

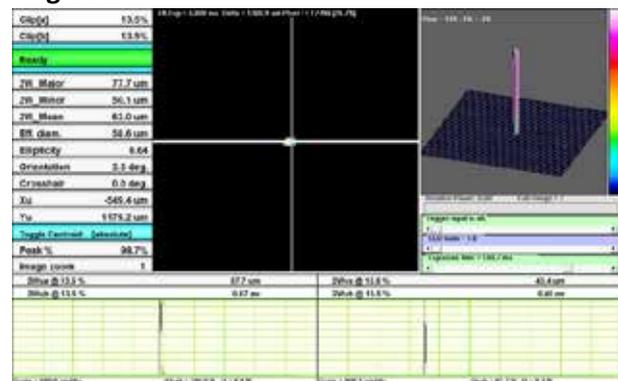
Kommentar:

-

Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 0,63 \text{ mW} * 1,04 = 0,66 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	0,66 mW	169 %
2	1 mW		66 %
3R	5 mW		13 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 2 beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 2 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht korrekt. Die angegebene Wellenlänge von 540 nm zeigt eine Abweichung von 8 nm zu der gemessenen Wellenlänge von 532 nm. Die deklarierte Laserklasse 2 und eine Laserleistung $< 1 \text{ mW}$ entspricht den gemessenen Werten.

GeneralKey Grüner Festkörper Laserpointer

Verpackungsangaben

Marke:

General Keys

Bezeichnung:

Green Laser Pointer

EAN:

4022107081122

Lichtquelle:

Laser 532 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

Auf der Verpackung und auf dem Gerät.

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung und auf dem Gerät. Keine Bedienungsanleitung beiliegend.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2014 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 532 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 0,67 \text{ \& } 0,54 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P = 0,69 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,64; y: 0,55 mrad

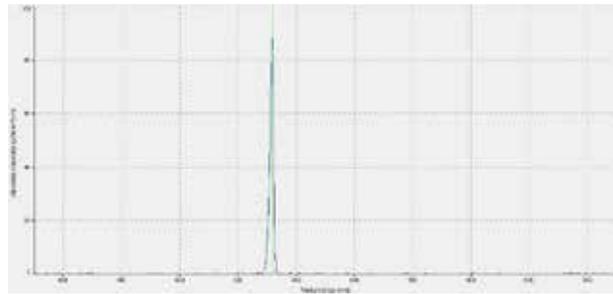
NOHD:

15,8 m

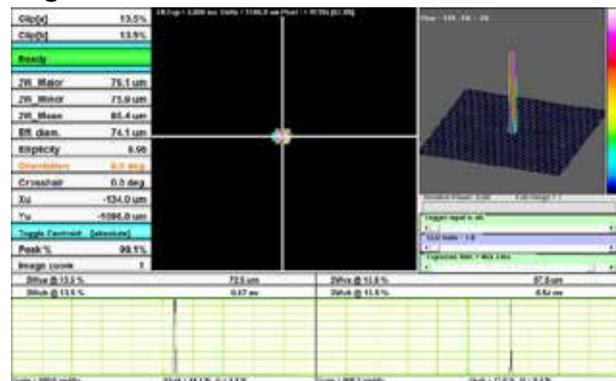
Kommentar:

-

Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 0,69 \text{ mW} * 1,04 = 0,72 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	0,72 mW	185 %
2	1 mW		76 %
3R	5 mW		15 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 2 beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 2 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind korrekt. Die deklarierte Laserklasse 2, die Wellenlänge von 532 nm und eine Laserleistung $< 1 \text{ mW}$ entspricht den gemessenen Werten.

Legamaster LX3 Laserpointer

Verpackungsangaben

Marke:

Legamaster

Bezeichnung:

LX3 Laserpointer

EAN:

8713797062268

Lichtquelle:

Laser 532 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

≤ 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

Auf der Verpackung und auf dem Gerät.

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung. Keine Bedienungsanleitung beiliegend.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 532 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 0,67 \text{ \& } 0,40 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P = 0,75 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,92; y: 0,88 mrad

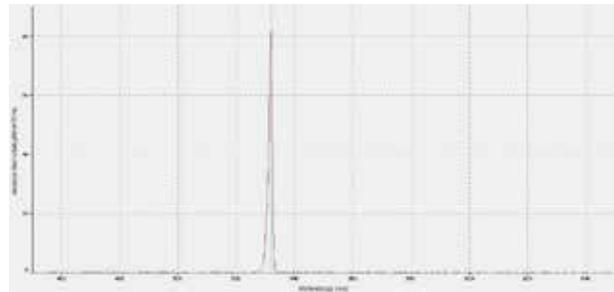
NOHD:

10,9 m

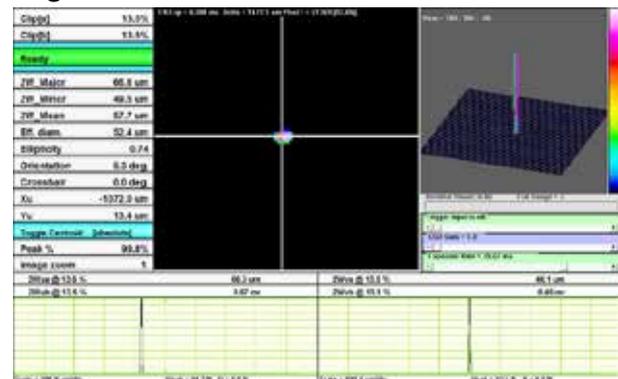
Kommentar:

-

Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 0,75 \text{ mW} * 1,04 = 0,78 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	0,78 mW	200 %
2	1 mW		78 %
3R	5 mW		16 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 2 beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 2 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind korrekt. Die deklarierte Laserklasse 2, die Wellenlänge von 532 nm und eine Laserleistung $< 1 \text{ mW}$ entspricht den gemessenen Werten.

Laserliner Laserpointer Business Green

Verpackungsangaben

Marke:

Laserliner

Bezeichnung:

Green Laserpointer

EAN:

4021563665365

Lichtquelle:

Laser 532 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

≤ 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung, auf der Verpackung und auf dem Gerät

Kommentar:

Garantieerklärung mit Sicherheitshinweisen beiliegend. CE-Zeichen auf der Verpackung. CE-Erklärung in der Bedienungsanleitung.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2007-10 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 532 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 0,67 \text{ \& } 0,54 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P = 0,52 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,68; y: 0,57 mrad

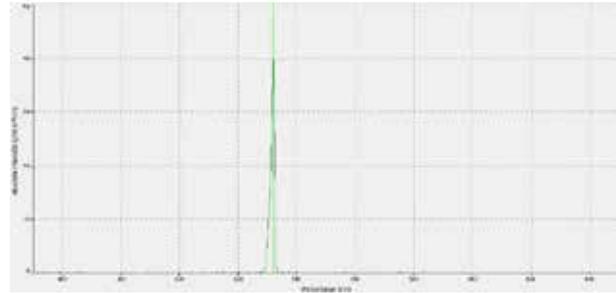
NOHD:

12,4 m

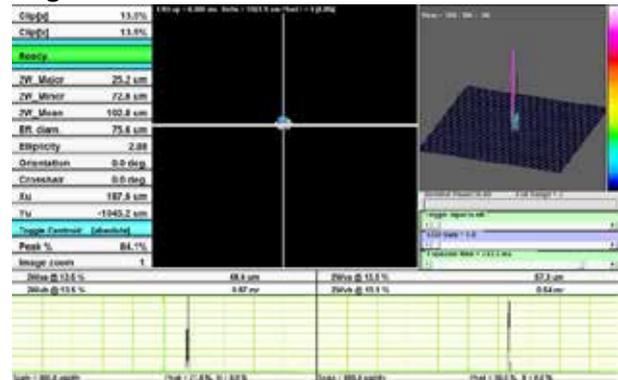
Kommentar:

-

Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 0,52 \text{ mW} * 1,04 = 0,54 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	0,54 mW	139 %
2	1 mW		54 %
3R	5 mW		11 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 2 beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 2 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind korrekt. Die deklarierte Laserklasse 2, die Wellenlänge von 532 nm und eine Laserleistung $< 1 \text{ mW}$ entspricht den gemessenen Werten.

Conrad Laserpointer Grün und Rot

Verpackungsangaben

Marke:
Conrad

Bezeichnung:
Laserpointer Grün und Rot

EAN:
4016138504859

Lichtquelle:
Roter Laser 630 nm – 680 nm
Grüner Laser 532 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:
1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:
Laserklasse 2

Warnhinweise:
In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät

Kommentar:
CE-Zeichen auf der Verpackung, auf dem Gerät und in der Bedienungsanleitung.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2007 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda_1 = 532 \text{ nm}$

$\lambda_2 = 652 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{532} = 0,67 \text{ \& } 0,54 \text{ mrad}$

$\alpha_{652} = 0,94 \text{ \& } 0,67 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P_{532} = 0,43 \text{ mW}$

$P_{652} = 0,29 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,58; y: 0,61 mrad für 532 nm

x 0,60; y: 0,77 mrad für 652 nm

NOHD:

12,4 m für 532 nm

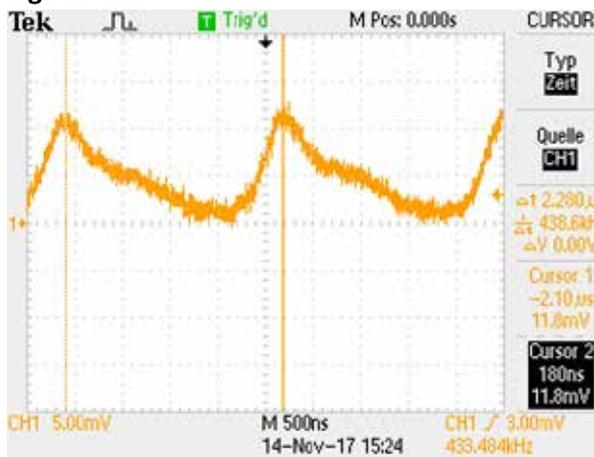
9,9 m für 652 nm

Kommentar:

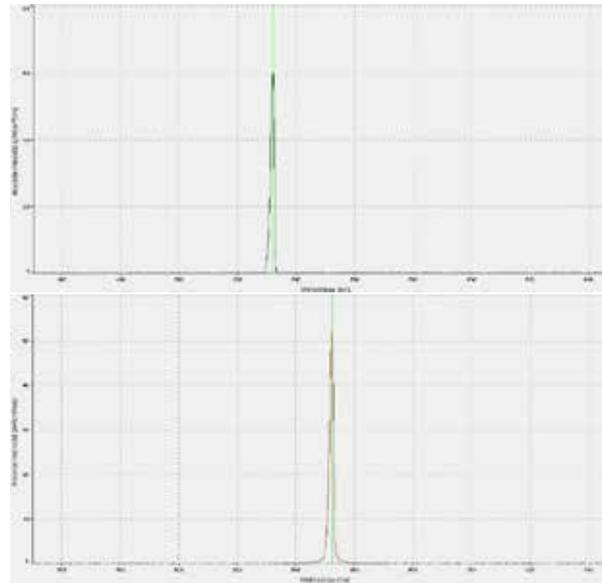
Die Laserstrahlen überlappen nicht und sind in 100 mm Abstand schon weiter als 7 mm voneinander entfernt.

Die Laseremission bei 532 nm ist moduliert.

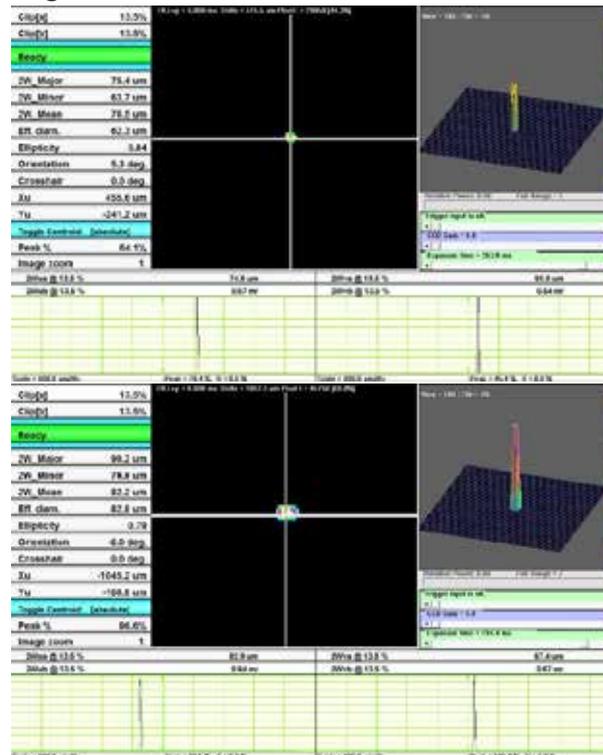
Signalform:



Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die beiden im System vorhandenen Laserquellen werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquellen ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532$ nm und 652 nm
- un gepulste Strahlung (modulierte Laserstrahlung bei 532 nm ist für die Bewertung zu vernachlässigen)

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von ± 4 % kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_{k,grün} = 0,43 \text{ mW} * 1,04 = 0,45 \text{ mW}$$

$$P_{k,rot} = 0,29 \text{ mW} * 1,04 = 0,30 \text{ mW}$$

Die beiden Laserstrahlen überlappen sich nicht und sind in 100 mm Abstand schon weiter als 7 mm voneinander entfernt. Bei einer Bewertung nach Bedingung 3 müssten beide Laser unabhängig bewertet werden. Bei einer Messung nach Bedingung 1 werden beide Wellenlängen gleichzeitig detektiert. Für die Einstufung werden darum die Laserleistungen beider Wellenlängen addiert.

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung ($P_{k,grün} + P_{k,rot}$)	Δ
1	0,39 mW	0,75 mW	192 %
2	1 mW		75 %
3R	5 mW		15 %

Die emittierte Laserleistung ist nach Bedingung 1 und 3 auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 2 beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 2 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind korrekt. Die deklarierte Laserklasse 2, eine maximale Laserleistung von 1 mW und die Wellenlängen von 532 nm und 630 – 680 nm entsprechen den gemessenen Werten.

Laserpointeronline.de Professioneller Grüner LP G2

Verpackungsangaben

Marke:

no name

Vertrieb Mesda BV
Smederij 3
2211 SM Noordwijkerhout
Niederlande

Bezeichnung:

k. A.

EAN:

k. A.

Lichtquelle:

k. A.

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

k. A.

Risikogruppe/Laserklasse:

k. A.

Warnhinweise:

Keine Warnhinweise auf dem Gerät. Warnhinweis in der Verpackung beigelegt.

Kommentar:

Warnhinweis nicht normgerecht nach DIN EN 60825-1.

Unter laserpointeronline.de sind keine Informationen bzgl. der Gefährdung oder der Laserklasse verfügbar.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda_1 = 532 \text{ nm}$

$\lambda_2 = 1064 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha = 1,21 \text{ \& } 1,61 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P_{532} = 65,3 \text{ mW}$

$P_{1064} = 6,4 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,43; y: 0,50 mrad

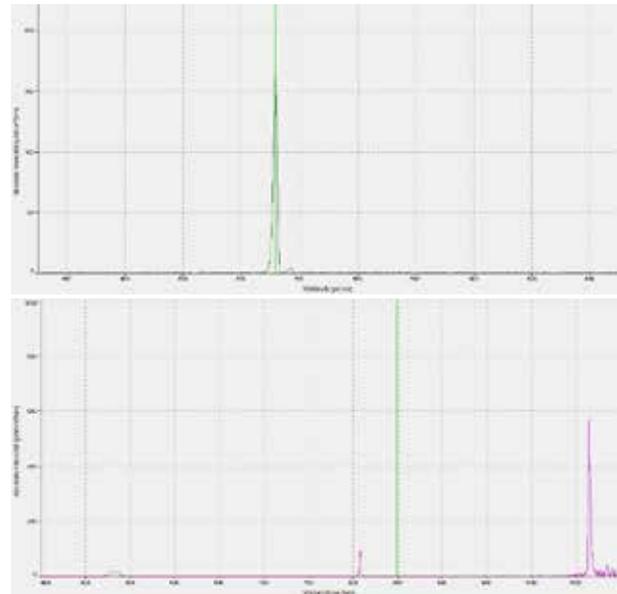
NOHD:

209 m

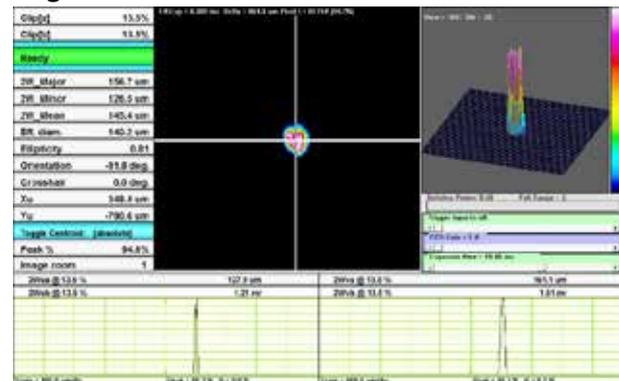
Kommentar:

Die Messung erfolgt ohne Kreuzgitter

Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532$ nm und 1064 nm
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von ± 4 % für 532 nm und ± 5 % für 1064 nm kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_{k,532} = 65,3 \text{ mW} * 1,04 = 67,9 \text{ mW}$$

$$P_{k,1064} = 6,4 \text{ mW} * 1,05 = 6,7 \text{ mW}$$

Die beiden Wellenlängen sind überlagert. Für die Bewertung werden beide Wellenlängen einzeln ausgewertet und der Summen-Quotient bestimmt. Dieser muss unter 100 % für die zugeordnete Laserklasse liegen.

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserstrahlung bei 532 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	67,9 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		> 300 %
3B	500 mW		14 %

Laserstrahlung bei 1064 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	1,95 mW	6,7 mW	139 %
3R	10 mW		11 %
3B	500 mW		1,3 %

Der Gesamt-Quotient für die Laserklasse 3B beträgt 15,3 % (14 % plus 1,3 %). Damit ist die emittierte Laserleistung auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 3B beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 3B einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Es gibt keine Angaben zur Lasersicherheit auf dem Gerät oder auf der Homepage von „Laserpointeronline.de“

Laser Components Laco 532

Verpackungsangaben

Marke:

Laser Components

Bezeichnung:

Laserpointer grün

EAN:

4031936405214

Lichtquelle:

Laser 532 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

Auf dem Gerät

Kommentar:

CE-Zeichen auf dem Gerät. Keine Bedienungsanleitung beiliegend.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2014 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda_1 = 532 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 0,80 \text{ \& } 0,67 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P = 0,78 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,36; y: 0,33 mrad

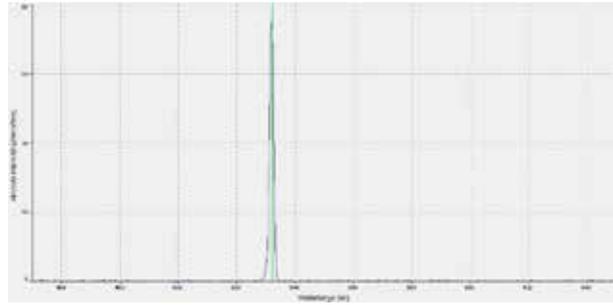
NOHD:

29,3 m

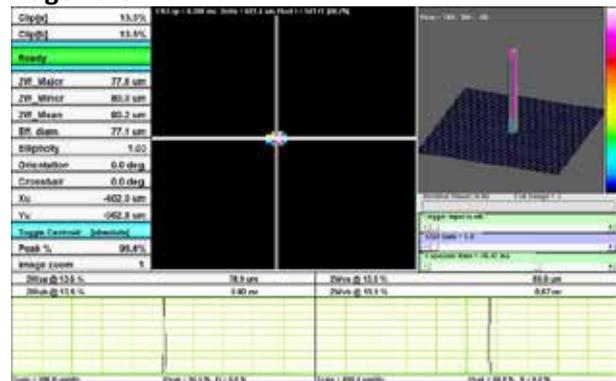
Kommentar:

-

Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 0,78 \text{ mW} * 1,04 = 0,81 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	0,81 mW	208 %
2	1 mW		81 %
3R	5 mW		16 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 2 beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 2 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind korrekt. Die deklarierte Laserklasse 2, die Wellenlänge von 532 nm und eine Laserleistung $< 1 \text{ mW}$ entspricht den gemessenen Werten.

Wedo Grüner Laserpointer

Verpackungsangaben

Marke:

Wedo

Bezeichnung:

Laserpointer

EAN:

Lichtquelle:

Laser Diode 532 nm \pm 10 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

Auf dem Gerät.

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung. Zweiter Warnhinweis zum Aufkleben liegt der Verpackung bei.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2008 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda_1 = 532 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 0,80 \text{ \& } 0,67 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P = 0,54 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,40; y: 0,40 mrad

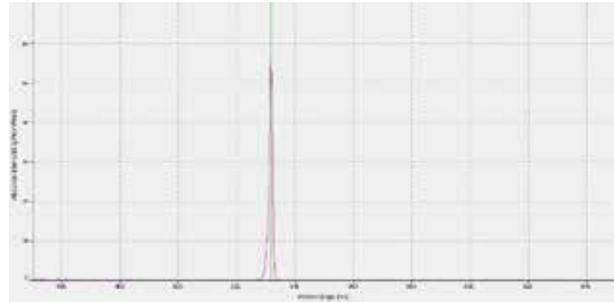
NOHD:

20,4 m

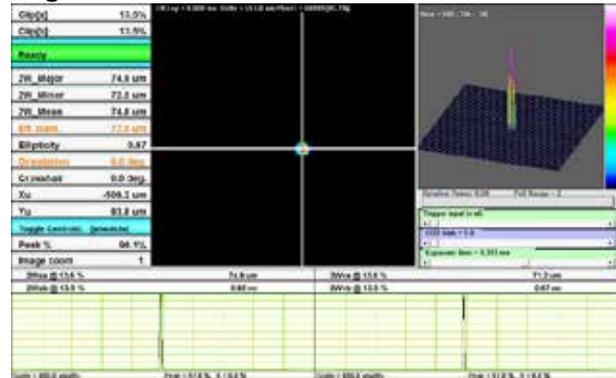
Kommentar:

-

Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 0,54 \text{ mW} * 1,04 = 0,56 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	0,56 mW	144 %
2	1 mW		56 %
3R	5 mW		11 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 2 beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 2 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind korrekt. Die deklarierte Laserklasse 2, die Wellenlänge von $532 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ und eine Laserleistung $< 1 \text{ mW}$ entspricht den gemessenen Werten.

eBay 405nm Laser Pointer Pen Laser 303

Verpackungsangaben

Marke:

no name

Bezeichnung:

Laser 303

EAN:

k.A.

Lichtquelle:

Laser 405 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

Auf dem Gerät

Kommentar:

Keine Bedienungsanleitung beiliegend.
Auf der Verpackung wird „GREEN LASER POIN-
TER“ deklariert.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN
60825-1 auf dem Gerät.

Über verschiedene Vertriebsstellen finden
sich teils mehrere widersprüchliche Aussagen
bzgl. der Leistung des Lasers (von 5 mW bis
200 mW).



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda_1 = 407 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 0,80 \text{ \& } 1,21 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P = 49,3 \text{ mW}$

Divergenz:

x:1,24; y: 1,02 mrad

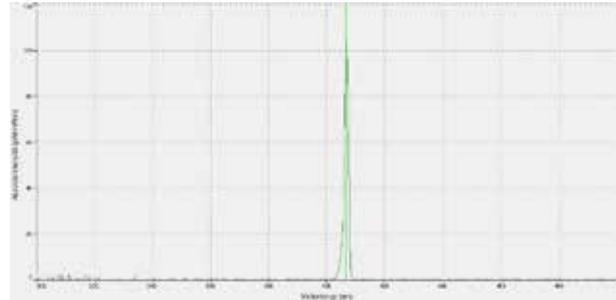
NOHD:

231 m

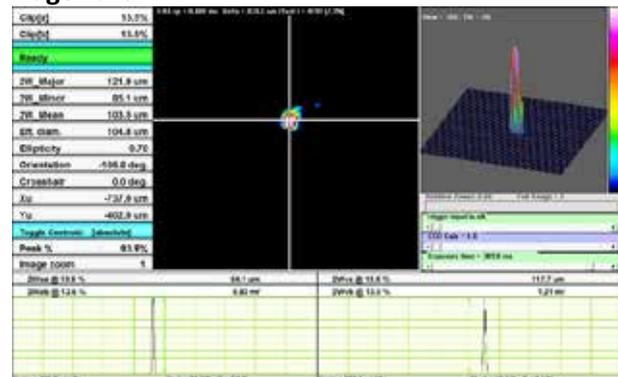
Kommentar:

Kreuzgitter für die Messungen abgeschraubt.
Laseremission ist moduliert.

Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 407 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung (leichte Modulation der Laserleistung ist für die Bewertung zu vernachlässigen)

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 49,3 \text{ mW} * 1,04 = 51,3 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	39 μW	51,3 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		> 300 %
3B	500 mW		10 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 3B beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 3B einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind falsch. Das Gerät ist als Laserklasse 2 deklariert, korrekt ist Laserklasse 3B. Die Laserleistung liegt bei 51,3 mW und nicht wie angegeben bei $< 1 \text{ mW}$. Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 407 nm eine geringe Abweichung von 2 nm von den angegebenen 405 nm und liegt innerhalb der üblichen Toleranz.

eBay 405nm Laser Pointer Pen

Verpackungsangaben

Marke:

no name

Bezeichnung:

Laser Pointer

EAN:

k.A.

Lichtquelle:

Laser 405 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 5 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 3R

Warnhinweise:

Auf dem Gerät

Kommentar:

Keine Bedienungsanleitung beiliegend.

Keine eindeutige Angabe der Laserklasse nach DIN EN 60825-1 auf der Kennzeichnung auf dem Gerät.

Weitere Informationen sind nicht recherchierbar.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda_1 = 404 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha = 1,21 \text{ \& } 1,61 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P = 42,5 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,34; y: 0,27 mrad

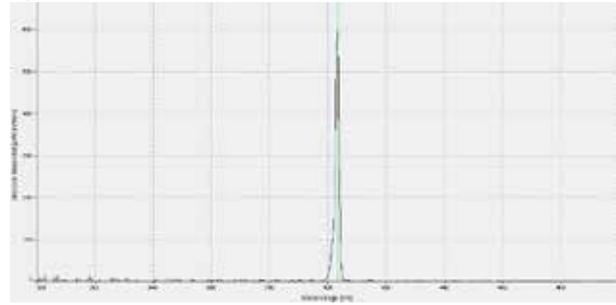
NOHD:

767 m

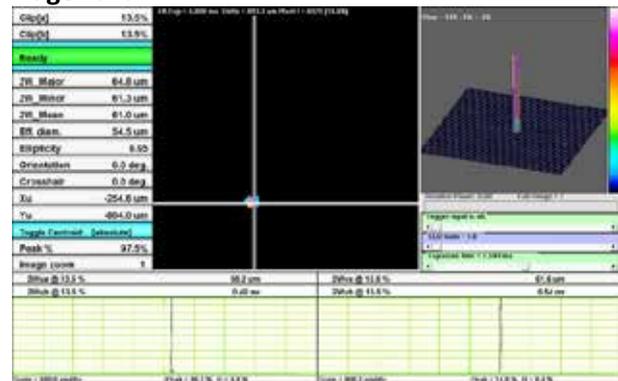
Kommentar:

-

Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 404 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 42,5 \text{ mW} * 1,04 = 44,2 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	39 μW	44,2 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		> 300 %
3B	500 mW		9 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 3B beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 3B einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind teilweise falsch. Das Gerät ist als Laserklasse 3 deklariert, korrekt ist Laserklasse 3B. Die Laserleistung liegt bei 51,3 mW und nicht wie angegeben bei $< 5 \text{ mW}$. Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 404 nm eine geringe Abweichung von 1 nm von den angegebenen 405 nm und liegt innerhalb der üblichen Toleranz.

11.5 Messergebnisse untersuchter weiterer Laser- und LED-Verbraucherprodukte

LG HF80JG

Verpackungsangaben

Marke:
LG

Bezeichnung:
HF80JGGL

EAN:
8806084216274

Lichtquelle:
Laser 448 nm – 462 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:
4,35W x8

Risikogruppe/Laserklasse:
RG2 / Laserklasse 1
Lasermodul Klasse 4

Warnhinweise:
In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät

Kommentar:
CE-Zeichen auf der Verpackung. CE-Erklärung beiliegend.



Messergebnisse

Wellenlänge:

$$\lambda_1 = 450 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 455 \text{ nm}$$

Augenbild:

$$\alpha_{\text{mess},1} = 70,7 \text{ \& } 57,9 \text{ mrad}$$

$$\alpha_{\text{mess},2} = 85,4 \text{ \& } 86,7 \text{ mrad}$$

Leistungsmessung:

$$P_{\text{max}} = 0,26 \text{ W}$$

Bestrahlungsstärke:

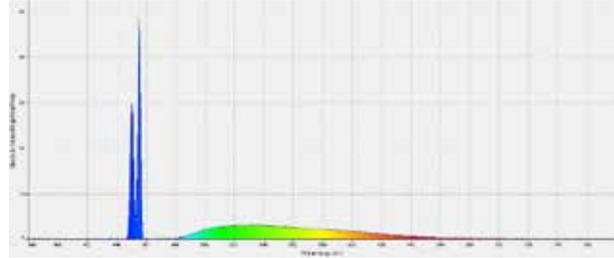
$$P_{\text{Kap. 4.4}} = 21,7 \text{ Wm}^{-2}$$

Kommentar:

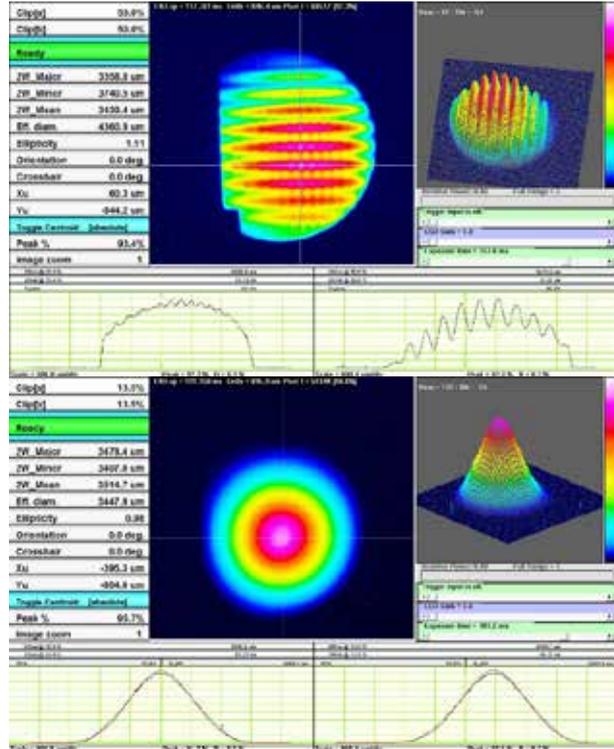
Je nach Fokussierungsabstand des Auges ergeben sich unterschiedliche Augenbilder. Augenbild 1 (mit Streifen) ergibt sich bei Fokussierung auf die virtuelle Quelle innerhalb des Projektors. Augenbild 2 ergibt sich bei Fokussierung ins Unendliche. Für die Bewertung wird das jeweils kritischere Augenbild verwendet. Die Strahlung ist mit einer Periodendauer von etwa 8,3 ms gepulst. Dabei werden die roten, grünen und blauen Farbanteile nacheinander übertragen.

Der Laserbeamer soll nach Kapitel 4.4 der EN 60825-1:2014 bewertet werden. Mit der gemessenen Bestrahlungsstärke der (blauen) Laserstrahlung von $21,7 \text{ Wm}^{-2}$ und der Messblende von 1 mm Durchmesser ergibt sich eine maximale Leuchtdichte von $1,1 \text{ MW/m}^2\text{sr}$. Die Bewertung als Lampensystem nach der Reihe IEC 62471 kann damit erfolgen.

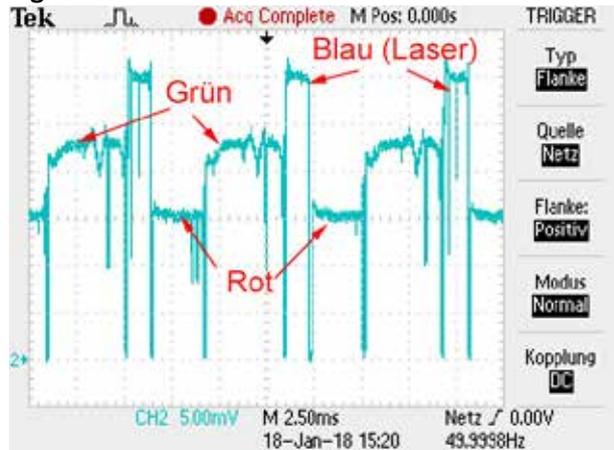
Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle wird bei maximaler Helligkeit, maximalem Kontrast und einem blauen Bild vermessen. Die einzelnen Farbanteile werden bei einem weißen Bild nacheinander übertragen, bei einem blauen Bild wird nur das Laserlicht emittiert.

- Wellenlänge $\lambda = 450 \text{ nm}$ und 455 nm (Die Berechnung der Grenzwerte erfolgt bei 450 nm)
- ausgedehnte Quelle
- Die Quelle sendet Laserpulse aus mit einer Dauer von $t_{\text{on}} = 1,2 \text{ ms}$ und einer Pulspause von $7,1 \text{ ms}$
- Pulsspitzenleistung $0,26 \text{ W}$
- $C_5 = 0,4$

Das System soll nach Kapitel 4.4 der EN 60825-1:2014 bewertet werden. Mit einer gemessenen Bestrahlungsstärke von $21,7 \text{ Wm}^{-2}$ bei einer 1 mm Messblende, ergibt sich eine maximale Leuchtdichte von $1,1 \text{ MWm}^{-2}\text{sr}^{-1}$. Damit ist eine Bewertung als Lampensystem möglich. Im Folgenden erfolgt die Bewertung als Lasersystem.

Das kritischere Augenbild zeigt eine Winkelausdehnung von $85,4 \text{ mrad}$ und $86,7 \text{ mrad}$. Diese Werte beziehen sich auf einen Gauß-Strahldurchmesser von $1/e^2$ und müssen noch auf einen Strahldurchmesser von $1/e$ umgerechnet werden. Die Messunsicherheiten bei der Bestimmung des Augenbildes sind relativ groß, darum wird die Winkelausdehnung der Quelle noch um einen Sicherheitsfaktor von 15% reduziert.

$$\alpha = \frac{\alpha_x + \alpha_y}{2} * \frac{\sqrt{2}}{2} * 0,85 = 52 \text{ mrad}$$

$$C_6 = \frac{\alpha}{\alpha_{\text{min}}} = 34,5$$

C₆ ist bei den Einzelpulsen 4,6

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Pulsenergie beträgt damit:

$$Q_k = 0,26 \text{ W} * 1,04 * 1,2 \text{ ms} = 324 \mu\text{J}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Pulsenergie zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Pulsenergie (Q _{k, Bed1})*	Δ
1	GZS _{EP} 20,8 μJ	17,1 μJ	140 %
	GZS _T 325 nJ	324 μJ	> 300 %
	GZS _{C5} 8,3 μJ	17,1 μJ	206 %
2	GZS _T 287 μJ	324 μJ	113 %
	GZS _{EP} 104 μJ	17,1 μJ	16 %
3R	GZS _T 1,44 mJ	324 μJ	23 %
	GZS _{C5} 41,6 μJ	17,1 μJ	41 %

*Die Pulsenergie wird für die Einzelpulsmessung noch durch eine Feldblende reduziert.

Die emittierte Pulsenergie ist geringer als der GZS für die Laserklasse 3R und größer als der GZS für die Laserklassen 1 und 2. Damit würde das System in die Laserklasse 3R eingestuft.

Die Auswertung der Messergebnisse nach DIN EN 62471 ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert	Max. Be- lichtung in sec
			Risiko- frei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko		
UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	0,00	∞
UV-A	-	W/m ²	10	33,3	100	0,00	∞
Blaulicht, kleine Quelle	B(λ)	W/m ²	1	1	400	3,23	30,9
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	3110000	3110000	7890000	307365	∞
IR äußeres Auge	-	W/m ²	100	570	3200	0,00	∞

Es werden die Grenzwerte der Risikogruppe 1 (RG 1) für die Blaulichtgefährdung überschritten. Das Prüfobjekt ist daher in die Risikogruppe 2 (RG 2) einzuordnen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die Hinweisschilder deklarieren das System nach Kapitel 4.4 der Lasernorm als konventionelle Lampe und Laser der Klasse 1. Die dafür geforderten Hinweisschilder sind korrekt.

Laserworld GS200RG

Verpackungsangaben

Marke:

Laserworld

Bezeichnung:

GS200RG

EAN:

7640144999582

Lichtquelle:

Laser grün 532nm, rot 655nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

≤ 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 3R

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung. CE-Erklärung beiliegend.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2015-07 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$$\lambda_1 = 532 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 663 \text{ nm}$$

$$\lambda_3 = 1064 \text{ nm}$$

Augenbild:

$$\alpha_{\text{mess}} = 1,51 \text{ \& } 1,34 \text{ mrad}$$

Leistungsmessung:

$$P_1 = 1,08 \text{ mW}$$

$$P_2 = 1,60 \text{ mW}$$

$$P_3 = 0,85 \text{ mW}$$

Divergenz:

$$x: 0,73; y: 0,69 \text{ mrad für } 532 \text{ nm}$$

$$x: 2,09; y: 1,35 \text{ mrad für } 663 \text{ nm}$$

NOHD:

$$16,5 \text{ m für } 532 \text{ nm}$$

$$8,3 \text{ m für } 663 \text{ nm}$$

Pulsmuster:

$$\tau_{\text{on}} = 0,76 \text{ }\mu\text{s}$$

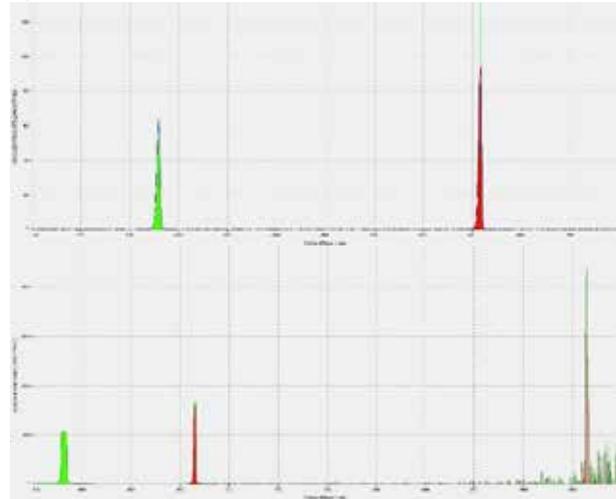
$$\tau_{\text{off}} = 2,16 \text{ }\mu\text{s}$$

Kommentar:

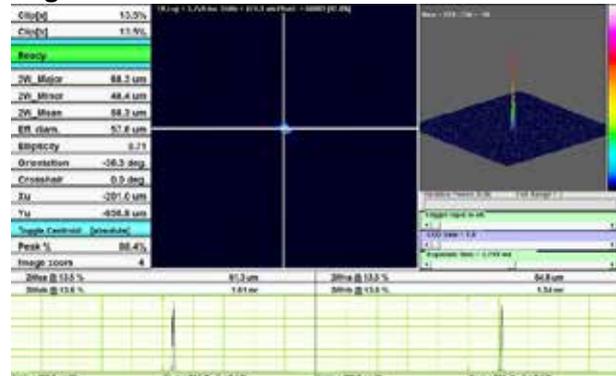
Das Augenbild ist für alle drei Wellenlängen gleich.

Die Strahlung bei 532 nm ist gepulst, die anderen Wellenlängen sind nicht gepulst.

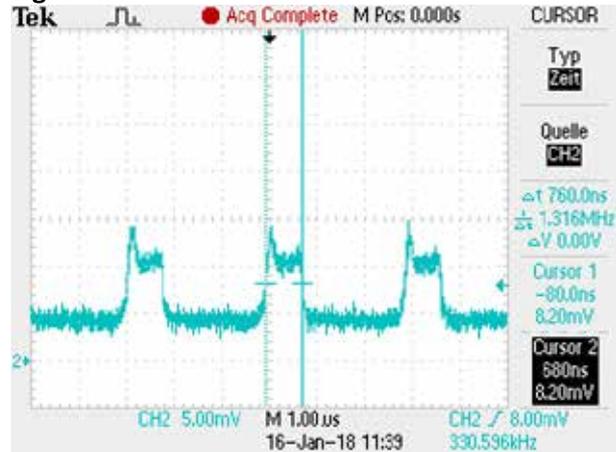
Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$, 663 nm und 1064 nm
- ungepulste Strahlung bei 663 nm und 1064 nm , Laserstrahlung bei 532 nm ist durchgehen gepulst mit $t_{\text{on}} = 0,76 \mu\text{s}$ und $t_{\text{off}} = 2,16 \mu\text{s}$
- $C_5 = 0,4$ für 532 nm

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ für 532 nm und 663 nm und $\pm 5 \%$ für 1064 nm kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendeten Laserleistungen und Pulsenergie beträgt damit:

$$P_{k,663} = 1,60 \text{ mW} * 1,04 = 1,66 \text{ mW}$$

$$P_{k,1064} = 0,85 \text{ mW} * 1,05 = 0,89 \text{ mW}$$

Bei der Laserstrahlung bei 532 nm wird zunächst die Pulsspitzenleistung aus der gemittelten Laserleistung berechnet:

$$P_{k,532,max} = 1,08 \text{ mW} * 1,04 * \frac{0,76 \mu\text{s} + 2,16 \mu\text{s}}{0,76 \mu\text{s}} = 4,32 \text{ mW}$$

und anschließend die Pulsenergie des Einzelpulses:

$$Q_{k,532} = 4,32 \text{ mW} * 0,76 \mu\text{s} = 3,28 \text{ nJ}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserstrahlung bei 663 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	1,66 mW	> 300 %
2	1 mW		166 %
3R	5 mW		33 %

Laserstrahlung bei 1064 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	1,95 mW	0,89 mW	46 %
3R	10 mW		9 %

Laserstrahlung bei 532 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Pulsenergie (Q_k)	Δ
1	GZS _{EP}	77,0 nJ	4 %
	GZS _T	1,1 nJ	298 %
	GZS _{C5}	30,8 nJ	21 %
2	GZS _T	2,9 nJ	113 %
3R	GZS _T	14,6 nJ	23 %

* Die für die Bewertung genutzte Pulsenergie muss aufgrund der kurzen Periodendauer verdoppelt werden.

Der Gesamt-Quotient aller Wellenlängen für die Laserklasse 3R beträgt 65 % (33 %, 9 % und 23 %). Damit ist die emittierte Laserleistung auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 3R beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 3R einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht korrekt. Die angegebene maximale Laserleistung von ≤ 1 mW ist geringer als die gemessene (gemittelte) Laserleistung von 1,66 mW bei 663 nm und 1,12 mW bei 532 nm. Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 663 nm eine Abweichung von 8 nm von den angegebenen 655 nm, die Wellenlänge des grünen Lasers von 532 nm ist korrekt angegeben. Die Laserstrahlung bei 1064 nm ist auf dem Hinweisschild und der Bedienungsanleitung nicht erwähnt. Die deklarierte Laserklasse 3R ist korrekt.

Lunartec LaserProjektor

Verpackungsangaben

Marke:

Lunartec

Bezeichnung:

LaserProjektor

EAN:

4022107280822

Lichtquelle:

Laser grün 532nm, rot 655nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

$\leq 1 \text{ mW}$

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung. CE-Erklärung beiliegend.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2014 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$$\lambda_1 = 532 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 661 \text{ nm}$$

$$\lambda_3 = 1064 \text{ nm}$$

Augenbild:

$$\alpha_{\text{mess}} = 1,17 \text{ \& } 1,34 \text{ mrad}$$

Leistungsmessung:

$$P_1 = 1,00 \text{ mW}$$

$$P_2 = 3,04 \text{ mW}$$

$$P_3 = 0,27 \text{ mW}$$

Divergenz:

$$x: 0,46; y: 0,46 \text{ mrad für } 532 \text{ nm}$$

$$x: 0,99; y: 0,34 \text{ mrad für } 661 \text{ nm}$$

NOHD:

$$26,6 \text{ m für } 532 \text{ nm}$$

$$28,6 \text{ m für } 661 \text{ nm}$$

Pulsmuster:

$$t_{\text{on}} = 2,44 \text{ ms}$$

$$t_{\text{off}} = 0,84 \text{ ms}$$

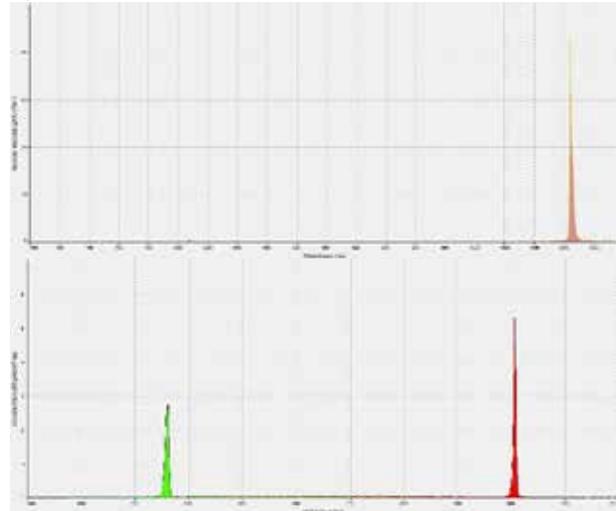
Kommentar:

Bei einer Lasereinstellung (Modus 7) stehen die Strahlen. Der Deckel des Lasers lässt sich ohne Werkzeug entfernen, die Bewertung erfolgt bei entferntem Deckel.

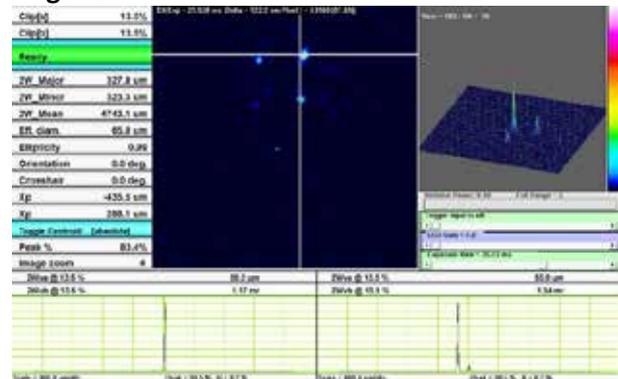
Die Augenbilder sind bei allen Wellenlängen ähnlich.

Die Strahlung bei 532 nm ist gepulst, die anderen Wellenlängen sind nicht gepulst.

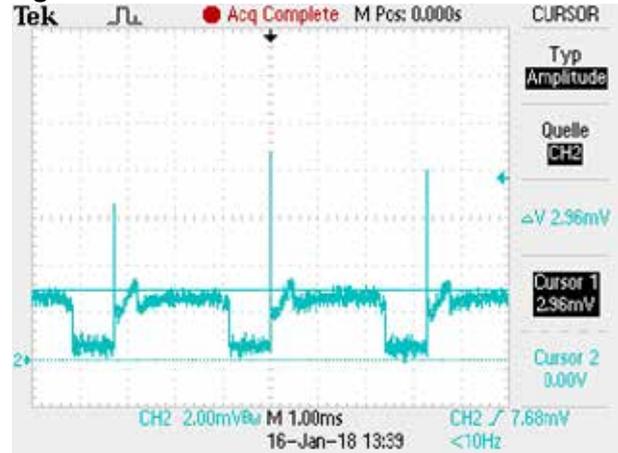
Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$, 661 nm und 1064 nm
- ungepulste Strahlung bei 663 nm und 1064 nm , Laserstrahlung bei 532 nm ist durchgehen gepulst mit $t_{\text{on}} = 2,44 \text{ ms}$ und $t_{\text{off}} = 0,84 \text{ ms}$
- $C_5 = 1$ für 532 nm

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ für 532 nm und 661 nm und $\pm 5 \%$ für 1064 nm kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendeten Laserleistungen und Pulsenergie beträgt damit:

$$P_{k,661} = 3,04 \text{ mW} * 1,04 = 3,16 \text{ mW}$$

$$P_{k,1064} = 0,27 \text{ mW} * 1,05 = 0,28 \text{ mW}$$

Bei der Laserstrahlung bei 532 nm wird zunächst die Pulsspitzenleistung aus der gemittelten Laserleistung berechnet:

$$P_{k,532,max} = 1,00 \text{ mW} * 1,04 * \frac{2,44 \text{ ms} + 0,84 \text{ ms}}{2,44 \text{ ms}} = 1,42 \text{ mW}$$

und anschließend die Pulsenergie des Einzelpulses:

$$Q_{k,532} = 1,42 \text{ mW} * 2,44 \text{ ms} = 3,46 \mu\text{J}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserstrahlung bei 661 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	3,16 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		63 %

Laserstrahlung bei 1064 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	1,95 mW	0,28 mW	14 %
3R	10 mW		3 %

Laserstrahlung bei 532 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Pulsenergie (Q_k)	Δ
1	GZS _{EP}	3,46 μJ	45 %
	GZS _T		266 %
	GZS _{C5}		45 %
2	GZS _T	3,3 μJ	105 %
3R	GZS _T	16,4 μJ	21 %

Der Gesamt-Quotient aller Wellenlängen für die Laserklasse 3R beträgt 89 % (63 %, 3 % und 21 %). Damit ist die emittierte Laserleistung auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 3R beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 3R einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind falsch. Die angegebene maximale Laserleistung von ≤ 1 mW ist geringer als die gemessene (gemittelte) Laserleistung von 3,16 mW bei 661 nm und 1,04 mW bei 532 nm. Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 661 nm eine Abweichung von 6 nm von den angegebenen 655 nm, die Wellenlänge des grünen Lasers von 532 nm ist korrekt angegeben. Die Laserstrahlung bei 1064 nm ist auf dem Hinweisschild und der Bedienungsanleitung nicht erwähnt. Das System ist fälschlicherweise als Laserklasse 2 deklariert, korrekt ist 3R.

Jamara Impulse Laser Gun Battle Set

Verpackungsangaben

Marke:
Jamara

Bezeichnung:
Impulse Laser Gun Battle Set

EAN:

Lichtquelle:
Infrarot

Lichtstrom/Strahlungsleistung:
keine Angabe

Risikogruppe/Laserklasse:
keine Angabe

Warnhinweise:
keine bezüglich der Augensicherheit

Kommentar:
2 Brillen beiliegend. CE-Zeichen auf der Verpackung. CE-Erklärung beiliegend.

Keine Angaben bezüglich der Augensicherheit ergänzend recherchierbar.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$$\lambda_c = 945 \text{ nm}$$

Augenbild:

$$\alpha_{\text{mess}} = 18,3 \text{ \& } 33,2 \text{ mrad}$$

Bestrahlungsstärke:

$$E_{20} = 17,8 \text{ Wm}^{-2}$$

$$E_{2.2} = 0,7 \text{ Wm}^{-2}$$

Pulsmuster:

$$t_{\text{on}} = 21,6 \text{ ms}$$

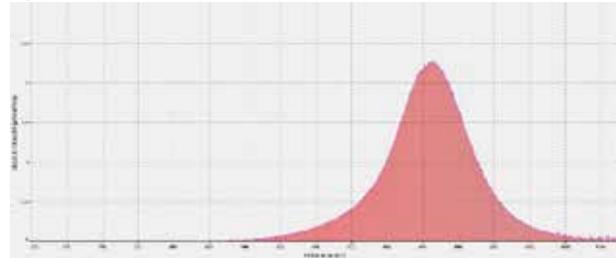
Kommentar:

Bei dem Produkt handelt es sich nicht um eine Laserquelle. Die „Laser Gun“ emittiert IR-LED Strahlung.

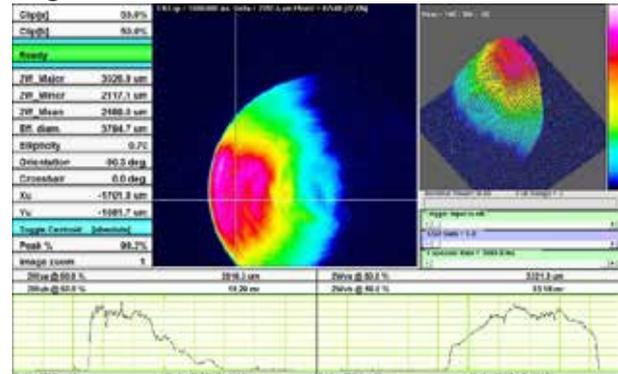
Die Messung der Bestrahlungsstärke erfolgt nach EN 62471:2008 in einem Abstand von 200 mm mit Messblenden von 20 mm und 2,2 mm Durchmesser.

Je nach Betriebsmodus unterscheidet sich das Pulsmuster leicht. Die Pulsdauer von 21,6 ms und die gemessenen Bestrahlungsstärken sind Betriebsmodus unabhängig.

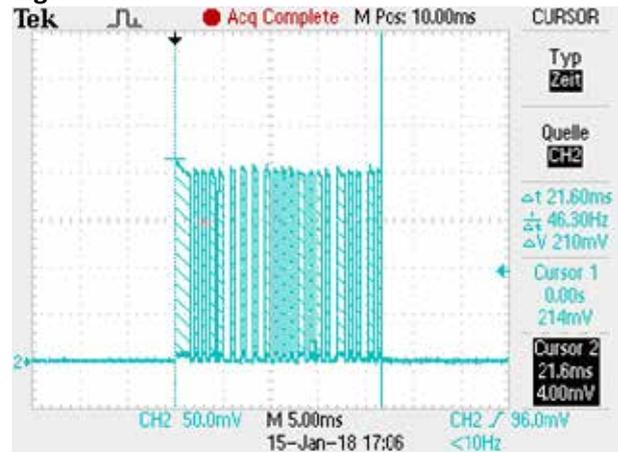
Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Risiko	Bewertungsfunktion	Einheiten	Emissionsgrenzwerte			Messwert
			Risikofrei	Geringes Risiko	Mittleres Risiko	
Aktinisches UV	$S_{uv}(\lambda)$	W/m ²	0,001	0,003	0,03	-
Nahes UV	-	W/m ²	10	33,3	100	-
Blaulicht	B(λ)	W/m ² sr	100	10000	4000000	-
Blaulicht, kleine Quelle*	B(λ)	W/m ²	1	1	400	-
Netzhaut thermisch	R(λ)	W/m ² sr	1120000	1120000	2840000	2418,63
Netzhaut thermisch, schwacher visueller Reiz*	R(λ)	W/m ² sr	240000	240000	240000	2418,63
IR Strahlung Auge	-	W/m ²	100	570	3200	16,60

Das System ist auch mit einem Dauerpuls in der Freien Gruppe

Ibiza Mini Laser Firefly

Verpackungsangaben

Marke:

Ibiza

Bezeichnung:

Mini Laser Firefly

EAN:

Lichtquelle:

Laser grün 532nm, rot 662nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

Grün 30 mW, rot 100 mW
bewegter Strahl ≤ 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung, auf der Verpackung und auf dem Gerät

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung, auf dem Gerät und in der Bedienungsanleitung. Keine CE-Erklärung beiliegend.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2014 auf dem Gerät.



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$ und 663 nm
- un gepulste Strahlung
- Punktquelle bei 532 nm ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- ausgedehnte Quelle bei 663 nm

Die Laserstrahlung bei 663 nm muss als ausgedehnte Quelle bewertet werden. Das Augenbild zeigt eine Winkelausdehnung von $9,66 \text{ mrad}$ und $6,39 \text{ mrad}$. Diese Werte beziehen sich auf einen Gauß-Strahldurchmesser von $1/e^2$ und müssen noch auf einen Strahldurchmesser von $1/e$ umgerechnet werden. Die Messunsicherheiten bei der Bestimmung des Augenbildes sind relativ groß, darum wird die Winkelausdehnung der Quelle noch um einen Sicherheitsfaktor von 15% reduziert.

$$\alpha_{663} = \frac{\alpha_x + \alpha_y}{2} * \frac{\sqrt{2}}{2} * 0,85 = 4,8 \text{ mrad}$$

$$C_{6;663} = \frac{\alpha_{663}}{\alpha_{\min}} = 3,2$$

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ für 532 nm und 663 nm kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_{k,532} = 0,36 \text{ mW} * 1,04 = 0,37 \text{ mW}$$

$$P_{k,663} = 0,64 \text{ mW} * 1,04 = 0,67 \text{ mW}$$

Die beiden Wellenlängen sind überlagert. Für die Bewertung werden beide Wellenlängen einzeln ausgewertet und der Summen-Quotient bestimmt. Dieser muss unter 100% für die zugeordnete Laserklasse liegen.

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserstrahlung bei 532 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	0,39 mW	0,37 mW	95 %
2	1 mW		37 %
3R	5 mW		7 %

Laserstrahlung bei 663 nm			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	1,23 mW	0,67 mW	54 %
2	3,2 mW		21 %
3R	16 mW		4 %

Der Gesamt-Quotient für die Laserklasse 1 beträgt 149% , damit liegt die Laserleistung außerhalb der Lasersicherheitsklasse 1. Der Gesamt-Quotient für die Laserklasse 2 liegt mit 58% innerhalb der Grenzen der Laserklasse. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 2 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind korrekt. Es ist nicht klar, was mit der angegebenen maximalen Laserleistung von ≤ 1 mW des bewegten Strahls gemeint ist. Aber die maximalen Ausgangsleistungen der einzelnen Laserdioden von 30 mW für 532 nm und 100 mW für 661 nm erscheinen plausibel. Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 662 nm vernachlässigbare Abweichung von den angegebenen 662 nm, die angegeben Wellenlänge von 532 nm stimmt mit der Messung überein. Die deklarierte Laserklasse 2 ist korrekt.

Beamz Prospero Laser Blue

Verpackungsangaben

Marke:
PROSPERO

Bezeichnung:
beamZ

EAN:
8715693267730

Lichtquelle:
Blauer Laser

Lichtstrom/Strahlungsleistung:
150 mW

Risikogruppe/Laserklasse:
Laserklasse 3B

Warnhinweise:
In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät

Kommentar:
In der Bedienungsanleitung ist von LED die Rede.
CE-Zeichen auf der Verpackung und auf dem Gerät. CE-Erklärung beiliegend. CE-Erklärung führt nicht DIN EN 60825-1 auf.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 451 \text{ nm}$

Leistungsmessung:

$P = 99,5 \text{ mW}$

Divergenz:

$x/y: \approx 0,5 \text{ mrad}$

NOHD:

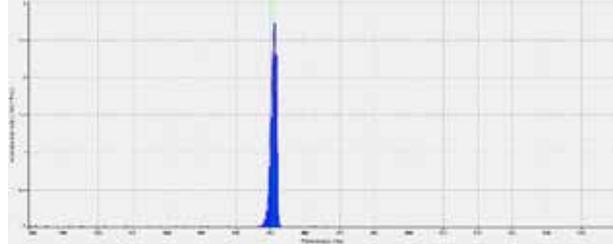
$\approx 230 \text{ m}$

Kommentar:

Augenbild wird aufgrund der hohen Ausgangsleistung und des kollimierten Laserstrahls nicht aufgenommen.

Keine Überhöhung im Einschaltmoment. Messung erfolgt im „Testmodus“ des Gerätes.

Spektrum:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 451 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 99,5 \text{ mW} * 1,04 = 103 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	41 μW	103 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		> 300 %
3B	500 mW		21 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 3B beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 3B einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht korrekt. Die deklarierte Laserklasse 3B entspricht den gemessenen Strahlungswerten. Auf den Warnaufkleber ist die Wellenlänge der emittierten Strahlung nicht angegeben. Die in der Bedienungsanleitung angegebene Laserleistung von 150 mW ist höher als die gemessene Laserleistung von 103 mW.

Stairville DJ Laser 400-B blue DMX

Verpackungsangaben

Marke:

Stairville

Bezeichnung:

DJ Laser 400-B Blue DMX

EAN:

4049172729179

Lichtquelle:

Laser 450 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

450 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

3B

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät

Kommentar:



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 442 \text{ nm}$

Leistungsmessung:

$P = 392 \text{ mW}$

Divergenz:

$x/y: \approx 0,3 \text{ mrad}$

NOHD:

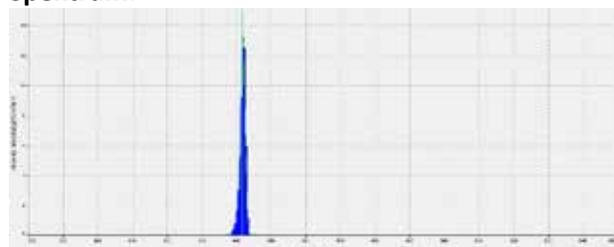
$\approx 750 \text{ m}$

Kommentar:

Augenbild wird aufgrund der hohen Ausgangsleistung und des kollimierten Laserstrahls nicht aufgenommen.

Keine Überhöhung im Einschaltmoment.

Spektrum:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 442 \text{ nm}$
- un gepulste Strahlung

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_k = 392 \text{ mW} * 1,04 = 408 \text{ mW}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung (P_k)	Δ
1	39 μW	408 mW	> 300 %
2	1 mW		> 300 %
3R	5 mW		> 300 %
3B	500 mW		82 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 3B beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 3B einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht ganz korrekt. Die deklarierte Laserklasse 3B entspricht den gemessenen Strahlungswerten. Die auf dem Waraufkleber angegebene Laserleistung von 400 mW ist größer als die gemessene Laserleistung von 392 mW (inklusive Messunsicherheit beträgt die Laserleistung 408 mW). Die angegebene Wellenlänge von 450 nm unterscheidet sich um 8 nm von der gemessenen Wellenlänge von 442 nm.

Tacklife SC L03

Verpackungsangaben

Marke:

TACKLIFE

Bezeichnung:

SC L03

EAN:

X000OT937V

Lichtquelle:

Laser 630nm-670nm (Bedienungsanleitung)

Laser 635 nm \pm 5 nm (Hinweisschild auf dem Gerät)

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

\leq 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung und auf dem Gerät und in der Bedienungsanleitung. Hinweis auf IEC/EN 60825-1:2014 in der Bedienungsanleitung.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1:2007 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$$\lambda_1 = 637 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 640 \text{ nm}$$

Augenbild:

$$\alpha_{\text{Linie}} = 13,0 \text{ \& 0,54 mrad}$$

$$\alpha_{\text{Ring}} = 1,21 \text{ \& 20,5 mrad}$$

Leistungsmessung:

$$P_{\text{Linie}} = 0,40 \text{ mW}$$

$$P_{\text{Ring}} = 0,42 \text{ mW}$$

$$P_{\text{Kreuz}} = 0,48 \text{ mW}$$

Pulsmuster:

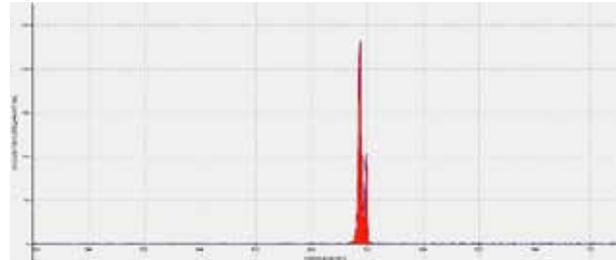
$$t_{\text{on}} = 90 \text{ } \mu\text{s}$$

$$t_{\text{off}} = 10 \text{ } \mu\text{s}$$

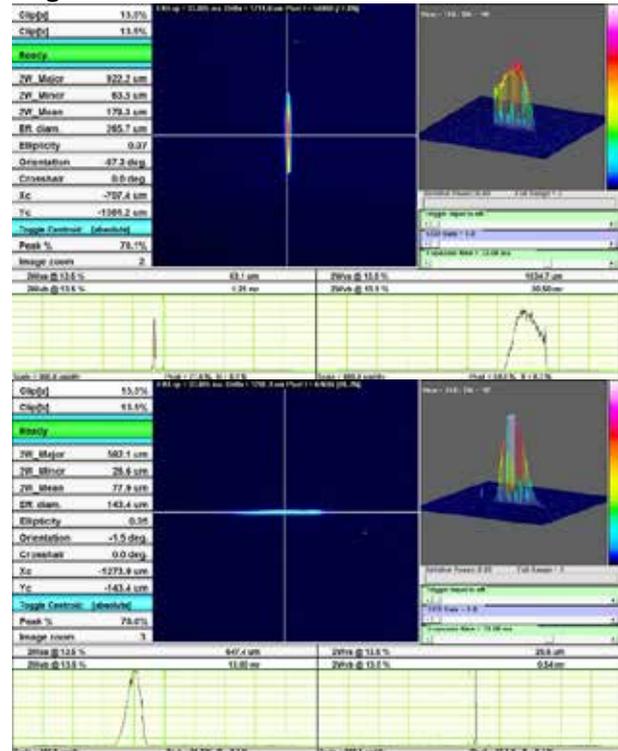
Kommentar:

Bewertung erfolgt im Modus 1 (höhere Laserleistung).

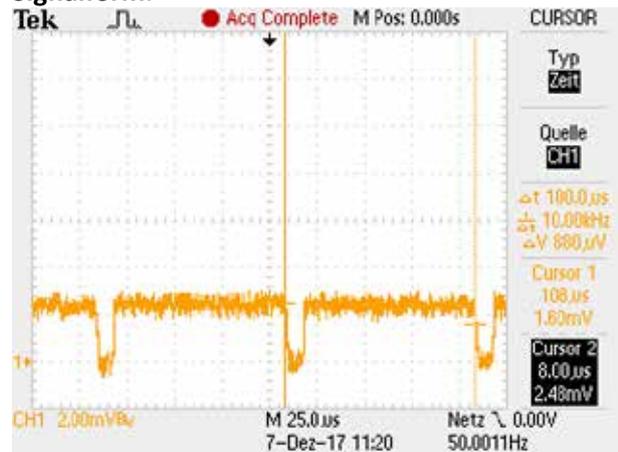
Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Wellenlänge $\lambda = 637 \text{ nm}$ und 640 nm
- gepulste Strahlung mit einer Pulsdauern von $t_{\text{on}} = 90 \mu\text{s}$ und einer Pulspause von $t_{\text{off}} = 10 \mu\text{s}$ im bewertetem Betriebsmodus
- $C_5 = 1$
- Ausgedehnte Quelle

Das System hat zwei Laseraustrittsöffnungen. Aus der einen Öffnung wird ein 360° Ring emittiert, aus der anderen Öffnung eine Linie. Das Augenbild zeigt eine Winkelausdehnung von $13,0 \text{ mrad}$ und $0,54 \text{ mrad}$ bei der Linie und eine Winkelausdehnung von $1,21 \text{ mrad}$ und $20,5 \text{ mrad}$ beim Ring. Diese Werte beziehen sich auf einen Gauß-Strahldurchmesser von $1/e^2$ und müssen noch auf einen Strahldurchmesser von $1/e$ umgerechnet werden. Die Messunsicherheiten bei der Bestimmung des Augenbildes sind relativ groß, darum wird die Winkelausdehnung der Quelle noch um einen Sicherheitsfaktor von 15% reduziert. Die minimale Winkelausdehnung in einer Ebene ist dabei auf $\alpha_{\text{min}} = 1,5 \text{ mrad}$ begrenzt.

$$\alpha_{\text{Linie}} = \left[1,5 \text{ mrad} + \alpha_x * \frac{\sqrt{2}}{2} * 0,85 \right] / 2 = 4,7 \text{ mrad}$$

$$\alpha_{\text{Ring}} = \left[1,5 \text{ mrad} + \alpha_y * \frac{\sqrt{2}}{2} * 0,85 \right] / 2 = 6,9 \text{ mrad}$$

$$C_{6;\text{Linie}} = \frac{\alpha_{\text{Linie}}}{\alpha_{\text{min}}} = 3,1$$

$$C_{6;\text{Ring}} = \frac{\alpha_{\text{Ring}}}{\alpha_{\text{min}}} = 4,6$$

Die Grenzwerte für den Einzelpuls und das reduzierte Einzelpulskriterium (C_5) sind mit der vereinfachten Bewertung ($C_6=1$) berechnet.

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ für 637 nm und 640 nm kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendeten Pulsenergien betragen damit:

$$Q_{k,\text{Linie}} = 0,40 \text{ mW} * 1,04 * 90 \mu\text{s} = 37,4 \text{ nJ}$$

$$Q_{k,\text{Ring}} = 0,42 \text{ mW} * 1,04 * 90 \mu\text{s} = 39,3 \text{ nJ}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Linienlaser		Laserleistung ($Q_{k,\text{Linie}}$)	Δ
	Grenzwert (GZS)			
1	GZS _{EP}	647 nJ	37,4 nJ	6 %
	GZS _T	120 nJ		31 %
	GZS _{CS}	647 nJ		6 %
2	GZS _T	310 nJ		12 %

Ringlaser				
Laserklasse	Grenzwert (GZS)		Laserleistung ($Q_{k, \text{Linie}}$)	Δ
1	GZS _{EP}	647 nJ	39,3 nJ	6 %
	GZS _T	175 nJ		22 %
2	GZS _{CS}	647 nJ		6 %
	GZS _T	460 nJ		9 %

Die beiden Laserstrahlen schneiden sich und bilden ein Kreuz. Für die Bewertung werden beide Laserstrahlen einzeln ausgewertet und der Summen-Quotient bestimmt. Dieser muss unter 100 % für die zugeordnete Laserklasse liegen. Der Gesamt-Quotient für die Laserklasse 1 beträgt 53 %, damit erfüllt die emittierte Strahlung die Grenzen der Laserklasse 1. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 1 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht korrekt. Das Gerät ist als Laserklasse 2 deklariert, erfüllt aber die Bedingungen der Laserklasse 1. Diese Überbewertung kann sich allerdings auch auf einen möglichen Fehlerfall beziehen, infolge dessen sich die Laserausgangsleistung erhöhen könnte. In diesem Fall wären die Hinweisschilder korrekt. Die maximale Ausgangsleistung ist mit ≤ 1 mW korrekt angegeben. Die Wellenlänge der emittierten Strahlung ist unterschiedliche auf dem Hinweisschild ($\lambda = 635 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$) und in der Bedienungsanleitung ($\lambda = 630 - 670 \text{ nm}$) angegeben. Beide Angaben beinhalten die gemessenen Werte von 637 nm und 640 nm.

Bosch PLL360

Verpackungsangaben

Marke:

Bosch

Bezeichnung:

PLL360

EAN:

3165140562881

Lichtquelle:

Laser 635 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

Auf dem Gerät.

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung,
Keine Bedienungsanleitung beiliegend.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN
60825-1:2007 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 636 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{Linie}} = 22,5 \text{ \& 2,55 mrad}$

$\alpha_{\text{Ring}} = 0,54 \text{ \& 18,6 mrad}$

Leistungsmessung:

$P_{\text{Linie}} = 0,09 \text{ mW}$

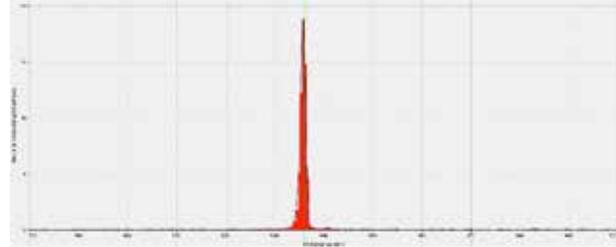
$P_{\text{Ring}} = 0,21 \text{ mW}$

$P_{\text{Kreuz}} = 0,27 \text{ mW}$

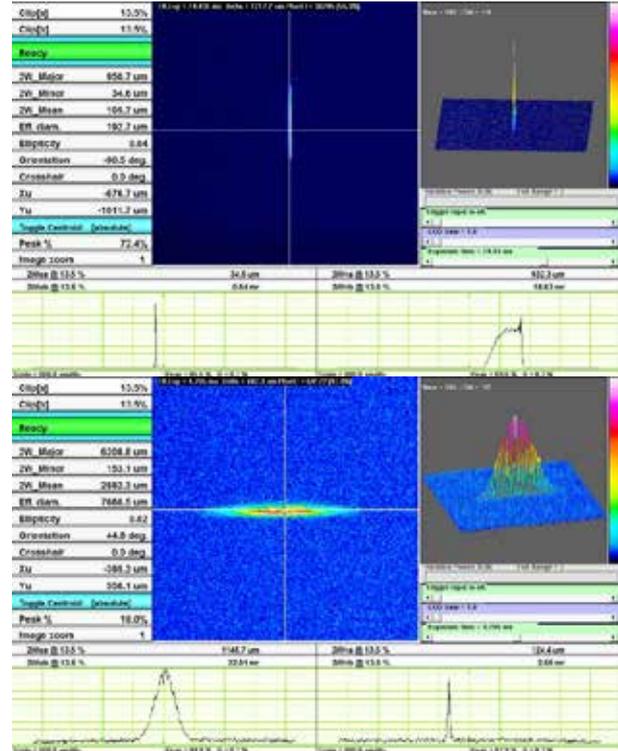
Kommentar:

Keine Pulsung

Spektrum:



Augenbild:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Wellenlänge $\lambda = 636 \text{ nm}$
- ungepulste Strahlung
- Ausgedehnte Quelle

Das System hat zwei Laseraustrittsöffnungen. Aus der einen Öffnung wird ein 360° Ring emittiert, aus der anderen Öffnung eine Linie. Das Augenbild zeigt eine Winkelausdehnung von 22,5 mrad und 2,55 mrad bei der Linie und eine Winkelausdehnung von 0,54 mrad und 18,6 mrad beim Ring. Diese Werte beziehen sich auf einen Gauß-Strahldurchmesser von $1/e^2$ und müssen noch auf einen Strahldurchmesser von $1/e$ umgerechnet werden. Die Messunsicherheiten bei der Bestimmung des Augenbildes sind relativ groß, darum wird die Winkelausdehnung der Quelle noch um einen Sicherheitsfaktor von 15 % reduziert. Die minimale Winkelausdehnung in einer Ebene ist dabei auf $\alpha_{\text{min}} = 1,5 \text{ mrad}$ begrenzt.

$$\alpha_{\text{Linie}} = \frac{\alpha_x + \alpha_y}{2} * \frac{\sqrt{2}}{2} * 0,85 = 7,5 \text{ mrad}$$

$$\alpha_{Ring} = \left[1,5 \text{ mrad} + \alpha_y * \frac{\sqrt{2}}{2} * 0,85 \right] / 2 = 6,3 \text{ mrad}$$

$$C_{6;Linie} = \frac{\alpha_{Linie}}{\alpha_{min}} = 5,0$$

$$C_{6;Ring} = \frac{\alpha_{Ring}}{\alpha_{min}} = 4,2$$

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von ± 4 % für 636 nm kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Laserleistung beträgt damit:

$$P_{k,Linie} = 0,09 \text{ mW} * 1,04 = 0,09 \text{ mW}$$

$$P_{k,Ring} = 0,21 \text{ mW} * 1,04 = 0,22 \text{ mW}$$

Die beiden Laserstrahlen schneiden sich und bilden ein Kreuz. Für die Bewertung werden beide Laserstrahlen einzeln ausgewertet und der Summen-Quotient bestimmt. Dieser muss unter 100 % für die zugeordnete Laserklasse liegen.

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Linienlaser			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung ($P_{k,Linie}$)	Δ
1	1,9 mW	0,09 mW	5 %
2	5,0 mW		2 %

Ringlaser			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Laserleistung ($P_{k,Ring}$)	Δ
1	1,6 mW	0,22 mW	14 %
2	4,2 mW		5 %

Der Gesamt-Quotient für die Laserklasse 1 beträgt 19 %, damit erfüllt die emittierte Strahlung die Grenzen der Laserklasse 1. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 1 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht korrekt. Das Gerät ist als Laserklasse 2 deklariert, erfüllt aber die Bedingungen der Laserklasse 1. Diese Überbewertung kann sich allerdings auch auf einen möglichen Fehlerfall beziehen, infolge dessen sich die Laserausgangsleistung erhöhen könnte. In diesem Fall wären die Hinweisschilder korrekt. Die maximale Ausgangsleistung ist mit < 1 mW korrekt angegeben und die gemessene Wellenlänge zeigt mit 636 nm eine geringe Abweichung von 1 nm von den angegebenen 635 nm und liegt innerhalb der üblichen Toleranz.

Floureon Distanzmessgerät 0,0580m

Verpackungsangaben

Marke:

Floureon

Bezeichnung:

Laser Distance Meter

EAN:

Lichtquelle:

Laser 635 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 1 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung und auf dem Gerät.

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung, auf dem Gerät und in der Bedienungsanleitung.

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1 auf dem Gerät.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda_1 = 637 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 1,00 \text{ \& } 0,67 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P_{\text{cw}} = 0,87 \text{ mW}$

$P_{\text{max}} = 2,15 \text{ mW}$

Divergenz:

x: 0,40; y: 0,22 mrad

NOHD:

52,5 m

Pulsmuster:

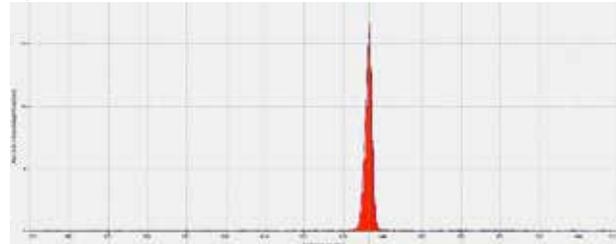
$t_{\text{on}} = 272 \text{ ms}$

Kommentar:

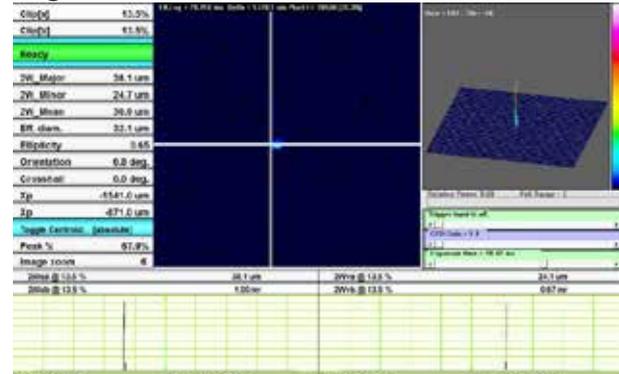
Bewertung erfolgt im Modus „Fortlaufende Messung“.

Der rote Laser mit 0,87 mW ist immer eingeschaltet, beim Messen wird ein Puls mit 2,15 mW und einer Dauer von 272 ms ausgesendet.

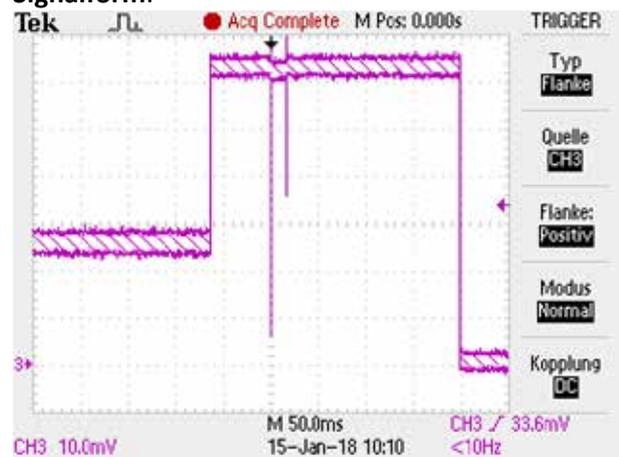
Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 637 \text{ nm}$
- gepulste Strahlung mit komplexen Pulsmustern und Pulsdauern von bis zu $t_{\text{on}} = 272 \text{ ms}$

Aufgrund der komplexen Pulsmuster der emittierten Strahlung, können die Grenzwerte für die mittlere Leistung und die Pulsmuster nicht präzise bestimmt werden. Dies ist auch nicht nötig, da bereits der Grenzwert für den Einzelpuls überschritten wird. Die Zeitbasis für die Klassen 2 und 3R beträgt 0,25 s, hiermit kann die emittierte Strahlung als cw angenommen werden

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät bestimmt, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ bei 637 nm kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Pulsenergie beträgt damit:

$$P_k = 2,15 \text{ mW} * 1,04 = 2,24 \text{ mW}$$

$$Q_k = 2,15 \text{ mW} * 1,04 * 272 \text{ ms} = 0,61 \text{ mJ}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Pulsenergie (Q_k) oder Laserleistung (P_k)	Δ
1	GZS _{EP} 0,26 mJ	0,61 mJ	235 %
	GZS _T -		-
	GZS _{CS} -		-
2	GZS _T 1 mW	2,24 mW	224 %
3R	GZS _T 5 mW		45 %

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 3R beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 3R einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind falsch. Die angegebene maximale Laserleistung ist mit 1 mW geringer als die gemessene Laserleistung von 2,24 mW. Das System ist fälschlicherweise als Laserklasse 2 deklariert, korrekt ist 3R. Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 637 nm eine geringe Abweichung von 2 nm von den angegebenen 635 nm und liegt innerhalb der üblichen Toleranz.

Zavarius Laser Entfernungsmesser 6x21

Verpackungsangaben

Marke:

Zavarius

Bezeichnung:

Laser Entfernungsmesser 6x21

EAN:

4022107220088

Lichtquelle:

Laser 905 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 0,4 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 1

Warnhinweise:

In der Bedienungsanleitung, auf der Verpackung und auf dem Gerät

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung, auf dem Gerät und in der Bedienungsanleitung. CE - Erklärung in der Bedienungsanleitung ohne Nennung der DIN EN 60825-1.

Laserklasse 1 nicht kennzeichnungspflichtig nach DIN EN 60825-1.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 894 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 5,53 \text{ \& } 0,67 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P_{\text{Bed1max}} = 57 \text{ W}$

$P_{\text{Bed3max}} = 27 \text{ W}$

Pulsmuster:

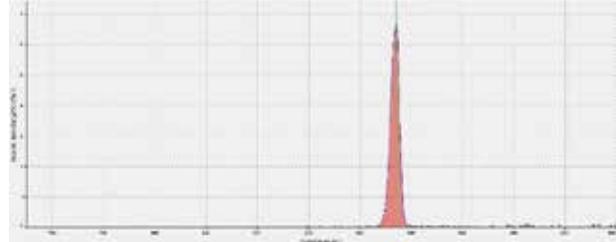
$t_{\text{on}} = 56 \text{ ns}$

$t_{\text{off}} = 2,6 \text{ ms}$

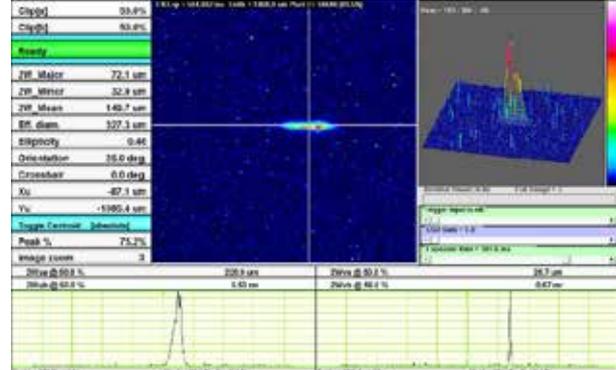
Kommentar:

Es werden 16 Einzelpulse innerhalb eines Pulszuges von 37,4 ms emittiert. Der Abstand zwischen zwei Pulszügen beträgt 124 ms.

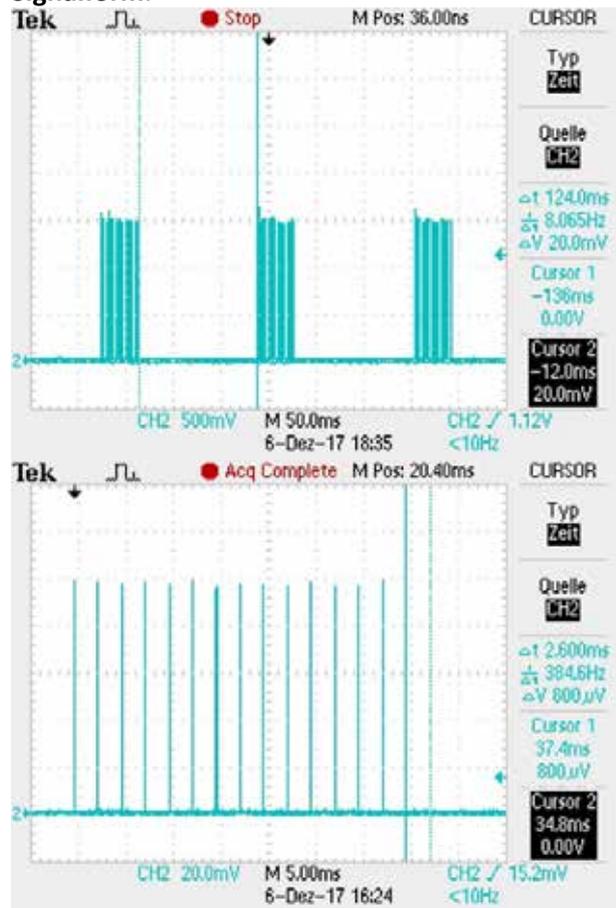
Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle im Betriebsmodus „Scan“ werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Wellenlänge $\lambda = 894 \text{ nm}$
- ausgedehnte Quelle
- Die Quelle sendet Laserpulse einer Dauer von $t_{\text{on}} = 56 \text{ ns}$ aus. Je 16 Pulse werden innerhalb eines Pulszuges von $37,4 \text{ ms}$ abgestrahlt. Zwischen zwei aufeinander folgende Pulszüge ist eine Pause von 124 ms .
- $C_5 = 0,88$

Das Augenbild zeigt eine Winkelausdehnung von $5,53 \text{ mrad}$ und $0,67 \text{ mrad}$. Die Messunsicherheiten bei der Bestimmung des Augenbildes sind relativ groß, darum wird die Winkelausdehnung der Quelle noch um einen Sicherheitsfaktor von 15% reduziert. Die minimale Winkelausdehnung in einer Ebene ist auf $\alpha_{\text{min}} = 1,5 \text{ mrad}$ begrenzt.

$$\alpha = [1,5 \text{ mrad} + \alpha_x * 0,85]/2 = 3,1 \text{ mrad}$$

$$C_6 = \frac{\alpha}{\alpha_{\text{min}}} = 2,1$$

Der Laserstrahl hat einen Durchmesser von über 7 mm und ist sehr gut kollimiert. Die Bewertung erfolgt deshalb nach Bedingung 1 mit einer Messblende von 50 mm und Bedingung 3 mit einer Messblende von 7 mm Durchmesser.

Es ergeben sich andere Grenzwerte, weil sich $C_6 = 3$ und $12,3$ und $C_5 = 0,80$ nach Bedingung 1 von denen nach Bedingung 3 unterscheiden.

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Pulsenergien betragen damit:

$$Q_{k, \text{Bed}1} = 57 \text{ W} * 1,04 * 56 \text{ ns} = 3,32 \mu\text{J}$$

$$Q_{k, \text{Bed}3} = 27 \text{ W} * 1,04 * 56 \text{ ns} = 1,57 \mu\text{J}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Pulsenergie nach Bedingung 1 und 3 zeigt:

Bedingung 1				
Laserklasse	Grenzwert (GZS)		Pulsenergie ($Q_{k, \text{Bed}1}$)*	Δ
1	GZS _{EP}	563 nJ	0,55 μJ	98 %
	GZS _T	107 μJ	3,32 μJ	3 %
	GZS _{CS}	451 nJ	0,55 μJ	122 %
3R	GZS _{EP}	2,78 μJ	0,55 μJ	20 %
	GZS _T	539 μJ	3,32 μJ	1 %
	GZS _{CS}	2,23 μJ	0,55 μJ	25 %
3B	GZS _{EP}	4,57 mJ	3,32 μJ	< 1 %
	GZS _T	5,04 mJ	3,32 μJ	< 1 %

Bedingung 3			
Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Pulsenergie ($Q_{k, \text{Bed1}}$)	Δ
1	GZS _{EP}	388 nJ	>300 %
	GZS _T	19,8 μ J	79 %
3R	GZS _{CS}	341 nJ	> 300
	GZS _{EP}	1,91 μ J	82 %
	GZS _T	107 μ J	1 %
3B	GZS _{CS}	1,68 μ J	93 %
	GZS _{EP}	4,57 mJ	< 1 %
	GZS _T	5,04 mJ	< 1 %

*Die Pulsenergie nach Bedingung 1 wird für die Einzelpulsmessung durch eine Feldblende reduziert.

Die emittierte Laserleistung ist nach Bedingung 1 und 3 ist größer als der GZS für Klasse 1 und geringer als der GZS für Klasse 3R. Damit wird das System in die Laserklasse 3R eingestuft.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind falsch. Die angegebene mittlere Laserleistung von < 0,4 mW ist größer als die gemessene mittlere Laserleistung von 0,39 mW (mit Messtoleranz 0,42 mW). Die gemessene Wellenlänge zeigt mit 894 nm eine Abweichung von 11 nm von den angegebenen 905 nm. Das System ist fälschlicherweise als Laserklasse 1 deklariert, korrekt ist 3R.

Medical Quant Soft Laser Kombigerät Handy Cure S

Verpackungsangaben

Marke:

Medical Quant

Bezeichnung:

Handy Cure S

EAN:

Lichtquelle:

Laser 905 nm

Infrarot LEDs 860 – 960 nm

Rote LEDs 600 – 740 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

Laser 0,4 – 6,25 mW

Infrarot 30 – 90 mW

Rote LEDs 2 – 10 mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 1M

RG 2

Warnhinweise:

Auf dem Gerät.

Kommentar:

CE-Zeichen auf der Verpackung und auf dem Gerät. Keine CE-Erklärung beiliegend. Kein Verweis auf DIN EN 60825-1.

Brille beiliegend.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 912 \text{ nm}$

Augenbild:

$\alpha_{\text{mess}} = 15,4 \text{ \& } 11,4 \text{ mrad}$

Leistungsmessung:

$P_{\text{max}} = 0,46 \text{ W}$

Pulsmuster:

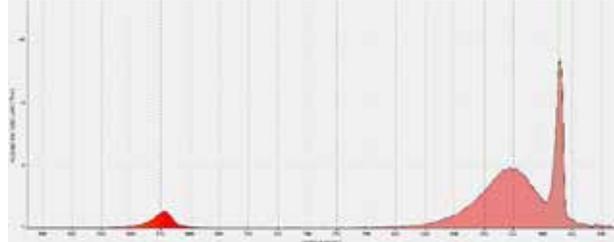
$t_{\text{on}} = 128 \text{ ns}$

$t_{\text{off}} = 320 \mu\text{s} - 1 \text{ ms}$

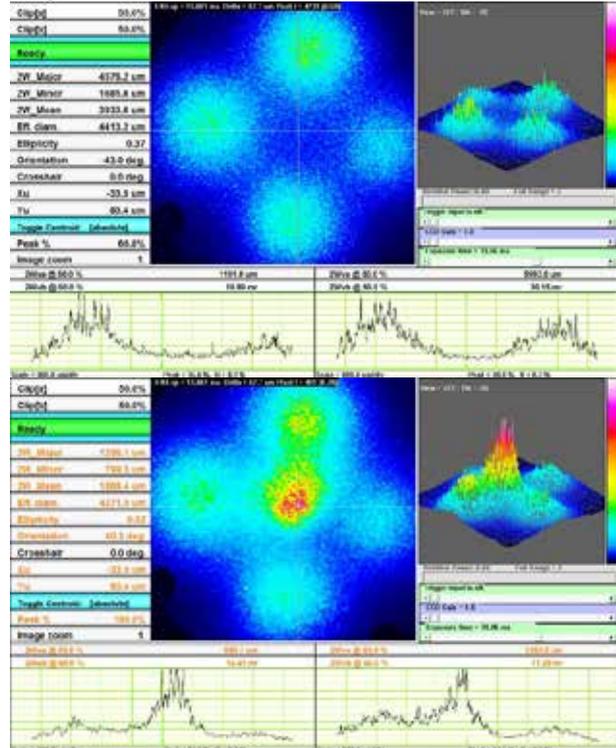
Kommentar:

Das Gerät lässt sich nur ohne angeschlossenes Netzteil in Betrieb nehmen. Die Laseremission ist nur bei Modus „Variable“ eingeschaltet. Es wird die gesamte emittierte Strahlung gemessen und als Laserstrahlung gewertet.

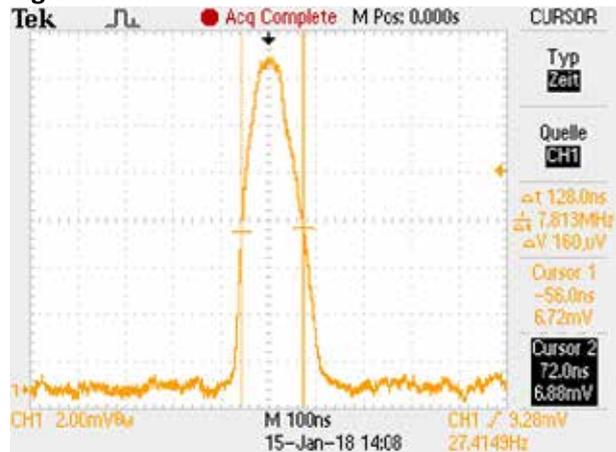
Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Laserwellenlänge $\lambda = 912 \text{ nm}$
- ausgedehnte Quelle
- Die Quelle ist gepulst mit einer Pulsdauer von $t_{\text{on}} = 128 \text{ ns}$ und einer minimalen Pulsabstand von $t_{\text{off}} = 320 \text{ }\mu\text{s}$
- $C_5 = 0,67$

Das Augenbild zeigt eine Winkelausdehnung von 15,4 mrad und 11,4 mrad. Die Messunsicherheiten bei der Bestimmung des Augenbildes sind relativ groß, darum wird die Winkelausdehnung der Quelle noch um einen Sicherheitsfaktor von 15 % reduziert.

$$\alpha = \frac{\alpha_x + \alpha_y}{2} * 0,85 = 11,4 \text{ mrad}$$

$$C_6 = \frac{\alpha}{\alpha_{\text{min}}} = 7,6$$

Die Pulsspitzenleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4,5 \%$ für 912 nm kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. In dieser für die Klassifizierung verwendeten Pulsenergie sind noch Anteile der LED-Strahlung enthalten.

$$Q_k = 0,46 \text{ W} * 1,045 * 128 \text{ ns} = 62 \text{ nJ}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Pulsenergie (Q_k)	Δ
1	GZS _{EP} 679 nJ	62 nJ*	9 %
	GZS _T 2,39 μJ		3 %
	GZS _{C5} 454 nJ		14 %

*Die für die Bewertung genutzte Pulsenergie müsste eigentlich für die Einzelpulsmessungen mit einer Feldblende bestimmt werden. Da das System bereits ohne Feldblende den Grenzwert der Klasse 1 erfüllt, wird auf eine Messung mit Feldblende verzichtet.

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 1 beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 1 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Bei der Laserklasse 1 sind keine Hinweisschilder auf dem Gerät notwendig. Auf dem Gerät ist nur das Laserwarnsymbol angebracht. In der Bedienungsanleitung ist die Wellenlänge mit 905 nm angegeben, gemessen wurden 912 nm. In der Bedienungsanleitung ist das Gerät als Laserklasse 1M deklariert, gemessen ist Laserklasse 1.

Forever25 Vibro Massage Laser Kamm

Verpackungsangaben

Marke:

Forever25

Bezeichnung:

LaserKamm KD380

EAN:

Lichtquelle:

Laser 650nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

< 1mW

Risikogruppe/Laserklasse:

Laserklasse 2

Warnhinweise:

Kennzeichnung mit Warnhinweis nach DIN EN 60825-1 in der Bedienungsanleitung. Keine Warnhinweise auf dem Gerät.

Kommentar:

CE-Zeichen auf dem Gerät und in der Bedienungsanleitung.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$$\lambda_1 = 652 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 655 \text{ nm}$$

Augenbild:

$$\alpha_{\text{mess}} = 1,74 \text{ \& } 13,7 \text{ mrad}$$

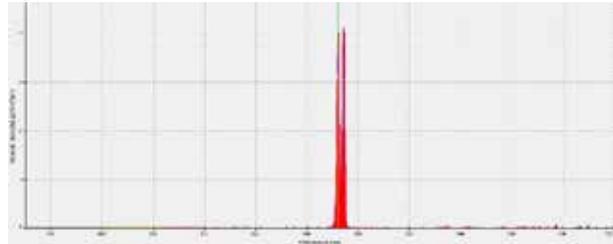
Leistungsmessung:

$$P_{\text{mittel}} = 0,38 \text{ mW}$$

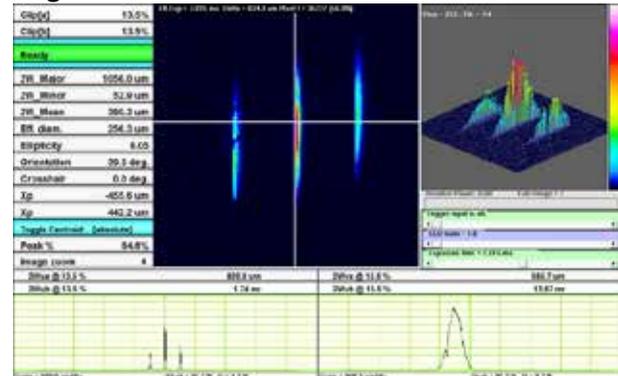
Kommentar:

Die vom Gerät emittierte Strahlung ist mit einer Sinusschwingung moduliert.

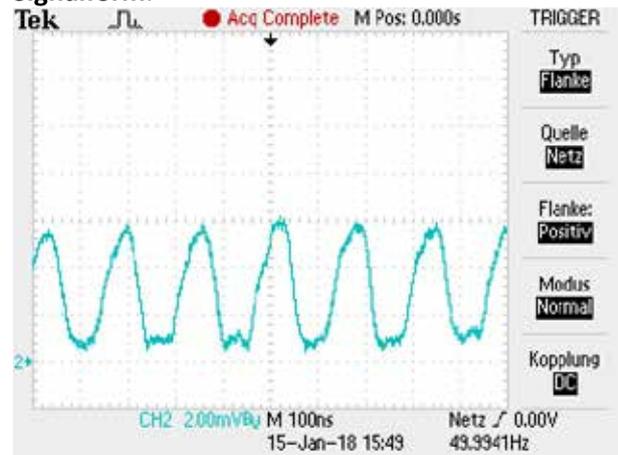
Spektrum:



Augenbild:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Wellenlänge $\lambda = 652 \text{ nm}$ und 655 nm
- Ausgedehnte Quelle
- Die Quelle besitzt eine sinusförmige Modulation der Laserleistung mit einer Frequenz von $6,1 \text{ MHz}$ ($t_{\text{on}} = t_{\text{off}} = 84 \text{ ns}$).
- $C_5 = 0,4$

Das Augenbild zeigt eine Winkelausdehnung von $1,74 \text{ mrad}$ und $13,7 \text{ mrad}$. Diese Werte beziehen sich auf einen Gauß-Strahldurchmesser von $1/e^2$ und müssen noch auf einen Strahldurchmesser von $1/e$ umgerechnet werden. Die Messunsicherheiten bei der Bestimmung des Augenbildes sind relativ groß, darum wird die Winkelausdehnung der Quelle noch um einen Sicherheitsfaktor von 15% reduziert. Die minimale Winkelausdehnung in einer Ebene ist auf $\alpha_{\text{min}} = 1,5 \text{ mrad}$ begrenzt.

$$\alpha = \left[1,5 \text{ mrad} + \alpha_y * \frac{\sqrt{2}}{2} * 0,85 \right] / 2 = 4,9 \text{ mrad}$$

$$C_6 = \frac{\alpha}{\alpha_{\text{min}}} = 3,2$$

Die mittlere Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ für 652 nm und 655 nm kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die mittlere Leistung muss für die Berechnung der Pulsenergie mit zwei multipliziert werden um die Pulsspitzenleistung zu bestimmen. Die für die Klassifizierung verwendete Pulsenergie beträgt damit:

$$Q_k = 0,38 \text{ mW} * 1,04 * 2 * 84 \text{ ns} = 66 \text{ pJ}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Pulsenergie (Q_k)	Δ
1	GZS _{EP} 77,0 nJ	66 pJ	< 1 %
	GZS _T 0,20 nJ	66 pJ	33 %
2	GZS _{CS} 30,8 nJ	2 nJ*	7 %
	GZS _T 0,52 nJ	66 pJ	13 %

* Die für die Bewertung genutzte Pulsenergie muss aufgrund der kurzen Periodendauer erhöht werden.

Die emittierte Laserleistung ist auf Werte innerhalb der Lasersicherheitsklasse 1 beschränkt. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte ist das System in die Laserklasse 1 einzustufen.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Auf dem Gerät sind keine Warnhinweise angebracht. In der Bedienungsanleitung wird als Wellenlänge 650 nm angegeben, dies unterscheidet sich um 2 nm und 5 nm von den gemessenen Wellenlängen. Die in der Bedienungsanleitung angegeben maximale Laserleistung von 1 mW ist größer als die gemessene maximale Laserleistung von $0,79 \text{ mW}$. In der Bedienungsanleitung ist das Gerät als Laserklasse 2 deklariert, gemessen ist Laserklasse 1.

Neje DK8KZ R8E6

Verpackungsangaben

Marke:

Neje

Bezeichnung:

DK8KZ R8E6

EAN:

Lichtquelle:

Laser 405 nm

Lichtstrom/Strahlungsleistung:

1 W

Risikogruppe/Laserklasse:

Warnhinweise:

Keine Warnhinweise. Hinweis auf: „keine Strahlung“

Kommentar:

Brille beiliegend.

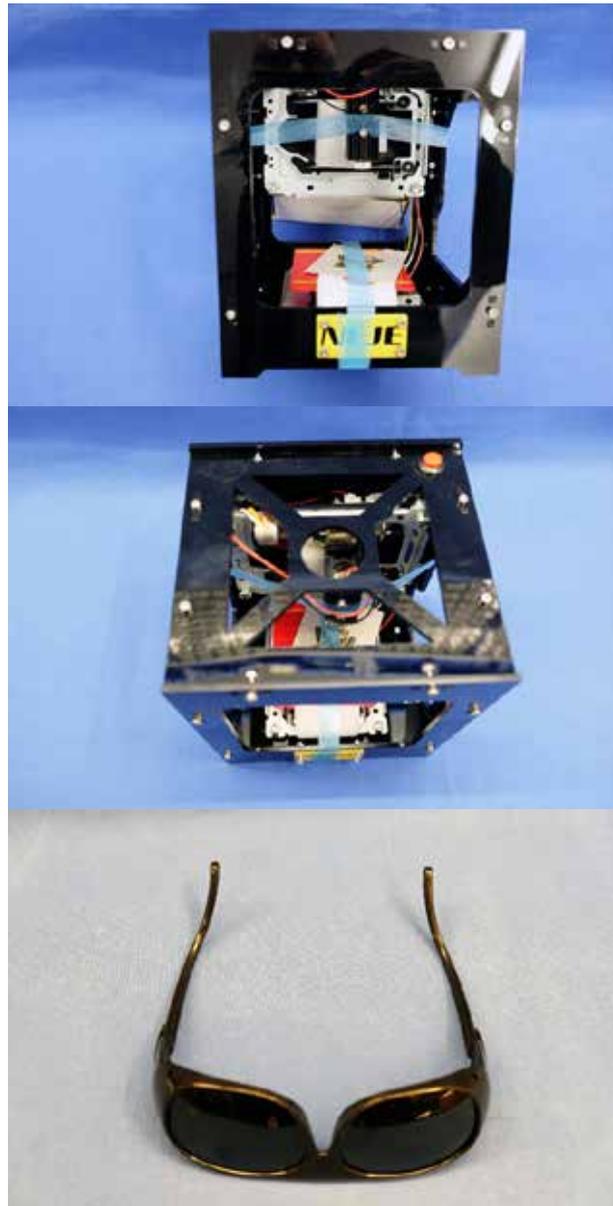
Hinweis auf CE-Erklärung in der Bedienungsanleitung, Inhalt jedoch nicht lesbar (zu klein gedruckt).

Keine Typen-Bezeichnung sowie keine Angabe der Laserleistung.

Keine normgerechte Kennzeichnung.

Ergänzende Recherche lieferte keine weiteren Informationen von Seiten des Herstellers bzgl. der Augensicherheit.

Unter <https://www.golem.de/news/neje-dk-8-kz-im-test-haltet-die-sicherheitsbrille-griffbereit-1610-123751.html> findet sich ein Test-Bericht mit Warnhinweisen ohne Bezug zur anzuwendenden Norm.



Messergebnisse

Wellenlänge(n):

$\lambda = 408 \text{ nm}$

Leistungsmessung:

$P_{\text{max}} = 544 \text{ mW}$

Pulsmuster:

$t_{\text{on}} = 20,8 \text{ ms}$

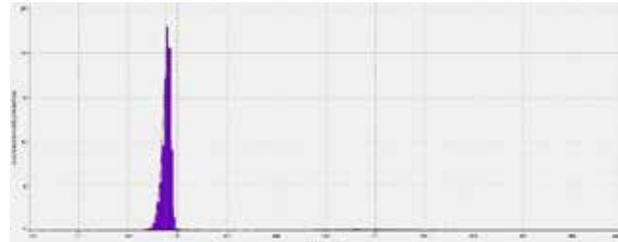
$t_{\text{off}} = 2,4 \text{ ms}$

Kommentar:

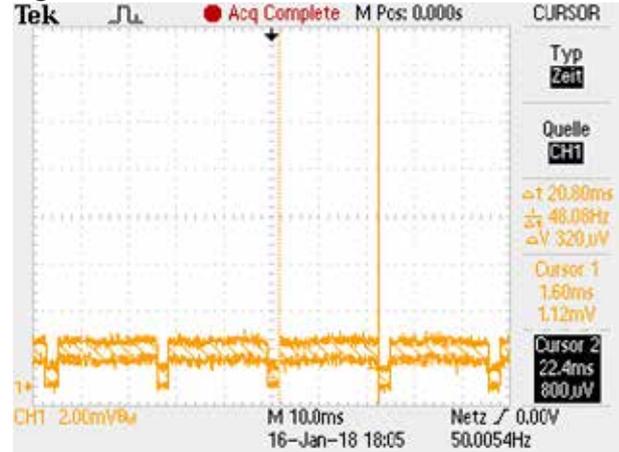
Augenbild wird aufgrund der hohen Ausgangsleistung und des kollimierten Laserstrahls nicht aufgenommen.

Keine Überhöhung im Einschaltmoment.

Spektrum:



Signalform:



Auswertung

Die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für die Laserquelle werden mit folgenden Parametern berechnet:

- Punktquelle ($\alpha < \alpha_{\min}$; $C_6 = 1$)
- Wellenlänge $\lambda = 408 \text{ nm}$
- gepulste Strahlung mit $t_{\text{on}} = 20,8 \text{ ms}$ und $t_{\text{off}} = 2,4 \text{ ms}$
- $C_5 = 1$

Die Laserleistung ist mit einem Messgerät gemessen, welches mit einer Unsicherheit von $\pm 4 \%$ kalibriert ist. Für die Bewertung des Lasersystems wird der kritischste Messfehler angenommen. Die für die Klassifizierung verwendete Pulsenergie beträgt damit:

$$Q_k = 544 \text{ mW} * 1,04 * 20,8 \text{ ms} = 11,8 \text{ mJ}$$

Ein Vergleich der Grenzwerte der zugänglichen Strahlung der einzelnen Laserklassen mit der Laserleistung zeigt:

Laserklasse	Grenzwert (GZS)	Pulsenergie (Q_k)	Δ
1	GZS _{EP}	38,3 μJ	> 300 %
	GZS _T	0,9 μJ	300 %
	GZS _{CS}	38,3 μJ	300 %
2	GZS _T	23,2 μJ	300 %
	GZS _{EP}	192 μJ	300 %
	GZS _{CS}	192 μJ	300 %
3R	GZS _{EP}	11,8 mJ	39 %
	GZS _T	11,6 mJ	102 %
	GZS _{CS}	30 mJ	39 %
3B	GZS _{EP}	30 mJ	39 %
	GZS _T	11,6 mJ	102 %
	GZS _{CS}	30 mJ	39 %

Die emittierte Laserleistung überschreitet inklusive der Messunsicherheit den Grenzwert der zulässigen Bestrahlung für die Laserklasse 3B. Entsprechend der gemessenen Strahlungswerte kann das System nicht sicher der Laserklasse 3B zugeordnet werden, dass System wird deshalb in die Laserklasse 4 eingestuft.

Vergleich der gemessenen Werte mit den Verpackungsangaben:

Die geforderten Hinweisschilder auf dem Gerät sind nicht vorhanden. Die in der Bedienungsanleitung angegebene Wellenlänge des Lasers von 405 nm unterscheidet sich nur um 3 nm von der gemessenen Wellenlänge von 408 nm. Laut Bedienungsanleitung soll das Lasersystem eine Ausgangsleistung von 1 W besitzen, gemessen wurde maximal 566 mW. Auf dem Gerät ist weder die Laserklasse (4) noch ein Laserwarnschild angebracht.

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz