

# Risikobeurteilung von Lasershows

*Das kann ins Auge gehen – trotz gesetzlichen Bestimmungen haben Messungen von Lasershows gezeigt, dass die Grenzwerte um ein Vielfaches überschritten werden. Bisher war es sehr aufwändig, eine komplette Lasershow zu analysieren. Damit in Zukunft die bleibenden Eindrücke nicht auf der Netzhaut der Zuschauenden entstehen, entwickelte das METAS mit dem Laser Show Risk Analyzer (LASRA) ein umfassendes Beurteilungssystem. Denn ist die Gefahr erkannt, kann sie mit einfachen Mitteln gebannt werden.*

FABIO RINDERER, PETER BLATTNER

Damit ein Konzert- oder Discobesuch zu einem besonderen Erlebnis wird, setzen Veranstalter zunehmend Showlaser ein. Vorzugsweise werden Laser verwendet, die direkt ins Publikum strahlen und sogenannte Beamshows erzeugen. Kunstnebel machen die Strahlen sichtbar und erzeugen einen räumlichen Effekt. Die Figuren, Frames genannt, entstehen durch einen Laserstrahl, der in kürzester Zeit Farbe und Position wechselt. Im Wesentlichen bestehen Showlaser aus verschiedenfarbigen Laserquellen, einer schnellen Ablenkeinheit (Galvano-Spiegel) und einer Ansteuerungssoftware. Diese generiert analoge Signale welche die optische Leistung der Laser und die Position der Galvano-Spiegel steuert.

Wurden früher hauptsächlich teure Gas-Laser eingesetzt, sind heute vermehrt preiswerte Laserdioden im Einsatz. In einem Showlaser sind zwischen einer und sechs verschiedenfarbige Laserdioden vorhanden. Weil solche Systeme für wenige hundert Franken via Internet erhältlich sind, hat die Anzahl der Showlaser in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

## Gefährdung

Laserstrahlung ist faszinierend, aber nicht harmlos. Im MET-info-Artikel «Achtung: Laserstrahlung!» wurde ausführlich darauf hingewiesen [1]: Ein Laserpointer mit 100 mW Leistung

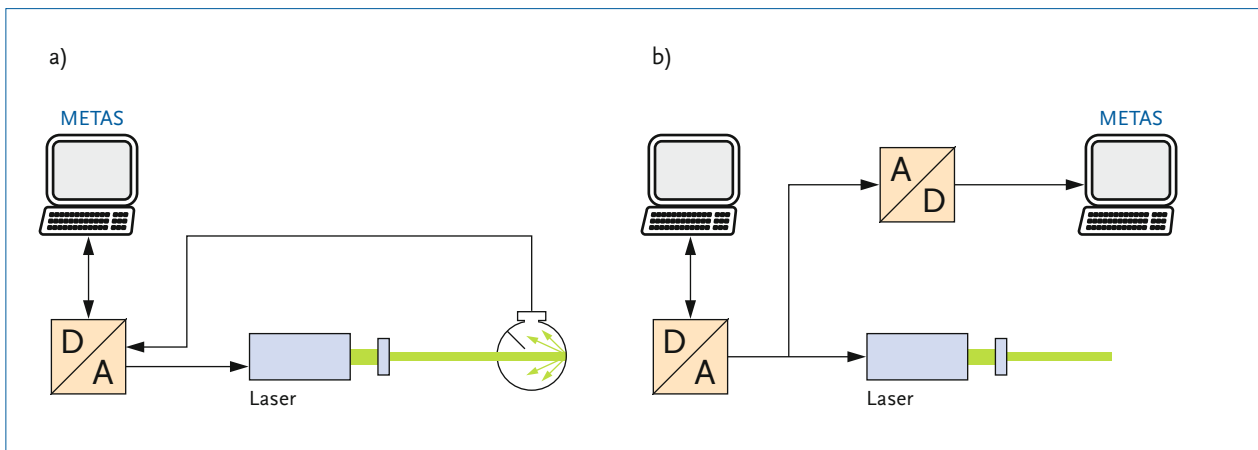
darf maximal während 2  $\mu$ s das Auge bestrahlen; die natürliche Abwendungsreaktionszeit bei Bestrahlung mit hellem Licht beträgt jedoch rund 0.25 s, dauert also 125 000-mal zu lange! Bei Lasershows werden Laser von mehreren Watt Leistung eingesetzt. Für die Zuschauer besteht eine reelle Gefährdung: der Laserstrahl kann das Auge treffen – und schädigen. Die Gefährdung ist zeitlich und örtlich variabel und tritt nur kurz auf. Das Gefährdungspotential einer Show ist komplex und von blossen Auge nicht zu beurteilen.

## Gesetzliche Grundlagen

In der Schweiz unterliegen Veranstaltungen, welche Laser einsetzen, der Schall- und Laserverordnung SLV [2]. Der Veranstalter hat gemäss SLV dafür zu sorgen, dass im Publikumsbereich die festgelegten Grenzwerte für die Laserstrahlung eingehalten werden. Diese Grenzwerte, sind in der internationalen Lasersicherheitsnorm (IEC 60825-1) als die maximale zulässige Bestrahlung (MZB) beschrieben. Die MZB-Werte stellen die maximalen Werte dar, denen das Auge ausgesetzt werden kann, ohne es zu verletzen. Die MZB ist abhängig von der Wellenlänge, der Einwirkungsdauer und von der Grösse des Bildes auf der Netzhaut. Die Vollzugsbehörden, in der Schweiz auf kantonaler Ebene, kontrollieren Veranstaltungen stichprobenweise. Lasershows wurden aber in der Vergangenheit sehr selten beurteilt, denn die bisherige Methode ist aufwändig und lückenhaft: Für eine Beurteilung einer Lasershow



1 Um die Effekte von Lasershows zu verstärken, wird zusätzlich Kunstnebel eingesetzt.



2 a) LASRA charakterisiert Laser; b) LASRA analysiert Lasershow.

wurde bei einem ausgegebenen Laser-Bild (Frame) die optische Leistung der Strahlen an einem spezifischen Immissionsort bestimmt. Zu diesem Zweck positionierte man einen photoempfindlichen Empfänger im Publikumsbereich. Mit der gemessenen Impulsdauer und der optischen Leistung konnte die Bestrahlung berechnet, und mit den MZB-Werten verglichen werden. Damit konnte nur stichprobenweise und sehr langsam eine Lasershow beurteilt werden.

### Neue Beurteilungsmethode

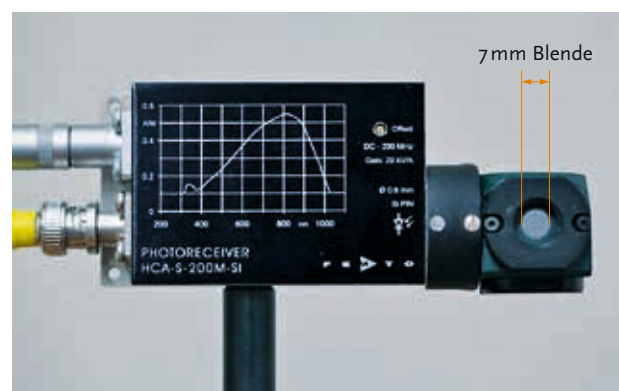
Das METAS hat in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) ein neues und integrales Beurteilungssystem entwickelt. Der **Laser Show Risk Analyzer (LASRA)** analysiert schnell und zuverlässig eine komplette Lasershow. Er besteht im Wesentlichen aus einer auf Labview basierenden Software und einem schnellen Photo-Empfänger. Bei der Beurteilung werden zuerst die Showlaser charakterisiert, anschließend die komplette Lasershow.

### Charakterisierung der Laser

Zuerst wird die Mess-Software mit dem zu beurteilendem Showlaser verbunden. Die Messhardware besteht aus einer Ulbricht-Kugel und einem Sensor. Diese Hohlkugel misst die optische Leistung unabhängig vom Einfallswinkel eines Strahles. Ulbricht-Kugel und Sensor werden in der kürzesten Distanz zwischen Publikumszone und Laserprojektor positioniert. Nachdem das Programm den Laser auf den Messkopf ausgerichtet hat, werden spezifische Signale zur Charakterisierung des Showlasers gesendet. Dabei will man wissen, wie sich die Leistung des Lasers bei zunehmender Steuerspannung verhält. Dies erfolgt indem die Ansteuerungsspannung zwischen 0 V und 5 V variiert und die Lichtleistung des Laserstrahls in der Ulbricht-Kugel analysiert wird. Der Sensor misst die Kennlinien der Laserdioden. Der Blendendurchmesser beträgt 7 mm und entspricht dem genormten, maximalen Pupillendurchmesser eines Auges.

### Strahlqualität

Obwohl von bloßem Auge der Laserstrahl als fein und im Ort seines Auftreffens praktisch als Punkt erscheint, hat jeder Showlaser einen unterschiedlichen Öffnungswinkel des Strahlengangs, die sogenannte Divergenz. Der Durchmesser des Laserstrahls nimmt mit der Entfernung zu. Der Abstand – Showlaser zum Publikumsbereich – ist nicht bei jeder Show gleich. Eine weitere Analyse wird deshalb durchgeführt: Die Software lässt den Laserstrahl eine bestimmte Strecke mit einer definierten Geschwindigkeit zurücklegen. Hat der Laserstrahl eine hohe Divergenz oder steht der Showlaser sehr nahe am Messkopf (Distanz zwischen Publikum und Showlaser ist gering), wird der Laserstrahl eine längere Zeit für das Passieren der empfindlichen Fläche des Messkopfes benötigen. Bei einem Laserstrahl mit höherer Divergenz auf die gleiche Distanz erhöht sich der Strahldurchmesser. Dadurch wird eine geringere Leistung auf die Pupille treffen, die Gefährdung verkleinert sich.



3 Um die Messungen optimal durchführen zu können, muss der Sensor (Messkopf mit der 7 mm Blende und der Photodiode) genau platziert werden.



4 Ausrichtung des Lasers: zuerst wird das Feld um die Sonde positioniert. Dann wird mit einer automatischen Analyse X-Achse und Y-Achse gescannt. Bei den höchsten Werten wird das Fadenkreuz projiziert – die Charakterisierung des Lasers beginnt.

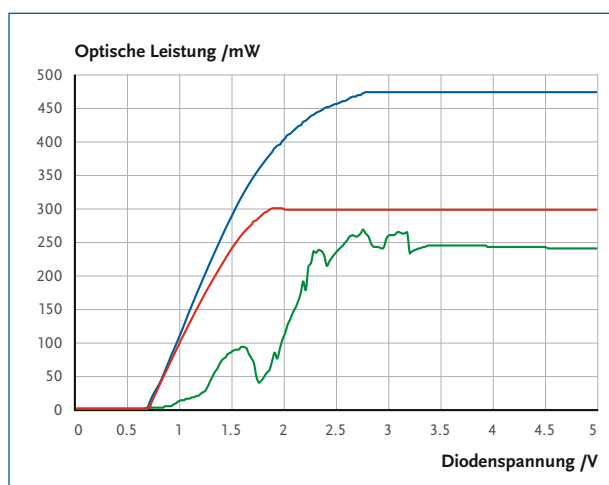
Die Analyse der Divergenz und Distanz zum Publikum wird für die X- und Y-Achse vorgenommen. Durch die unterschiedlichen Strahlprofile ist dies für jede einzelne Farbe zu bestimmen. Das Programm berechnet nun, bei welcher Signaländerung der Laserstrahl welche Strecke zurücklegt, um die empfindliche Fläche des Messkopfes zu passieren.

#### Beurteilung der Lasershow

Nachdem die Eigenschaften des Showlasers bekannt sind, wird die Show selbst beurteilt. Eine Lasershow existiert als Programm, welches Steuersignale über ein Kabel an die Showlaser schickt. Diese Signale werden direkt mit der Software analysiert. Als Resultat berechnet die Software Richtung und Leistung der Laserstrahlen. Daraus lässt sich die Zeit bestimmen, die verstreicht, um an der berechneten Stelle die Pupille (7 mm) zu passieren. Der Laserstrahl verweilt bei Richtungsänderungen, wie bei Eckpunkten von Quadraten, länger als auf deren Linien. Das Programm visualisiert dies, als Zeiten in Mikrosekunden, für jedes einzelne Frame in Echtzeit.

#### Publikumsbereich

Nur die Strahlen, die den Publikumsbereich treffen, sind bei der Beurteilung der Gefährdung von Interesse. Mit dem Programm



5 Die optische Leistung ist nicht direkt proportional zur Diodenspannung und muss für jede Laserdiode (rot, blau, grün) einzeln gemessen werden.

können Publikumszonen definiert werden. Der Showlaser projiziert die ausgewählte Zone am gewünschten Ort. Frames, die ab Boden mindestens drei Meter über das Publikum strahlen, müssen nicht berücksichtigt werden; es sei denn, eine Discokugel oder andere spiegelnde Gegenstände befinden sich im Raum, welche die Laserstrahlen über dem Publikum reflektieren könnten.

#### Mess- und Beurteilungssystem in Echtzeit

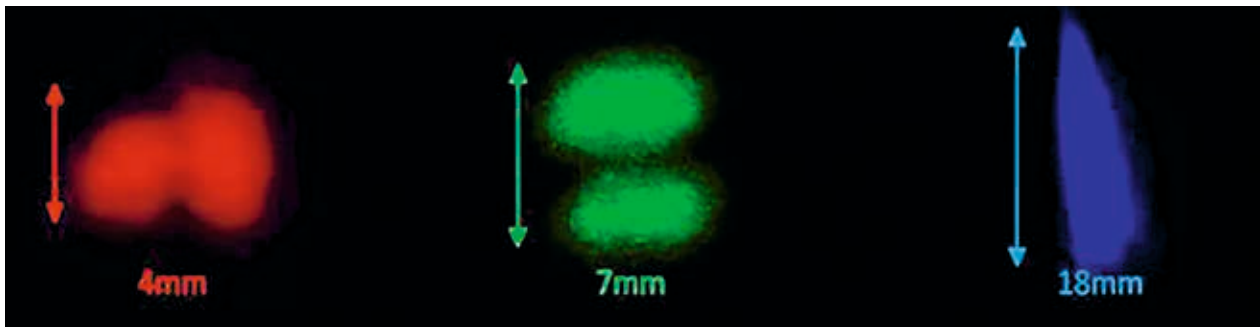
LASRA beurteilt auf diese Weise eine komplette Lasershow und zwar für jeden Ort, der sich im Publikumsbereich befindet. Die Software macht die Auswertung in Echtzeit: In jedem Moment einer Signalausgabe zeigt das System die momentane Impulsdauer samt entsprechender Leistung an.

Tritt eine Grenzwertüberschreitung auf, macht es den Anwender darauf aufmerksam. Bei einer festgelegten Grenzwertüberschreitung oder in jedem gewünschten Moment kann das momentan gemessene Bild angehalten und ausgewertet werden. Bei jedem beliebigen Frame werden die Leistungen der Laser, die Impulsdauer auf dem Auge und natürlich die MZB-Überschreitung angezeigt. Meistens sind es Start- und Endpunkte, Eckpunkte von Quadraten oder Farbmischungen mit mehreren aktiven Laserfarben (z.B. Rot und Grün), die zur Überschreitung führen.

#### Messungen vor Ort

Vor Ort werden mit dem Betreiber der Lasershow die Messungen betrachtet, um einen ungefähren Überblick der zulässigen Grenzwerte zu erhalten. Je nach Anzahl der zu messenden Frames und Anzahl der Laserprojektoren dauert eine Beurteilung vor Ort zwischen einer Stunde und vier Stunden. Zur Rückverfolgbarkeit der Messung werden einzelne Frames abgespeichert, um diese zu einem beliebigen Zeitpunkt wiederzugeben.

Ist die MZB-Überschreitung massiv ( $>50 \times \text{MZB}$ ), muss der Betreiber in den meisten Fällen mit zusätzlichen optischen Hilfsmitteln arbeiten: Strahl-Ausweitung-Linsen erhöhen die Divergenz, was die Leistung auf eine grössere Fläche verteilt. Somit reduziert sich die Leistung auf der Netzhaut. Oder Graufilter, welche die Leistung um einen prozentualen Teil reduzie-



6 Unterschiedliche Divergenzen und Strahlprofile von Laserstrahlen in der Praxis.

ren. Oft genügt aber bereits das Dimmen der einzelnen Frames. Abrunden von Ecken bei Quadraten oder Dreiecken verringert die Impulsdauer an den Eckpunkten zusätzlich, was auch eine Senkung der Grenzwert-Überschreitung mit sich bringt.

#### Fazit bisheriger Erfahrungen

Mangelndes Wissen der Betreiber über Laser und deren unterschätztes Gefährdungspotential können für Zuschauer von Lasershows irreversible Augenschäden verursachen. Der vom METAS entwickelte Laser Show Risk Analyzer ist das erste System, welches zuverlässig eine ganze Lasershow analysieren und die MZB für jeden ausgegebenen Punkt berechnen kann. Bisher kam er zehn Mal zum Einsatz. Die bis jetzt gemessenen Lasershows haben den Grenzwert alle um mehr als Faktor fünf überschritten, zum Teil sogar um einen Faktor 50! Das neue Messsystem soll deshalb sichere Lasershows ermöglichen und nicht Lasershows verbieten. Im konstruktiven Dialog wird mit den Betreibern nach Lösungen gesucht und so das Gefähr-

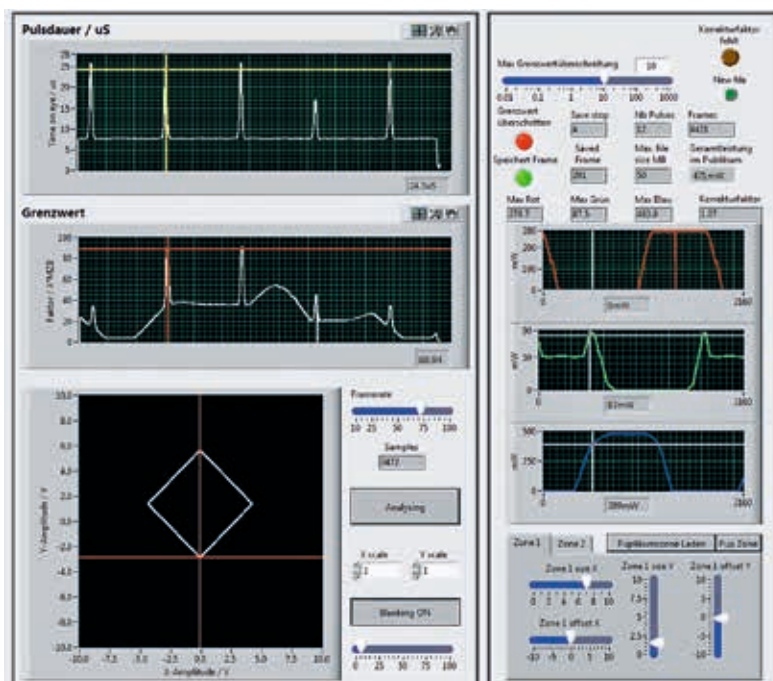
dungspotential minimiert. Das Echo nach der Pilotphase ist durchwegs positiv und international. Ein Unternehmen aus Deutschland und Behörden aus Grossbritannien zeigen Interesse an LASRA, denn von sicheren Lasershows profitieren am Ende Betreiber und Zuschauer.

#### Referenzen

- [1] Peter Blattner: Achtung: Laserstrahlung!, METInfo, Vol. 16, Nr. 3, pp. 7–13, 2009.
- [2] Verordnung vom 28. Februar 2007 über den Schutz des Publikums von Veranstaltungen vor gesundheitsgefährdenden Schalleinwirkungen und Laserstrahlen (Schall- und Laserverordnung, SLV), SR 814.49.

Fabio Rinderer, Labor Optik,  
Direktwahl: +41 58 387 04 90, fabio.rinderer@metas.ch

Dr. Peter Blattner, Laborleiter Optik  
Direktwahl: +41 58 387 03 40, peter.blattner@metas.ch



7 Wird bei einer Lasershow ein Frame, beispielsweise ein Quadrat projiziert, erscheint dies direkt auf dem Bildschirm. Das Programm berechnet für jede Stelle des Frames die maximal zulässige Bestrahlung (MZB). In diesem Fall sind es die Eckpunkte, die die MZB überschreiten.