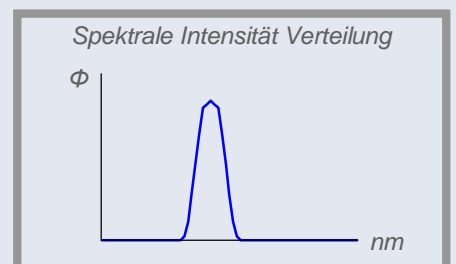
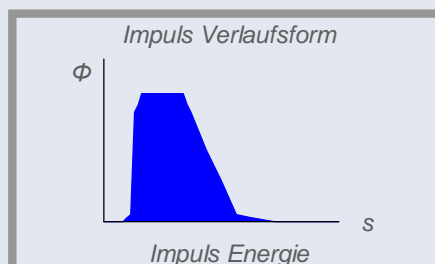
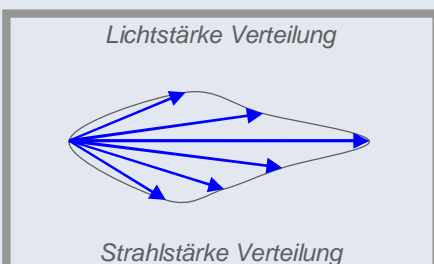
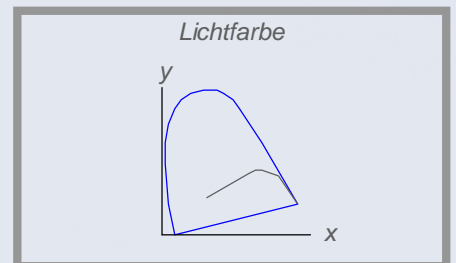
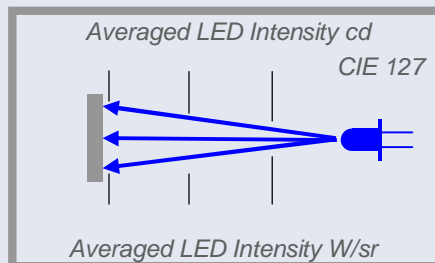
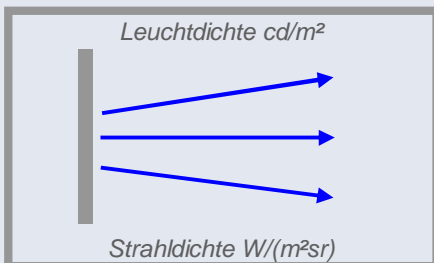
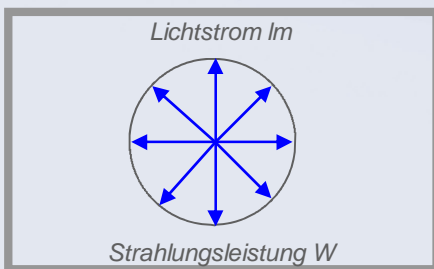
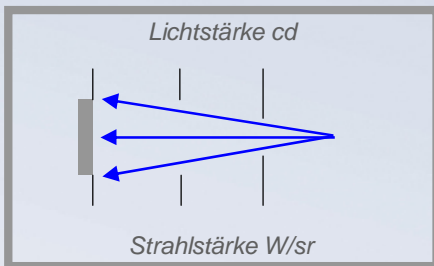
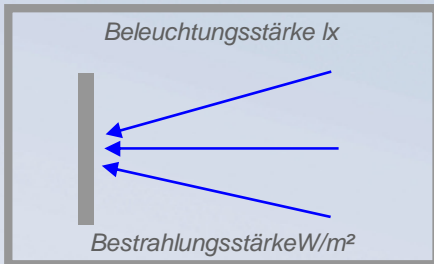
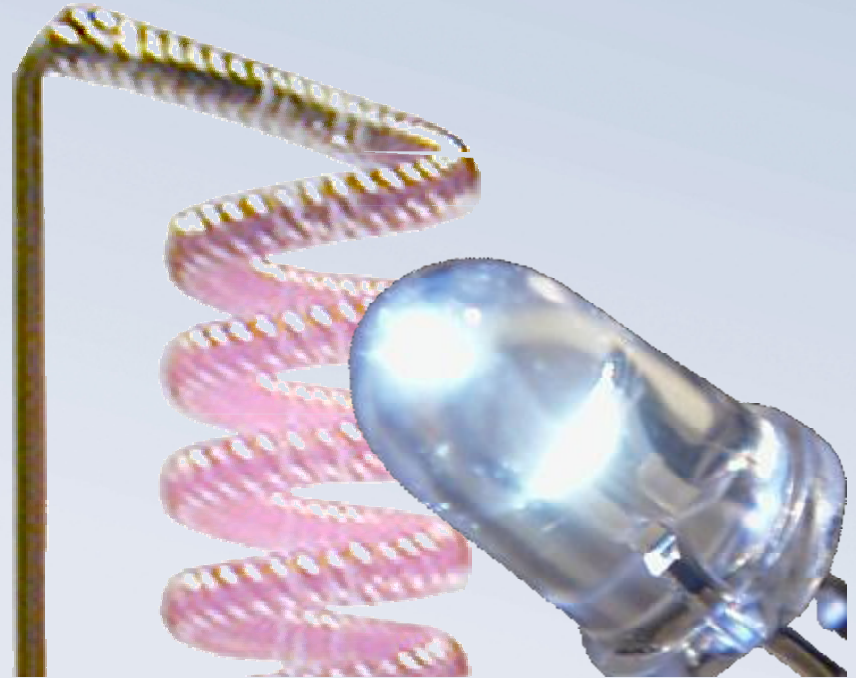


Messen *von* Licht

Messen *mit* Licht

## Leuchtmittel

### Applikationen & Lichtmessung





In der Frühzeit leitete die Öllampe den Wandel vom natürlichen zum künstlichen Licht ein und leuchtet heute immer noch für ca. 1,6 Milliarden Menschen auf unserem Planeten. Thomas Alva Edison's (1847-1931) Glühlampe startete das Zeitalter der elektrisch betriebenen Lichtquellen. Diese wurden stetig weiterentwickelt und heute leuchten Lampen mit Lichtbogen, Gasentladung und Elektrolumineszenz mit höherer Effizienz und längerer Lebensdauer. Im aktuellen Fokus der Lichtquellen-technologie liegen Leuchtdioden.

Als Hersteller von Lichtmessgeräten folgt Gigahertz-Optik dem Technologiewandel der Lichtquellen durch stetige Weiterentwicklung und Anpassung ihrer Produkte und deren Kalibrierung.

Diese Broschüre gibt einen repräsentativen Überblick zu den verschiedenen Leuchtmitteln und ihren Applikationen mit der dazugehörigen Lichtmesstechnik

## Leuchtmittel

Leuchtmittel, oft als Lampe bezeichnet, erzeugen Licht aus Elektrizität.

Licht bezeichnet elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 380nm bis 780nm, die vom menschlichen Auge wahrgenommen wird. Den gesamten Spektralbereich von Ultraviolett bis Infrarot einschließlich des sichtbaren Licht bezeichnet man als optische Strahlung.

### Gasentladungslampen

- Fluoreszenz Lampen
- Kompakt Fluoreszenz Lampen (CFL)
- Monitor Hintergrund Beleuchtung
- Neon- und Argonlampen
- Xenon Blitzlampen
- Halogenmetaldampflampen
- Quecksilberdampflampen
- Xenon Kurzbogenlampen

- Spektrale Verteilung
- Spitzenwellenlänge
- Dominante Wellenlänge
- Spektrale Bandbreite
- Lichtstärke Verteilung für Lampen mit Optik sowie LEDs

### Für Lichtblitze

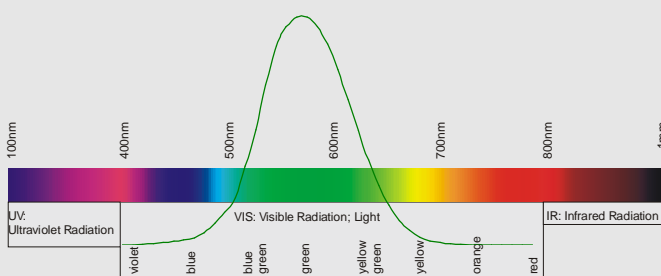
- Pulsverlaufsform
- Spitzenintensität
- Pulsenergie
- Wiederholfrequenz
- Effektive Lichtstärke nach Blondel-Ray, Schmitt-Clausen usw.



Lichtstrommessung in einer Ulbrichtkugel mit einem Meter Durchmesser

des Strahlenschutzes zu bewerten.

Die aufgeführten Leuchtmittel finden sich in unterschiedlichsten Lampen für vielfältige Anwendungen in Industrie, Medizin, Prozesstechnik, Beleuchtung, Verkehr usw. wieder, von denen wir einige zusammen mit den relevanten Messgrößen auf den nachstehenden Seiten vorstellen.



Spektrale Empfindlichkeit  $V(\lambda)$  des menschlichen Auges

Elektrisch betriebene Leuchtmittel sind:

### Glühstrahler

- Konventionelle Glühbirnen
- Nernst Strahler

### Elektrolumineszenz

- Leuchtdioden (LED)
- Organische Leuchtdioden
- Polymer Leuchtdioden
- Halbleiter Leuchtdioden

### Andere

- Laser
- Kathodenstrahl Röhren (CRT)

Die wesentlichen lichttechnischen Messgrößen sind:

- Lichtausbeute
- Lichtstrom
- Lichtstärke
- Leuchtdichte
- Bogenleuchtdichte
- Lichtfarbe

Neben diesen lichttechnischen Messgrößen (Photometrie) sind die strahlungsphysikalischen Messgrößen (Radiometrie) für die Bewertung von Leuchtmittel von Interesse um deren Strahlungsintensität im ultravioletten und infraroten Spektralbereich unter dem Aspekt der Ausbeute oder



P-9710 Optometer mit Zubehör für unterschiedliche Messgrößen

### Gebündeltes Licht

Scheinwerfer bündeln das Licht des Leuchtmittels mittels Reflektoren und Optiken. Typische Einsatzgebiete sind:

- Frontscheinwerfer (KFZ, Lastwagen, Flugzeuge, Züge und Fahrräder)
- Scheinwerfer für Theater und Film
- Suchscheinwerfer und Leuchtfener der Rettungsdienste, Flughafentower und Leuchttürme

Glüh- und Halogenlampen

sind wegen ihrer geringen Herstellungskosten und weiten Verbreitung auch heute noch das gängigste Leuchtmittel. Entladungslampen werden vorrangig wegen der höheren Lichtausbeute und Farbtemperatur (Tageslicht) eingesetzt. Der Einsatz von Leuchtdioden ist in der Entwicklungsphase.

Typische Messgrößen sind:

- Lichtstärke (cd)
- Lichtstärkeverteilung

- Beleuchtungsstärke (lx)
- Lichtstrom (lm)
- Effektiver Lichtstrom (lm)

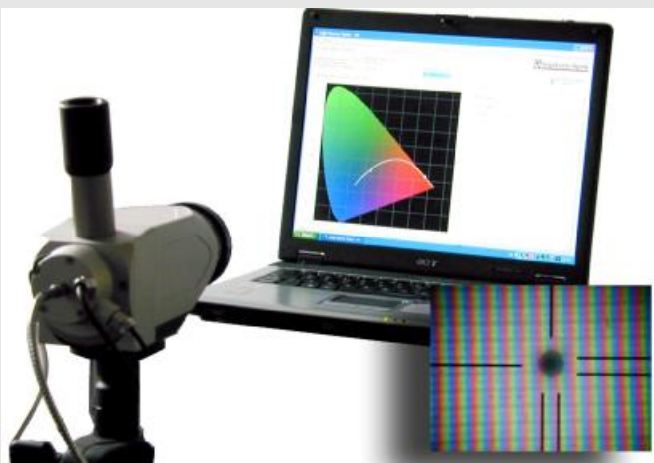
Nachtsichtgeräte in Automobilen nutzen teilweise den Infrarotanteil des Scheinwerfers zur Objektbeleuchtung oder verwenden NIR Leuchtdioden.

Messungen im nicht sichtbaren Spektralbereich erfolgen in physikalischen Größen wie z.B. die Bestrahlungsstärke in  $W/m^2$ .



*Kompaktes Goniophotometer zur Messung der Lichtstärke Verteilung von LEDs oder der Leuchtdichte Verteilung von Displays.*

### Informatives Licht



*Leuchtdichte und Farbmessung an Displays mit dem X4 Lichtmessgerät der Gigahertz-Optik.*

Selbstleuchtende Bedienelement und Anzeigen sind eine der großen Anwendungsbereiche in Lichtapplikationen.

Typische Einsatzgebiete sind:

- Bildschirme für Fernseher, Anzeigen an Bahnhöfen und Flughäfen, Desktopcomputer, Medizinische Diagnostik
- Displays für Mobiltelefon, Laptops, GPS Anzeigen
- Blickfeldanzeigen (Head-up Displays) für Flugzeuge und Automobile and automobiles

- Hintergrund beleuchtete Symbole und Ziffern in Tastern

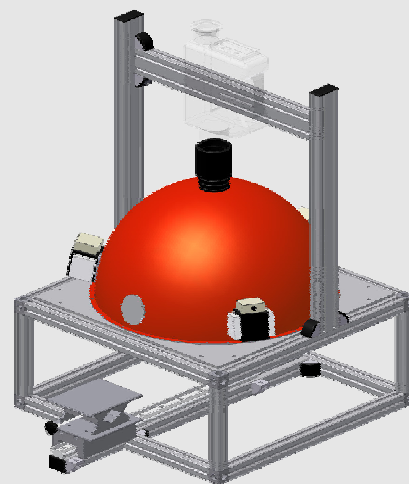
Der Technologiewandel bei Monitoren von der Kathodenstrahlröhre mit scannendem Elektronenstrahl hin zu LCD und Plasma Displays ist fast abgeschlossen. Sehr großflächige Displays werden mit dreifarbigen Leuchtdioden Anordnungen betrieben. Für kompakte Anzeigen mit geringerer Auflösung sind neue Techniken wie z.B. organische Leuchtdioden verfügbar. Blickfeldanzeigen wurden ursprünglich für den militäri-

schen Einsatz entwickelt, haben ihre Anwendung zwischenzeitlich auch als Tachoanzeige in Automobilen, Lichtquelle sind hier LEDs mit hoher Lichtstärke. Bedienelemente mit selbstleuchtenden Symbolen werden schon sehr lange in Automobilen und Flugzeugen eingesetzt. Das ursprüngliche Leuchtmittel Glühlampe wurde zwischenzeitlich durch Leuchtdioden ersetzt. Die kompakte Bauform und der geringe Energieverbrauch der Leuchtdioden erlaubt den Einsatz dieser Anzeigetechnik zwischenzeitlich

auch in batteriebetriebenen Geräten wie Handys.

Typische Lichtmessgrößen sind:

- Leuchtdichte ( $cd/m^2$ )
- Leuchtdichte Kontrast mit D65 Umgebungslicht.
- Leuchtdichte Flächenverteilung hintergrundbeleuchteter Symbole
- Frequenz synchronisierte Leuchtdichte bei Kathodenstrahlmonitoren
- Leuchtdichte Blickfeldverteilung
- Lichtfarbe
- Dominante Wellenlänge



*Messaufbau zur Bestimmung des Leuchtdichtekontrast kompakter Displays mit D65 Lichtart Halbraumbeleuchtung. Aufbau mit 50cm Ulbrichtkugel der UM Serie von Gigahertz-Optik, D65 Lichtquellen und X4/LDM-9812 Leuchtdichte & Lichtfarbe Messgerät.*

### Signal Leuchten



Das Optometer P-9710-2 mit Beleuchtungsstärke Messkopf VL-3701-2 ermöglicht die Messung der Blitzenergie (Ix) und Effektiven Lichtstärke nach Schmidt Claussen.

Signallichter werden zur Anzeige der Position, Größe, Richtung, Richtungswechsel und Gefährdung eingesetzt.

Typische Beispiele sind:

- Blinklichter am Auto
- Blitzlampen im Baustellenbereich, Bremslichter
- Flugzeug Antikollisionsleuchten
- Eisenbahnsignale
- Verkehrsampeln
- Baustellen Warnleuchten
- Fluchtweganzeigen (aktive und passive)
- Start- und Landebahn Leuchten
- Leuchtfeuer (CW und Pulse)

Signale werden meistens Anhand vorliegender gesetzlicher Regulierungen hinsichtlich ihrer Bauform, Lichteigenschaften (Intensität, Farbe) qualifiziert. Auch in diesem Anwendungsbereich wird die Ha-

logenlampe durch Leuchtdioden verdrängt. Die hohe Lebenserwartung der Halbleiterlichtquelle reduziert den Wartungsaufwand.

Eine eigene Gruppe sind Signalanzeige für Notausgänge und Fluchtwege. Diese werden in aktiver (batteriebetriebene Lampen) und passiver (Phosphoreszenz) Ausführung angeboten.

Typische Lichtmessungen an Signalleuchten sind:

- Lichtstärke (cd)
- Effektive Lichtstärke bei gepulsten Signalleuchten (Schmidt Claussen oder Blondel-Rey Methode)
- Leuchtdichte bei Ampeln mit Symbolen



Lichtstärke und Lichtfarbe von Eisenbahnsignalen müssen mit Messgeräten einer vorgegebenen Güteklasse gemessen werden. (EN12368). Der X4 Light Analyzer von Gigahertz-Optik ist auch für LED Leuchten geeignet.

- Lichtfarbe
- Beleuchtungsstärke
- Anregungsdosis und zeitlicher Leuchtdichteabfall bei Phosphoreszenz

### Allgemein Beleuchtung

Beleuchtungskörper in der Umgangssprache auch Lampen genannt dienen zur künstlichen Beleuchtung von Arbeit- und Lebensbereichen mit elektrischem Licht. Zusätzlich gibt es eine große Vielfalt speziell entwickelter Beleuchtungskörper für Anwendungen im Automobil-, Luftfahrt-, Schiffahrt-, Medizinbereich, Gewächshäusern und viele mehr.

Typische Beispiele sind:

- Gebäude Innenbeleuchtung
- Straßenbeleuchtung
- Innenbeleuchtung von Kraftfahrzeugen, Zügen und Flugzeugen
- Landschaftsbeleuchtung
- Gewächshäuser
- Werbung und Akzente

Leuchtmittel für Beleuchtungskörper sind gekennzeichnet durch eine möglichst hohe Lichtausbeute. Im Zeitalter der steigenden Energiekosten und eingeschränkten Verfügbarkeit

an fossiler Energie gewinnt die Frage des Wirkungsgrades in der Allgemeinbeleuchtung zunehmende Bedeutung. Als Ergebnis werden um Beispiel in den USA zukünftig Glühlampen als Leuchtmittel gesetzlich verboten und durch kompakte Leuchtstoffröhren ersetzt.

In einigen Anwendungen wird versucht die Beleuch-

tung dem Tageslicht anzupassen.

Typische Lichtmessungen in der Allgemeinbeleuchtung sind:

- Beleuchtungsstärke
- Beleuchtungsstärke Verteilung
- Photosynthetisch wirksame Bestrahlung (PAR)
- UVA & UVB Bestrahlungsstärke



Dreizellen Lichtmessgerät für PAR, UV-A und UV-B Bestrahlungsstärke in der Pflanzenforschung

Photometrische Größe	Symbol / Einheit	Lichtquelle	Typische Werte
<b>Beleuchtungsstärke</b> (Für Lichteinfall)	$E_v / I_x$ (Lux) 1 lx=1 lm/m <sup>2</sup>	Sonnenlicht zur Mittagszeit	max. 10000 lx
		Arbeitsplatz	500 lx
		Klare Vollmondnacht	0,2 lx
<b>Lichtstärke</b>	$I_v / \text{cd}$ (candela) 1 cd=1 lm/sr	100 W Glühlampe	110 cd
		100 W Autoscheinwerfer	Bis zu 10 <sup>6</sup> cd im Lichtstrahl
		LED für Anzeigezwecke (10 mA)	1-300 mcd
		Weißer LED (20mA, 20° Abstrahlwinkel)	5,6 cd
<b>Leuchtdichte</b>	$L_v / \text{cd/m}^2$	Oberfläche der Sonne	1,5 x 10 <sup>9</sup> cd/m <sup>2</sup>
		Glühlampenwendel	5 to 35 x 10 <sup>6</sup> cd/m <sup>2</sup>
		Modere Leuchtstoffröhre	0,3 to 1,5 x 10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>
		Nachthimmel	ungefähr 10 <sup>-11</sup> cd/m <sup>2</sup>
<b>Lichtstrom</b>	$\Phi_v$ in lm (lumen)	40W Leuchtstoffröhre	750 to 3200 lm
		100W Glühlampe	1600 lm
		Weißer LED bei 20 mA	1,2 lm

Der Einsatz von Licht in der Medizin lässt sich in wesentliche Applikationsgruppen gliedern.

Die erste Gruppe sind Beleuchtungskörper der Lichttherapie. Eine weitere Gruppe nutzt Licht zur Probenanalyse mittels Spektrophotometer.

Eine andere Gruppierungsmöglichkeit ist der angewendete Spektralbereich.

- **Ultraviolett Spektrum:** Blutanalyse, klinische Chemie, Sonnenschutzmittel, Photochemotherapie, Phototherapie, UV-Blutentkeimung, Vitamin D Photosynthese, Photobiologie, Photochemie
- **Sichtbares Spektrum:** Blut Analyse (Sauerstoff, Glukose, Hämoglobin,

usw.), klinische Chemie, Dental Strahlenhärtung, Dentalweiß, Endoskopie, Photodynamische Diagnose (PDD), Photodynamische Therapie (PDT), Jahreszeit bedingte Funktionsstörung (SAD), Tagesrhythmus Studien, Instrumentenbeleuchtung

- **Infrarot Spektrum:** Blut Analyse, klinische Chemie, PDT, Transpiration Therapie, Tumor Behandlung Therapie, Wundheilung
- Leuchtmittel für medizinische Anwendungen sind meisten durch ein Anwendung optimiertes Emissionsspektrum gekennzeichnet. Dies mag im UV-A oder UV-B Spektrum für Phototherapie der Haut

oder blaues Licht für Dental Strahlenhärtung, rotes Licht für die photodynamische Therapie, rotes Licht bei 660nm und Strahlung im nahem Infrarotbereich bei 870nm-910nm zur Prüfung der Sauerstoffanreicherung des Blut oder weißes Licht in Endoskopen sein.

Typische Lichtmesstechnik in der Medizin beinhaltet:

- Bestrahlungsstärke Dosis in Anwendung spezifischen Spektralbereichen
- Strahlungsleistung von Faserlichtquellen in PDT Anwendungen
- Strahlungsleistung oder Bestrahlungsstärke von Hochleistungsstrahlern für die Strahlenhärtung
- Strahlstärke von gerichteten Lichtquellen



Messgerät für Strahlungsleistung für radial und axial emittierende Faserlichtquellen der PDT. Ulbrichtsche zur räumlichen Strahlungsintegration..

- Beleuchtungsstärke von Weißlichtquellen
- Spektrale Intensitätsverteilung
- Spitzenwellenlänge

### Licht in der Prozesstechnik

Optische Strahlung wird in vielen technologischen Prozessen eingesetzt. Eine Anwendung ist die unmittelbare Anregung der Polymerisation durch die mittels Licht zugeführten Energie. Luft und Wasser werden durch Intensive UV Strahlung entkeimt, in dem Bazillen und Bakterien, Schimmel und Pilze abgetötet werden. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Photolithographie. Oberflächen Mikrorisse in Turbinenschaufeln, Fahrwerken usw. werden unter UV Bestrahlung sichtbar, wenn

sie mit fluoreszierender Flüssigkeit behandelt werden. Lasers werden in Fertigungsprozesse und in der Messtechnik eingesetzt.

- Typische Beispiele sind:
- UV Strahlenhärtung von Klebern und Farben
  - Luft Wasser Entkeimung
  - Photolithographie
  - Leck Erkennung
  - Eprom Löscher
  - Kriminologie
  - NDT Rissprüfung
  - Qualität Sicherung
  - Fertigung- und Messlaser Lichtquellen in der Prozess-

technik emittieren typischerweise Strahlung hoher Intensität mit einem monochromatischen oder quasi monochromatischen Spektrum. Aufwendige Optiken bündeln die Strahlung zur Intensitätssteigerung oder Homogenisierung.

Typische Licht- und Strahlungsmessungen in der Prozesstechnik sind:

- UV-C, UV-B, UV-A und Blau Bestrahlungsstärke
- UV-A Bestrahlungsstärke und Weißlicht Beleuchtungsstärke Kontrast
- Laser Leistung



Strahlungsleistung und Spektrum Messung eines UV-A Hochleistungsstrahlers für die Strahlenhärtung Dentaler Füllungen

- Laser Energie
- UV und Blue Light Gefährdung
- Laser Streustrahlung

### Strahlenschutz

Neben den vielen wirkungsvoll nutzbaren Eigenschaften optische Strahlung müssen auch die von der Strahlung ausgehenden Risiken beachtet werden. Speziell der ultraviolette Anteil der Sonnenstrahlung beinhaltet ein hohes Gefährdungsrisiko, wenn sich der Mensch dieser Strahlung zulange aussetzt. Das größte Risiko ist die Entste-

hung von bösartigen Melanomen ein gefährlicher Krebstyp. Aber auch künstliche Licht- und Strahlungsquellen können einen hohen Anteil ultravioletter und blauer Strahlung beinhalten und damit ein Risiko für Haut und Auge bilden. Richtlinien und Informationen darüber wie das Risiko natürlicher und künstlicher

optischer Strahlung minimiert werden kann werden von Behörden für Strahlenschutz angeboten. Typische Bewertungsgrößen des Strahlenschutz sind:

- UV Bestrahlungsstärke
- Laserleistung
- Laserstreustrahlung
- Erythema und ACGIH Bestrahlungsstärke



Zweikanal UV Erythema Bestrahlungsstärke Messgerät X1\_1 mit XD-9509

Für Lichtmessungen in photometrischen und radiometrischen Größen werden weltweit weitgehend einheitliche Einheiten gemäß dem International System of Units (SI) verwendet.

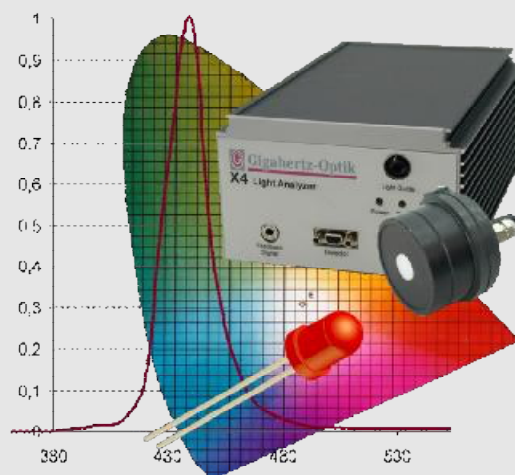
**Photometrie** basiert auf der spektralen Empfindlichkeitsfunktion  $V(\lambda)$  des menschlichen Auges. Die  $V(\lambda)$  Funktion ist in DIN und CIE (International Commission on Illumination) definiert. Photometrie ist begrenzt auf Spektralbereich des elektromagnetischen Spektrums, der für das menschliche Auge wahrnehmbar (sichtbar) ist (Licht). Mehrere wesentliche Messgrößen kommen zur Anwendung bei der Bewertung von Lichtquellen. In der angewandten Lichtmessung ist es die erste Aufgabe, die charak-

teristischen Merkmale einer Lichtquelle oder Beleuchtungsgeometrie und der daraus resultierenden Messgröße zu bestimmen. Nur so sind sinnvolle Messresultate sicherzustellen.

**Radiometrie** ist unabhängig von einer spektralen Wirkungsfunktion und überdeckt den Spektralbereich von 100 nm bis 1 mm.

**Licht- und Strahlungsmessgeräte werden mit zwei unterschiedlichen Technologien angeboten.**

**Integrale Messgeräte** werden mit einer Photodiode und einem spektralen Korrekturfilter als Sensorelement aufgebaut. Der Filter simuliert beispielsweise bestmöglich  $V(\lambda)$ , UV-A, PAR oder Erythema Funktion. Gigahertz-Optik bietet



ein umfangreiches Programm an integralen Photo- und Radiometern.

**Spektralmessgeräte** nehmen die spektrale Intensitätsverteilung der Strahlung auf und berechnen daraus integrale photometrische und radiometrische Werte.

**Messgeräte mit Bi-Tec Sensor (BTS)** basieren auf einer Kombination aus integralen und spektralen Strahlungssensoren. Die Kombination von zwei Sensor Technologien ermöglicht die Nutzung und gegenseitige Unterstützung ihrer unterschiedlichen Eigenschaften. Das Ergebnis sind preiswerte Messgeräte für hochwertige Lichtmessaufgaben in absoluten Messgrößen. Neben dem X4 Light Analyzer sind bei Gigahertz-Optik weitere BTS Lichtmessgeräte im Aufbau.

Weitere Informationen zu den von Gigahertz-Optik angebotenen Lichtmessgeräten und dem Gesamtprogramm finden Sie auf unserer Homepage.

**Quellen und Referenzen:**

- Grum, F., R.J. Becherer. (1979). Radiation Sources. In *Optical Radiation Measurements – Volume 1*. Edited by Franc Grum, pp. 118-150. Academic Press, Inc., New York, New York.
- Stimson, A.. (1974). Sources of Light and Radiation. In *Photometry and Radiometry for Engineers*. Pp. 98-112. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Tutorials, [www.gigahertz-optik.com](http://www.gigahertz-optik.com)

Photometrische Messgrößen				
Größe	Symbol	SI Einheit	Abkürzung	Bemerkungen
Lichtenergie	$Q_v$	Lumen Sekunde	lm·s	
Lichtstrom	$F$	Lumen (=cd·sr)	lm	Auch Lichtleistung
Lichtstärke	$I_v$	Candela (=lm/sr)	cd	
Leuchtdichte	$L_v$	Candela pro Quadratmeter	cd/m <sup>2</sup>	Auch noch als Nits im Gebrauch
Beleuchtungsstärke	$E_v$	Lux (=lm/m <sup>2</sup> )	lx	
Spezifische Lichtausstrahlung	$M_v$	Lux (=lm/m <sup>2</sup> )	lx	Lichtemission einer Fläche
Lichtausbeute		Lumen pro Watt	lm/W	Verhältnis Lichtstrom zur elektrischen Leistung
Radiometrische Messgrößen				
Strahlungsenergie	$Q$	Joule	J	
Strahlungsfluss	$\Phi$	Watt	W	Auch Strahlungsleistung
Strahlstärke	$I$	Watt pro Steradian	W·sr <sup>-1</sup>	Watt pro Raumwinkel
Strahldichte	$L$	Watt pro Steradian pro Quadratmeter	W·sr <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup>	
Bestrahlungsstärke	$E$	Watt pro Quadratmeter	W·m <sup>-2</sup>	
Spezifische Ausstrahlung	$M$	Watt pro Quadratmeter	W·m <sup>-2</sup>	Strahlungsemission einer Fläche

[www.gigahertz-optik.com](http://www.gigahertz-optik.com)

**Zentrale und Produktionsstandort**

Gigahertz-Optik GmbH  
D-82170 Puchheim Germany  
Postfach 1445

Tel: +49 (0) 89 / 890159-0  
Fax: +49 (0) 89 / 890159-50  
[contact@gigahertz-optik.de](mailto:contact@gigahertz-optik.de)

**Tochtergesellschaft  
Vertrieb USA, Kanada & Südamerika**

Gigahertz-Optik Inc.  
5 Perry Way  
Newburyport  
MA 01950 - 4009 USA

Tel: +978.462.1818  
Fax: +978.462.3677  
[b.angelo@gigahertz-optik.com](mailto:b.angelo@gigahertz-optik.com)