



Deutsche Akademie für Photobiologie  
und Phototechnologie e.V. (DAfP)  
gemeinsam mit der  
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB)



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin



## 24. DAfP-Symposium

### **UV und IR – Erzeugung, Messung und Anwendung**

### **Vortragsmappe**

Braunschweig  
06. und 07.06.2019

# PROGRAMM DONNERSTAG

---

**13:00 Uhr** Tagungsbeginn

## Begrüßung

### I. Block

#### Erzeugung von UV und IR

Themenleitung:

[Dr. Kling / LTI, KIT Karlsruhe](#)

13:15-13:30

Überblick UV und IR:

Leistungsklassen, Normen, Grenzwerte

[Dr. Rainer Kling](#)

[LTI, KIT Karlsruhe](#)

13:30-14:00

UV Strahlungsquellen

(UV Strahler und UV LED)

[Dr. Jan Winderlich](#)

[Heraeus Noblelight GmbH](#)

14:00-14:30

Halogen-Infrarot-Emitter in technischen

Anwendungen

[Andreas Becker](#)

[Radium Lampenwerk GmbH](#)

14:30-15:00

Leuchtstoffe zur Erzeugung von UV und

NIR Strahlung

[Dr. Thomas Kaib](#)

[Leuchtstoffwerk Breitungen GmbH](#)

**15:15-15:45** Kaffeepause

### II. Block

#### Strahlungsmessung im UV und IR

Themenleitung:

[Prof. Dr. Heering / LTI, KIT Karlsruhe](#)

15:45-16:15

Kalibrierung der spektralen Gesamtstrahlungsleistung von UV- & IR-LEDs

[Thorsten Gerloff](#)

[PTB Braunschweig](#)

16:15-16:45

Spektrale Strahldichte, Strahlungsthermometrie und Emissionsgrad

[Dr. Richard Dieter Taubert](#)

[PTB Berlin](#)

16:45-17:15

Anwendung und Grenzen moderner radiometrischer Verfahren

[Dr. Mark Paravia](#)

[Opsytec Dr. Gröbel GmbH](#)

### Abendveranstaltung

17:30 Uhr Treffpunkt am IntercityHotel,

Lobby

**15:00-15:15** Posterpräsentation

# PROGRAMM FREITAG

---

8:30 – 11:30 Uhr Exkursion zur PTB

**11:45 Uhr Tagungsbeginn**

## III. Block

### Biologische Anwendungen

Themenleitung:

Prof. Dr. Dr. h.c. Häder / Uni Erlangen

11:45-12:15

Wirkung von IR Strahlung auf den Menschen

Dr. Helmut Piazena  
Charité

12:15-12:45

UV Wirkung beim Menschen

Prof. Dr. Hans Meffert

12:45-13:15

Wirkung von UV Strahlung auf Pflanzen

Prof. Dr. Raimund Goss  
Uni Leipzig

**13:15-14:00 Mittagessen**

## IV. Block

### Technische Anwendungen

Themenleitung:

Prof. Dr. Thomas Jüstel / FH Münster

14:00-14:30

Technische Anwendungen von UV-Strahlung mit  $\lambda < 300\text{nm}$

Dr. Manfred Salvermoser  
Xylem Services GmbH

14:30-15:00

UV-LED based spectral continuum generation for spectroscopic applications

Torsten Jenek  
Heraeus Noblelight GmbH

**15:00-15:15 Kaffeepause**

15:15-15:45

NIR LED basierte Spektroskopie für die Lebensmitteltechnologie

Dr. Daiyu Hayashi  
Osram

15:45-16:15

NIR-Leuchtstoffe als Alternative zur Glühlampe

Dr. Florian Baur  
FH Münster

**16:15 Abschlussworte**

**16:30 Uhr Tagungsende**

Inhalt  
Vorträge

Dr. Kling / KIT LTI <b>Überblick UV und IR: Leistungsklassen, Normen, Grenzwerte</b>	3
Dipl.-Phys. Dr. Jan Winderlich / Heraeus Noblelight GmbH <b>UV Strahlungsquellen (UV Strahler und UV LED)</b>	4
M.Eng. Andreas Becker / Radium Lampenwerk GmbH, Wipperfürth <b>Halogen-Infrarot-Emitter in technischen Anwendungen</b>	5
Dipl.-Chem. Dr. Thomas Kaib / LEUCHTSTOFFWERK BREITUNGEN GMBH <b>Leuchtstoffe zur Erzeugung von UV und NIR Strahlung.</b>	6
Thorsten Gerloff / PTB Braunschweig <b>Kalibrierung der spektralen Gesamtstrahlungsleistung von UV- und IR-LEDs</b>	7
Dr. Richard Dieter Taubert / PTB Berlin <b>Spektrale Strahldichte, Strahlungsthermometrie und Emissionsgrad</b>	8
Dr. Mark Paravia / Opsytec Dr. Gröbel GmbH <b>Anwendung und Grenzen moderner radiometrischer Verfahren</b>	9
Dr. Helmut Piazena / Charité <b>Wirkung von IR Strahlung auf den Menschen</b>	10
Prof. Dr. Raimund Goss / Uni Leipzig <b>Wirkung von UV Strahlung auf Pflanzen</b>	11
Prof. Dr. Hans Meffert <b>UC Wirkung beim Menschen</b>	12
Dr. Manfred Salvermoser / Xylem Services GmbH <b>Technische Anwendungen von UV-Strahlung mit <math>\lambda &lt; 300\text{nm}</math></b>	13
Torsten Jenek / Heraeus Noblelight GmbH <b>UV-LED based spectral continuum generation for spectroscopic applications</b>	14
Dr. Daiyu Hayashi / Osram <b>NIR LED basierte Spektroskopie für Lebensmitteltechnologie</b>	15
Dr. Florian Baur / FH Münster <b>NIR-Leuchtstoffe als Alternative zur Glühlampe</b>	16

Postervorträge

- Vom Labor zum Reaktor – Einsatz von UVC-LEDs zur Trinkwasserdesinfektion** 17  
K.-H. Schön, T. Schwarzenberger, J. Eggers
- Untersuchungen der spektralen Transmission optischer Elemente im MIR / NIR -Spektralbereich unter Verwendung eines Quantenkaskadenlasers** 18  
M. Esslinger, E. Velke, A. Schirmacher
- Kombinierter UV-A und -B Strahler für Medizin, Photochemie und Kosmetik** 19  
M. Laube, B. Herden, E. Seelbach, N. Braun, Th. Berger, Th. Jüstel
- Verwendung von Einkristallen als optische Referenzmaterialien für den UV- und NIR-Bereich** 20  
P. Pues, S. Schwung, D. Rytz, Th. Jüstel
- Multispektrale Xe-Excimerstrahler für die Wasserbehandlung** 21  
J.-N. Keil, Th. Jüstel

# „Überblick UV und IR:

## Normen, Grenzwerte, Leistungsklassen“

Rainer Kling, *Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut LTI,  
Lichttechnologien, Elektronik und Plasmatechnik  
Engesserstr.13, 76131 Karlsruhe; rainer.kling@kit.edu*

### ABSTRACT

Der Vortrag wird einen Überblick über den elektromagnetischen Strahlungsbereich von  $\lambda = 100$  nm bis  $\lambda = 1$  mm geben. Dies ist per Definition nach Richtlinie 2006/25/EG optische Strahlung mit der ultravioletten Strahlung (UV) von der Wellenlänge  $\lambda = 100$  Nanometer (nm) bis  $\lambda = 380$  nm und infraroter Strahlung (IR) von  $\lambda = 780$  nm bis  $\lambda = 1$  mm, die sichtbare Strahlung das Licht (VIS:  $\lambda = 380$  nm -  $\lambda = 780$  nm) soll hier ausgespart werden. Dabei wird das Spektrum der UV-Strahlung unterteilt in UV-C-Strahlung ( $\lambda = 100$  nm -  $\lambda = 280$  nm), UVB-Strahlung ( $\lambda = 280$  nm -  $\lambda = 315$  nm) sowie UV-A-Strahlung ( $\lambda = 315$  nm -  $\lambda = 400$  nm) und das Spektrum der IR-Strahlung wird unterteilt in IR-A-Strahlung ( $\lambda = 780$  nm -  $\lambda = 1400$  nm), IR-B Strahlung ( $\lambda = 1400$  nm -  $\lambda = 3000$  nm) und IR-C-Strahlung ( $\lambda = 3000$  nm -  $\lambda = 1$  mm). Was gibt es in diesen Spektralbereichen für Normen und Grenzwerte die den Menschen gefährlich werden könnten sowie Grenzwerte und Leistungsklassen von Geräten?

Je geringer die Wellenlänge desto höher die Strahlungsenergie des Photons z.B. von  $W = 12$  eV bei  $\lambda = 100$  nm im UV zu  $W = 1$  meV bei  $\lambda = 1$  mm im IR (Mikrowellenstrahlung). Es ist dabei künstliche optische Strahlung jede optische Strahlung, die von künstlichen Strahlungsquellen ausgeht, im Gegensatz zur natürlichen Strahlern wie die Sonne, die ein Thermischer Strahler bei 5800 K ist und auf der Erdoberfläche UVB-, UVA-, VIS- und IR- Strahlung einstrahlt. Thermische Strahlung ist inkohärent, die Photonen haben nicht die gleiche Phase und sind spektral breit verteilt. Dagegen ist Laserstrahlung eine durch einen Laser erzeugte kohärente optische Strahlung diese Photonen sind in Phase und spektral schmal verteilt. Zusätzlich kann Strahlung immer kontinuierlich im Dauerstrich emittiert werden oder gepulst d.h. moduliert werden. Es gilt also die Photonenenergie der Strahlung, die Art der Strahlung, ob kohärent oder inkohärent, sowie die Bestrahlungsdosis zu berücksichtigen. Das ist die mittlere Bestrahlungsstärke pro Fläche multipliziert mit der Expositionszeit und dies ergibt die mittlere Bestrahlungsdosis pro Fläche.

Es gilt generell der Schutz des Menschen vor einer zu hohen Strahlungsdosis zu gewährleisten. Das kann direkt die Haut und die Augen stark gefährden bis zur Beeinflussung des Schlaf-Wach-Rhythmus. Auch künstliche Strahlungsquellen von der Nagellackhärtung bis zur Augen Operation mit einem Laser also kosmetische und medizinische Strahlungsquellen können den Menschen auch gefährden. Der Schutz des Menschen muss ebenso gewährleistet sein beim Sonnenbad in Freien mit Sonnenschutzmitteln bis zum Besuch eines Solariums, von der Exposition bei der Arbeit was eine Arbeitsplatzbewertung einschließen kann z.B. Schweißen nur mit Schutzausrüstung und kohärente und inkohärente Strahlungsquellen unterscheidet für kohärente Laserquellen bis technisch inkohärente Strahlungsquellen wie Leuchten. Am Menschen wird sowohl im nichtmedizinischen (kosmetische und sonstige Anwendungen am Menschen außerhalb der Heil- und Zahnheilkunde) als auch im medizinischen Bereich (Heil- und Zahnheilkunde) nichtionisierende optische Strahlung für eine Vielzahl von Indikationen verwendet dies regelt die Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018, NSiG: "Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen" sowie generell die Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung vom 20. Juli 2011 (BGBl.I 2011, Nr. 37, S. 1412). In diesen Schriften finden sich je nach Strahlungsart und Anwendung die Einteilung in Leistungsklassen und spezifische Grenzwerte.

## **UV Strahlungsquellen**

Der Vortrag gibt einen Überblick über industrielle UV-Strahlungsquellen.

Neben einem kurzen geschichtlichen Abriss der UV-Strahler wird die Physik der Strahlungserzeugung anschaulich vorgestellt. Dabei werden die Unterschiede der verschiedenen Strahlerarten herausgearbeitet.

Vorge stellt werden zunächst die klassischen Entladungslampen: Quecksilber-Niederdruck-Strahler und Quecksilber-Mitteldruck-Strahler. Durch technologische Fortschritte in der Halbleiterproduktion erobern diesen Markt zunehmend auch UV-LEDs. Abgerundet wird die Übersicht über die UV-Strahler mit einem Einblick in die Excimer-Technologien.

Gezeigt werden auch zahlreiche Anwendungen der verschiedenen Strahlerarten, unter anderem zur UV-Entkeimung, UV-Härtung, Oberflächenaktivierung und Abluftbehandlung, sowie der Medizin.

Dr. Jan Winderlich

Heraeus Noblelight GmbH

Herausstr. 12 - 14

63450 Hanau

<http://www.heraeus-noblelight.de>

# Symposium Halogen-Infrarot-Emitter in technischen Anwendungen

M.Eng. Andreas Becker

Radium Lampenwerk GmbH, Wipperfürth

Thermische Verfahren, welche mittels Infrarot- Technologie realisiert werden, sind auf eine Vielzahl von Materialien abstimmbare und extrem effizient. Die Infrarottechnologie nutzt hierbei die direkte Wechselwirkung zwischen Materie und Strahlung.

So besitzen alle Feststoffe (beispielsweise Polymere und Metalle) ein Absorptionsmaximum im IR-Bereich, bei dem die Strahlung direkt in Wärme umgewandelt wird. Das Maximum befindet sich innerhalb eines Wellenlängenbereiches nahe dem sichtbaren Licht, beginnend bei ca. 800nm (A-IR). Durch das Arbeiten in diesem Wellenlängenbereich ist es möglich, Materialien in Sekundenschnelle aufzuheizen. Hierfür geeignete A-IR oder auch kurzweilig genannten Infrarotemitter werden beispielsweise beim 3D-Druck, PET-Forming oder Coating verwendet, da lediglich die Oberfläche in kurzer Zeit erhitzt werden soll.

Durch eine leichte Verschiebung der Wellenlänge kann beeinflusst werden, ob die Oberfläche oder ein gesamter Körper in der Prozesszeit erwärmt wird. Bewegt man sich vom Absorptionsmaximum weg, so erhöht sich die Eindringtiefe. Andere Technologien sind nicht in der Lage so materialspezifisch zu agieren und benötigen zudem mehr Zeit um die Materialien im angeforderten Bereich auf die gewünschte Temperatur zu bringen.

Durch diese Verschiebung der Wellenlänge in einen längeren Bereich ergibt sich eine weitere Kategorie von technisch relevanten Emittlern.

So sind neben den kurzweiligen Strahlern industriell auch schnelle mittelwellige Strahler (B-IR mit  $1,4\mu\text{m}$  bis  $3\mu\text{m}$ ) von Bedeutung. Strahlung in diesem Wellenlängenbereich interagiert besonders gut mit flüssigen Medien. Hauptsächlich für Trocknungsprozesse wie z. B bei Tinte oder auch für das gleichmäßige Durchwärmen von Werkstoffen, sind B-IR Emittler sehr von Vorteil.

Durch Halogenzusätze lässt sich neben einer hohen Effizienz auch eine lange Lebensdauer erzielen. Diese besondere Kombination aus Effizienz und Lebensdauer machen einen Einsatz von Infrarotemittern nicht nur kostengünstig sondern auch ressourcenschonend.



## „Leuchtstoffe zur Erzeugung von UV und NIR Strahlung: Maßgeschneiderte Lösungen aus dem Hause LWB.“

Sowohl UV-Strahlung als auch NIR-Strahlung haben ein breites Anwendungsspektrum. Für den UV Bereich liegen diese z.B. in der Kunststoffhärtung, der Desinfektion von Wasser oder medizinischen / kosmetischen Anwendungen. NIR Strahlung kommt auf Gebieten wie der spektroskopischen Analytik aber auch für medizinische Anwendungen wie bildgebende Diagnostik oder der Anregung der Kollagenbildung zum Einsatz.

Für viele dieser Anwendungen kann die Erzeugung der Strahlung am besten durch den Einsatz eines oder mehrerer Konversionsleuchtstoffe realisiert werden. Dies ist dann der Fall, wenn für den entsprechenden Spektralbereich keine effizienten Primärstrahlungsquellen zur Verfügung stehen oder diese nicht zu einem wirtschaftlich akzeptablen Preis zu realisieren sind. Auch kann aufgrund der spektralen Anforderung der Anwendung (z.B. eines breiten Spektrums) die Anwendung von Leuchtstoffen die ideale Lösung bieten.

In diesem Vortrag werden einige Anforderungen bestimmter Anwendungen und die von uns dafür maßgeschneiderten Lösungen vorgestellt. Die einzelnen Projekte sind: 1. Desinfektion auf Basis einer Elektronenstrahlanregung und passendem Leuchtstoff, 2. UVA Strahler für Medizinanwendungen und Bräunungslampen, 3. breitbandig emittierende NIR Emittierer für LED Anwendungen.

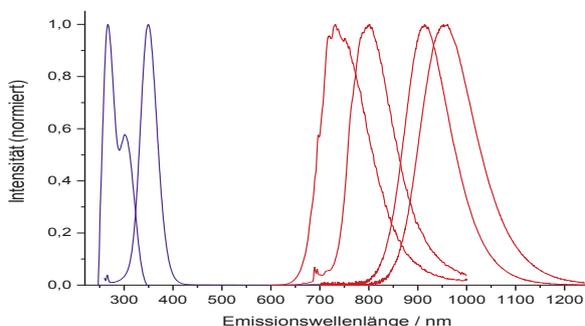


Abb.1: \_Emissionsspektren ausgewählter Leuchtstoffe.

Leuchtstoffwerk Breitungen GmbH, Lange Sömme 17, D-98597 Breitungen

Tel.: (+49 36848) 84 0

Fax: (+49 36848) 84 80

e-mail: [info@leuchtstoffwerk.com](mailto:info@leuchtstoffwerk.com)

homepage: <http://www.leuchtstoffwerk.com>

# Kalibrierung der spektralen Gesamtstrahlungsleistung von UV- und IR-LEDs

Thorsten Gerloff

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Arbeitsgruppe 4.15, Photometrie  
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Das Einsatzgebiet von LEDs hat sich in den vergangenen Jahrzehnten erheblich vergrößert.

Infrarot-LEDs (IR-LED) gehören zu den ersten hergestellten „Leucht“-Dioden und haben bereits Mitte der Siebzigerjahre Anwendung in Fernbedienungen erhalten. Typische Materialsysteme für IR-LEDs sind Galliumarsenid (GaAs) und Aluminiumgalliumarsenid (AlGaAs) mit denen sich effizient Strahlung im nahinfraroten Bereich von etwa 700 nm bis etwa 1000 nm erzeugen lässt. In der PTB wird die Gesamtstrahlungsleistung und Strahlstärke von IR-LEDs bereits seit den Achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts kalibriert. Die Kalibrierungen werden meist für die Rückführung auf das SI-Einheitensystem im Bereich der optischen Kommunikationstechnologie benötigt.

Durch umfangreiche Forschungen auf dem Gebiet der verwendeten Halbleitermaterialien wurde in den vergangenen Jahrzehnten sowohl der emittierte Spektralbereich, als auch die Effizienz und Strahlungsleistung von LEDs stetig erweitert. Seit einigen Jahren sind nun auch LEDs erhältlich, die im ultravioletten (UV) Spektralbereich emittieren. Der Spektralbereich kommerziell erhältlicher UV-LEDs liegt ungefähr zwischen 250 nm und 405 nm. Strahlungsleistung, Wirkungsgrad und die Lebensdauer von UV-LEDs ist in der Regel deutlich niedriger als bei IR-LEDs. In vielen Anwendungsfällen sind UV-Strahler auf Basis von Quecksilberdampf lampen (HQL) oder Kaltkathodenröhren (CCL) noch stärker verbreitet als UV-LEDs. Dennoch besitzen UV-LEDs individuelle Vorteile und ihre Eigenschaften werden stetig verbessert. Der Bedarf an rückgeführten Kalibrierungen von UV-LEDs durch die PTB ist daher seit einigen Jahren gestiegen.

Für die Kalibrierung von IR- und UV-LEDs werden in der Regel Radiometer mit ungefilterten Siliziumphotodioden verwendet. Diese messen durch Bewegung der LED auf einem Gonioradiometer die räumliche Verteilung der Bestrahlungsstärke in einem bekannten Abstand. Die Gesamtstrahlungsleistung lässt sich durch Integration der Bestrahlungsstärkeverteilung über dem gesamten Raumwinkel ( $4 \pi \text{ sr}$ ) unter Berücksichtigung des Abstands mit geringer Messunsicherheit bestimmen.

Weiterhin müssen spektrale aufgelöste Messungen der emittierten Strahlung mit Hilfe eines Spektroradiometers durchgeführt werden, um die spektral abhängige Empfindlichkeit des verwendeten Radiometers zu berücksichtigen.

Der Vertrag gibt einen Überblick über die Kalibriermethoden der PTB für IR- und UV-LEDs. Es werden Herausforderungen bei den Messungen sowie wichtige Beiträge zur Messunsicherheit diskutiert, um den Anwender auf mögliche systematische Fehler bei der Kalibrierung von LEDs aufmerksam zu machen.

## Spektrale Strahldichte, Strahlungsthermometrie und Emissionsgrad

Richard D. Taubert, Christian Monte und Jörg Hollandt

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Berlin

Das von Gustav Kirchhoff 1859 postulierte Konzept des Schwarzen Körpers, dessen praktische Realisierung als Hohlraumstrahler und die durchgeführten Präzisionsmessungen zur Temperaturstrahlung des Hohlraumstrahlers mündeten 1900 in die Entdeckung des Strahlungsgesetzes durch Max Planck. Von fundamentaler Bedeutung für die moderne Physik – Geburtsstunde der Quantenphysik – war dieses Ereignis gleichzeitig ein Meilenstein für die moderne Metrologie. Erstmals stand damit ein berechenbares Strahlungsquellen-Primärnormal für die Präzisionsradiometrie und die Strahlungsthermometrie zur Verfügung. Auf dieser Basis und im rechtlichen Rahmen des „Einheiten- und Zeitgesetzes“ werden im Fachbereich 7.3 „Detektorradiometrie und Strahlungsthermometrie“ der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Berlin Messplätze zur Darstellung und Weitergabe der *Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90)*, der *spektralen Strahldichte* und des *Emissionsgrades* betrieben und kontinuierlich weiterentwickelt.

Die spektrale Strahldichte ist die radiometrische Basisgröße zur Charakterisierung von optischen Strahlungsquellen, die in der Praxis notwendige metrologische Rückführung daher von Bedeutung für einen breiten Anwenderkreis. Dieser umfasst Hersteller von optischen Strahlungsquellen bis hin zur Applikation von großflächigen Strahlungsquellen zur Charakterisierung und Kalibrierung von bildgebenden Systemen für Weltraumanwendungen. Die dafür an der PTB betriebenen vollständig automatisierten Strahldichtekomparator-Messplätze gewährleisten, im Wellenlängenbereich von 200 nm bis 13  $\mu\text{m}$ , die spektral-, orts- und winkelaufgelöste Kalibrierung der spektralen Strahldichte mit kleinstmöglicher Unsicherheit und die umfassende radiometrische Charakterisierung von Strahlungsquellen.

Die Temperatur gehört zu den in der Industrie und Forschung am meisten gemessenen physikalischen Zustandsgrößen. Die Strahlungsthermometrie als berührungsloses, radiometrisches Verfahren für die angewandte Temperaturmessung hat, insbesondere in der Hochtemperatur-Thermometrie, einen zentralen Stellenwert und ist von zunehmender Relevanz für die satelliten- und flugzeuggestützte Erdfernerkundung. An dedizierten Strahlungsthermometrie-Messplätzen der PTB wird durch die Anwendung von hochwertigen Hohlraumstrahlern lückenlos über einen Temperaturbereich von  $-170\text{ °C}$  bis  $3000\text{ °C}$  Temperaturstrahlung mit sehr kleiner Unsicherheit dargestellt. Dadurch kann der stetig steigende Bedarf an Kalibrierungen von Strahlungsthermometern, Thermografiekameras und Temperaturstrahlern gedeckt und die Rückführung auf die ITS-90 und die SI-Basiseinheit Kelvin sichergestellt werden.

Für die angewandte Strahlungsthermometrie ist die Kenntnis des Emissionsgrads des zu messenden Objekts unabdingbar. Als eine temperatur-, winkel- und wellenlängenabhängige thermophysikalische Stoffgröße, hängt der Emissionsgrad eines Prüflings zusätzlich noch von seiner Fertigungs- und Anwendungshistorie ab und muss daher individuell ermittelt werden. An den Emissionsgradmessplätzen der PTB wird mit Fourierspektrometern der Emissionsgrad des Prüflings durch Vergleich mit einem Hohlraumstrahler bekannter Temperatur gemessen. Für Proben-temperaturen von  $-40\text{ °C}$  bis  $800\text{ °C}$  kann der gerichtete spektrale Emissionsgrad von  $1,4\text{ }\mu\text{m}$  bis  $200\text{ }\mu\text{m}$  für Abstrahlwinkel von  $\pm 80^\circ$  zur Probennormalen an Luft und unter Vakuum bestimmt werden.

## Anwendung und Grenzen moderner radiometrischer Verfahren

Dr. Mark Paravia, Opsytec Dr. Gröbel GmbH

Durch neue Anwendungen von UV-induzierten Beschichtungen und Klebungen werden einerseits eine genauere Prozesskontrolle und andererseits immer neu Messpositionen gefordert. Beispielsweise sind hier die Härtung und Prozesskontrolle im Automotive-Bereich an komplexen dreidimensionalen Bauteilen zu nennen, bei denen durch den Einzug der UV-LEDs neue Bestrahlungsgeometrien möglich sind. Es werden daher neue Sensorgeometrien nötig, die flexibel in kleine Bauvolumina eingebaut werden können.

Nach wie vor weisen UV-Sensoren von vielen Herstellern z. T. unterschiedliche Messwerte auf. Gründe hierfür sind die eingeschränkte und herstellerabhängige Filterauswahl, die spektrale Fehlanpassung und die Kalibrierunsicherheiten. Für spezielle Anwendungen werden UV-Sensoren normativ gelenkt, was die Vergleichbarkeit verbessern kann. Darüber hinaus kann eine anwendungsbezogene Kalibrierung die Vergleichbarkeit ebenfalls stark verbessern.

Der Vortrag gibt einen Einblick in aktuellen Kalibriermethoden gemäß ASTM und CIE. Die Grundlagen, Anforderungen und Genauigkeiten der UV-Sensoren, sowie weitere Prüfungen (Linearitätstests und Kalibrierprüfpunkte) werden diskutiert. Es werden die Verfahren und Ergebnisse eines akkreditierten Labors sowie Methoden zur Reduzierung der Messunsicherheit vorgestellt. Dabei werden z.B. auch auf die technische Entwicklung der UV-LED und deren spektraler Verschiebung eingegangen.

Abschließend wird ein innovatives Messprinzip mit einer multi-radiometrischen Messung vorgestellt. Äquivalent zur digitalen Fotografie lassen sich hierbei UV-Lampen wie RGB-Farben messen und beschreiben.

Durch die spektralen Empfindlichkeiten der Photodioden ergeben sich aus dem Lampenspektrum relative Teilsignale. Aus dem Verhältnis mehrerer Teilsignale lassen sich nun Charakteristika der Lampen berechnen, die von der Bestrahlungsstärke weitestgehend unabhängig sind.

Aus diesen kann im mehrdimensionalen Raum ein Datenvektor (R) generiert werden, der für eine Lampe charakteristisch ist. Beispiele für solche Vektoren sind in Abbildung 1 dargestellt und als R1, R2 und R3 gekennzeichnet. Bei der Messung kann nun ein Vektor S berechnen werden, der bei Übereinstimmung mit bekannten Vektoren die Lampe identifiziert.

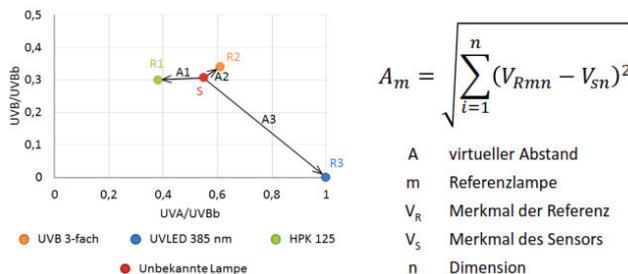


Abbildung 1: Darstellung von UV-Lampen im Raum (R1, R2, R3: Referenzvektoren, S: Vektor der gemessenen Lampe)

# Wirkungen infraroter Strahlung auf den Menschen

Helmut Piazena

Charité - Universitätsmedizin Berlin

AG Medizinische Photobiologie

helmut.piazena@charite.de

## Zusammenfassung

Infrarote Strahlung (IR) ist elektromagnetischer Natur und umfasst den Wellenlängenbereich zwischen 780 nm und 1 mm mit den Teilbereichen IR-A (780 - 1400 nm), IR-B (1400 - 3000 nm) und IR-C (3000 nm - 1 mm) gemäß CIE 17.4 und DIN 5031/7.

Nach dem Planck'schen Gesetz variiert ihre Photonenenergie zwischen 1,59 eV bei 780 nm und 0,12 eV bei 1 mm, so dass für Wellenlängen bis etwa 1240 nm (entsprechend 1 eV) sowohl thermische als auch photochemische Effekte angeregt werden können, während für Wellenlängen über etwa 1240 nm ausschließlich thermische Wirkungen erzeugt werden.

Die optische Wechselwirkung infraroter Strahlung mit dem Gewebe umfasst Absorption, Streuung, Brechung und Reflexion sowie nachfolgend Strahlungsschwächung und Remission im Gewebe, die sämtlich von der Wellenlänge abhängen. Die Penetration der IR-Strahlung in das Gewebe und ihre Remission sind bei etwa 1080 nm maximal. Kleinere Werte ergeben sich für abnehmende Wellenlängen durch die zunehmende Bedeutung der Streuung für die Strahlungsschwächung und für zunehmende Wellenlängen hauptsächlich durch die starke Vergrößerung des spektralen Absorptionskoeffizienten von Wasser.

Für den Abfall der relativen Bestrahlungsstärke auf 1 % des an der Oberfläche heller Haut gegebene Betrages ergeben sich in Abhängigkeit des Spektrums folgende Tiefen im Gewebe: 14-15 mm (solares IR am Mittag an der Erdoberfläche und wassergefiltertes Infrarot-A (wIRA)), 9 mm (ungefilterte Halogenlampe, 3000 K), 6 mm (ungefilterte Halogenlampe, 1750 K) und 0,3 mm (IR-C-Strahler, 708 K).

Die thermischen Wirkungen infraroter Strahlung hängen von ihrem Spektrum, von der Bestrahlungsstärke und -dauer, von der Wärmebilanz, von der Größe der bestrahlten Hautfläche und von der individuellen Gegenregulation ab. Gleiche "Dosen" können je nach Größe der Bestrahlungsstärke zu unterschiedlichen Erwärmungen führen. Daher ist die Anwendung des *Bunsen-Roscoe'schen* Proportionalitätsgesetzes zur Extrapolation von IR-Wirkungen auf Expositionen mit unterschiedlichen Bestrahlungsstärken unzulässig.

Akute thermische Wirkungen infraroter Strahlung sind die Haut-, Gewebe- und Körperkernerwärmung, das flüchtige und das persistierende Wärmeerythem, Hitzeschmerz und Verbrennung. Hautoberflächentemperaturen im Bereich von Hitzeschmerz (43 °C) treten bei Anwendung von solarem IR-A und wIRA bei Bestrahlungsstärken auf, die etwa um den Faktor 1,7 - 2,8 größer sind als bei Anwendung der weniger bzw. kaum penetrierenden Strahlung einer ungefilterten Halogenlampe oder eines IR-C-Strahlers. Im Gewebe zeigen sich bei Anwendung von wIRA somit Temperaturprofile, deren Maximum die Hautoberflächentemperatur um etwa 1 - 2 K übersteigt.

Unerwünschte chronische Wirkungen zu häufiger und zu hoch dosierter Anwendung sind die *Urticaria thermalis* und das *Erythema ab igne* mit der diskutierten Perspektive der Entwicklung eines Plattenepithelkarzinoms. Darüber hinaus wurden Elastizitätsverlust und Photoalterung der Haut als Schädigung solarer IR-Strahlung diskutiert. Jedoch zeigten die vorgelegten Studien methodische Fehler, während protektive Effekte des IR-A in Bezug auf die Erythemempfindlichkeit der Haut gegenüber UV-Bestrahlung und auf die Bildung freier Radikale nachgewiesen wurden. Während für den *Wellness*-Bereich Beschränkungen auf Hautbestrahlungen mit mittel und langwelliger IR-Strahlung empfohlen werden, erschließen sich im therapeutischen Bereich durch die Anwendung von wIRA sowie selektiv gefilterter IR-Strahlung neben bekannten Indikationen neue Perspektiven, u.a. für die Wundheilung, für die Therapie oberflächennaher Tumore und für die Therapie infektiöser Erkrankungen mit thermosensitiven Erregern.

Wirkung von UV-Strahlung auf Pflanzen

Reimund Goss

Institut für Biologie, Abteilung für Pflanzenphysiologie, Universität Leipzig, Johannisallee 21-23, 04103 Leipzig

Die an den Bereich des sichtbaren Lichtes angrenzende kürzerwellige, elektromagnetische Strahlung wird als ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung) bezeichnet. Die UV-Strahlung, die den spektralen Bereich von 200 bis 400 nm umfasst, wird in drei Abschnitte unterteilt: die UV-A-Strahlung (von 320 bis 400 nm), die UV-B-Strahlung (von 280 bis 320 nm) und die UV-C-Strahlung (von 200 bis 280 nm). Die im Normalfall auf die Erdoberfläche auftreffende UV-Strahlung liegt im Bereich von 295 bis 400 nm, kürzerwellige UV-Strahlung wird durch die Ozonschicht absorbiert. Die auf die Erde auftreffende UV-Strahlung repräsentiert weniger als sieben Prozent des eingestrahnten Sonnenlichtes. UV-B-Strahlung ist gefährlich für lebende Organismen und führt zu Schädigungen der DNA, von Proteinen, Lipiden und damit auch von Biomembranen. Pflanzen, die das Sonnenlicht zur Photosynthese nutzen, absorbieren zwangsläufig einen Teil der UV-Strahlung. Neben den bereits aufgeführten Schädigungen führt Exposition mit UV-B in der Pflanze auch zu einer Minderung der Photosyntheseleistung. Hierfür sind Schädigungen oder Inaktivierungen sowohl der CO<sub>2</sub>-Fixierung als auch des photosynthetischen Elektronentransportes verantwortlich. Pflanzen haben verschiedene Schutzmechanismen zur Vermeidung UV-B-bedingter Schäden entwickelt, hierzu zählen DNA- und Protein-Reparaturmechanismen, aber auch die Dissipation von absorbierter UV-Strahlung durch den sog. Xanthophyllzyklus. Dieser spielt zudem eine Rolle bei der Entgiftung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS), die durch Absorption von UV-Strahlung vermehrt gebildet werden. Vor allem Algen synthetisieren eine spezielle Klasse von farblosen, aminosäure-artigen Verbindungen, die sog. MAAs, die im Bereich von 310 bis 360 nm maximal absorbieren und somit die Gefahr einer UV-B-Absorption durch Proteine oder Nucleinsäuren verringern. Die durch Absorption von UV-A-Strahlung in der Pflanze hervorgerufenen Effekte können sowohl schädigender als auch stimulierender Natur sein. So sind sowohl eine Erhöhung als auch eine Verringerung der Biomassebildung oder der Photosynthese durch UV-A-Exposition beschrieben. Auch UV-A-Strahlung kann zur Biosynthese von spezifisch absorbierenden Pigmenten führen, in diesem Falle ist es die durch UV-A ausgelöste Bildung von sog. Flavonoiden. Der Vortrag stellt die Gefahren für den pflanzlichen Organismus durch die Absorption von UV-Strahlung dar und präsentiert einige ausgewählte Schutzmechanismen von Pflanzen und Algen.

## Abstrakt

Meffert, Hans (Dermatologisches Zentrum Berlin): UV-Wirkungen auf den Menschen.

Folgen der Einwirkung von natürlicher wie künstlich erzeugter UV-Strahlung auf Menschen sind nur unter Berücksichtigung einiger Eigenheiten des UV erklärlich. So nimmt die Energie eines UV-Quants zwischen etwa 340 und etwa 300 nm um den Faktor  $>10^3$  zu, wogegen das Eindringvermögen in die Haut und tiefere Schichten mit abnehmender Wellenlänge abnimmt.

Wesentliche UV-Aktionsspektren (Sonnenbrand, Fotokarzinogenese, Fotoalterung der Haut, aber auch Vitamin-D-Synthese und antipsoriatische Wirkung) weisen Maxima bei etwa 300 nm auf, um unter stetiger Abnahme der Wirksamkeit bei etwa 340 nm  $>10^3$ -fach weniger wirksam zu sein.

Dosis, spektrale Verteilung und Anzahl der Expositionen entscheiden über Schädigung inklusive Hautkrebs, über Prävention, Besserung bzw. Heilung. Therapeutisch und präventiv ist UV schwieriger zu handhaben als medikamentöse Behandlung. Die 1919 publizierte Heilung von Rachitis durch künstliche Höhensonne (Huldschinsky K. Dtsch Med Wochenschr 45; 1919: 712-713) forcierte weitere medizinische UV-Anwendungen.

Die parallel zum technischen Fortschritt zunehmende vorzeitige Hautalterung und das jetzt massenhafte Auftreten von Hautkrebs werden gern als Zivilisationsfolgen gedeutet. Als die Menschen noch mit den Hühnern aufstanden und sich tagsüber oft im Freien aufhielten, konnten sie sich der natürlichen UV-Strahlung gut anpassen. Nach der Wintersonnenwende gewöhnte sich so – zumindest in unseren sonnenscheinarmen Breitengraden - der Organismus samt Haut an die steigende UV-Bestrahlung. Dieser natürliche Vorgang wird jetzt gestört, durch

- Verminderung bzw. Verhinderung von natürlichen UV-Expositionen (häufiger privater wie beruflicher Aufenthalt in Innenräumen)
- überfallartige, ungewohnt starke Exposition mit natürlicher oder künstlich erzeugter UV-Strahlung (oft in ungeeigneten Jahreszeiten, Massentourismus).

Untersuchungen aus dem Robert-Koch-Institut zeigten, dass die Mehrzahl von 6995 Probanden 25-OH-Vitamin-D-Blutwerte unterhalb des Schwellwertes von 50 nmol/l aufwies. Als potentiell modifizierbare Faktoren wurden Fettleibigkeit, fehlende sportliche Aktivität und häufige Mediennutzung erkannt (Rabenberg u. a. 2015). Außerhalb von Fachkreisen ist kaum bekannt, dass UV-Therapie von Hautkrankheiten wie Schuppenflechte nicht karzinogen wirkt. Diskutiert wird dieses Phänomen und eine Möglichkeit der einfachen Abschätzung der aktuellen UVBestrahlungsstärke durch Beachten der Schattenregel.

**ABSTRACT** : 24. DAfP – Symposium: UV und IR – Erzeugung, Messung und Anwendung

## **Technische Anwendungen von UV-Strahlung mit $\lambda < 300\text{nm}$**

Dr. Manfred Salvermoser,

*Research Associate, Ozone R&D, Xylem Services GmbH,*

*Boschstr. 4- 14, 32051 Herford;*

*Tel: 05221 930 733*

*Email: [manfred.salvermoser@xyleminc.com](mailto:manfred.salvermoser@xyleminc.com)*

Nach einem kurzen Überblick über technische Anwendungen kurzweiliger UV-Strahlung ( $\lambda < 300\text{nm}$ ), der dazu geeigneten Strahlungsquellen sowie deren Eigenschaften, wird näher auf UV relevante Anwendungen im Bereich der Umwelttechnologie eingegangen.

Insbesondere werden die durch UV Strahlung induzierte Entkeimung von Trink- und Abwasser, sowie fortgeschrittene Oxidationsprozesse ( AOP= Advanced Oxidation Processes) zur Wasserreinigung, basierend auf UV strahlungsinduzierter Hydroxylradikalproduktion (-OH), näher betrachtet.

In diesem Zusammenhang werden dann schließlich photochemische, auf Vakuum ultravioletter(VUV) Strahlung ( $\lambda < 200\text{nm}$ ) basierende Ozongeneratoren den herkömmlichen, auf stillen elektrischen Entladungen basierenden Ozon Generatoren gegenübergestellt. Schließlich werden mögliche Anwendungen dieser photochemischen Ozongeneratortechnologie diskutiert.

## **24. DAfP Symposium 2019**

Session: Block IV – Technische Anwendungen

Author: Torsten Jenek, Heraeus Noblelight GmbH, Heraeusstr. 12-14, 63450 Hanau

Titel: UV-LEDs für Curing-Anwendungen und Spektroskopie

### Abstract:

UV-LEDs finden heutzutage breite Anwendung im Bereich Curing im UVA und stoßen im tieferen UV auch in den Bereich Spektroskopie vor. Dieser Vortrag stellt LEDs für beide Anwendungen vor und erläutert Hintergründe.

UV LEDs halten seit einigen Jahren breiten Einzug in photoinitiierte Härtungsanwendungen. Mit ihrer hohen Effizienz im UVA-Bereich übertreffen sie dabei die Effizienzen klassischer Gasentladungslampen im selben Wellenlängenbereich und tragen so zur Energieeinsparung bei. LEDs sind dabei aufgrund ihrer schnellen Reaktionszeit auch flexibler einzusetzen. Neben dem prinzipiellen Aufbau von LED-Systemen für Härtungsanwendungen werden Anwendungen im Bereich Druckfarbenhärtung und im Bereich Glasfaserbeschichtung gezeigt.

UV-LEDs verändern auch Lichtquellen im Bereich Spektroskopie in Bezug auf Größe und Energieverbrauch. Kleine und stromsparende LED Lichtquellen ermöglichen die Miniaturisierung von Instrumenten und tragen damit zu kostengünstigeren Analysen bei. Dank ihrer Robustheit und dem niedrigen Energieverbrauch von nur einigen Watt, sind sie ideal für portable Messanwendungen geeignet.

LED basierte Spektrometer sind aufgrund ihres einfachen Aufbaus heute häufig als Einzelwellenlängendetektoren anzutreffen und dementsprechend anwendungsspezifisch. Es gibt aber bereits Ansätze zur Erzeugung eines spektral breitbandigen UV-Kontinuums, das den Nachweis unterschiedliche Substanzen mit einer Lichtquelle ermöglicht. UV-LED Lichtquellen finden heute schon Anwendung in unterschiedlichen Spektroskopiefeldern wie z.B. Life Science, Gasmessung oder Messung der Wasserqualität.

## NIR LED basierte Spektroskopie für die Lebensmitteltechnologie

Daiyu Hayashi

*Osram Opto Semiconductors, Leibnizstraße 4, 93059 Regensburg*

It has been long studied that various foods and horticultural products exhibit characteristic spectral absorption and reflection in Near-Infra Red (NIR) wavelength ranges. \* Thanks to the advent of commercialized InGaAs detectors without additional cooling systems, it became easy to carry out the measurements of the reflectance and transmission spectra of foods in visible to NIR ranges. Spectral analytic systems and sensors with small form factor are nowadays commercially available for food detection. In contrary to the NIR detection systems, NIR light sources dedicating to the food analysis have been long limited to incandescent or high-pressure discharge lamps. Recent growing interests in human centric lighting opened the opportunities for light industries to develop NIR light sources based on phosphor-converted LEDs. Several light companies start offering commercialized LED sources capable of generating continuous emission spectrum up to 1000 nm, and the LED technologies corresponding to the detection ranges of InGaAs detectors are currently being developed. In this talk, we will overview the recent developments of NIR LED light sources suitable for the food detections.

\* For instance, Nicolai *et al.* *Postharvest Biol. Technol.* **46** 99 (2007).

## NIR-Leuchtstoffe als Alternative für thermische Lichtquellen

Florian Baur und Thomas Jüstel

Fachhochschule Münster. Fachbereich Chemieingenieurwesen, Stegerwaldstr. 39, 48565 Steinfurt

Nach Vorgabe der EU ist der Vertrieb von Glüh- und Halogenglühlampen seit 2016 verboten (ausgenommen Abverkauf von Lagerbeständen). Während im Beleuchtungsbereich die Leuchtstoffröhre und vor allem die LED einen vollwertigen Ersatz darstellt, gestaltet sich die Suche nach Alternativen in anderen Bereichen als schwieriger. Glühlampen werden in der NIR-Spektroskopie oder Sortieranlagen als preiswerte Infrarotquellen eingesetzt.

IR-emittierende LEDs auf Basis von (In,Ga)P Halbleitern kann aufgrund der schmalen Emissionsbande und begrenzten Leistung nicht immer als Ersatz dienen. Eine Alternative stellen phosphorkonvertierte LEDs (pcLEDs) dar. Es handelt sich dabei um einen blau- oder UV-A emittierenden (Al,In,Ga)N Chip, dessen Emission mittels eines geeigneten Konverterleuchtstoffes in breitbandige NIR-Emission umgewandelt wird. Eine pcLED verbindet die Vorteile einer LED, wie Energieeffizienz und kleiner Formfaktor, mit einer großen Flexibilität in Bezug auf die Lumineszenzeigenschaften, die durch den verwendeten Leuchtstoff bestimmt werden. Die Schwierigkeit liegt bei diesem Ansatz in der Wahl geeigneter Konverterleuchtstoffe. Diese müssen eine ausreichend hohen Absorptionsquerschnitt für die Primäremission des LED-Halbleiters aufweisen und diese mit einer hohen Effizienz in NIR-Strahlung umwandeln. Hierfür bieten sich mit  $\text{Cr}^{3+}$  oder  $\text{Mn}^{4+}$  dotierte Leuchtstoffe an. Die Absorption dieser Aktivatoren deckt einen Bereich vom UV-A bis in den grünen Spektralbereich ab, die Emission kann, abhängig vom verwendeten Wirtsmaterial, zwischen 630 nm und 900 nm liegen.

Im Vortrag werden die Anforderungen wie thermische Stabilität, hohe Quantenausbeute und die zugrundeliegenden Lumineszenzmechanismen genauer beleuchtet und Einblick in die technische Anwendung von NIR-Emittern gegeben. Zudem werden neue NIR-Leuchtstoffe vorgestellt.

## Vom Labor zum Reaktor – Einsatz von UVC-LEDs zur Trinkwasserdesinfektion

Autor: Karl-Heinz Schön; Co-Autoren: Tim Schwarzenberger, Dr. Jutta Eggers

Das Poster stellt die Arbeit des TZW in den BMBF finanzierten Projekten GEntLED-UV sowie ELEDWa (Förderkennzeichen 03ZZ0117A und 03ZZ0132D) vor, die im Rahmen des Advanced UV for Life Konsortiums mit den Partner Xylem Services GmbH, Fraunhofer IOSB-AST und Purion GmbH bearbeitet werden.

Im Projekt GEntLED-UV (Grundlagenuntersuchungen und Entwicklung eines für den Einsatz im Wasser geeigneten UVC-LED-Desinfektionsmoduls) wurden in einem ersten Schritt Bestrahlungseinheiten für Labor-Arbeiten hergestellt und charakterisiert. Entstanden sind 4 Module mit jeweils 4 LEDs der Wellenlängen 260, 265, 275 oder 280 nm sowie einer zentral angeordneten 365 nm LED. Nach der spektralen Charakterisierung wurden eine Reihe trinkwasserrelevanter Mikroorganismen mit den LED-Modulen sowie einer konventionellen Niederdruck-Bestrahlungseinheit als Referenzsystem bestrahlt um den Zusammenhang Wellenlänge-Desinfektionswirksamkeit zu erhalten.

Diese Ergebnisse wurden im Folgeprojekt ELEDWa (Entwicklung UVC-LED-basierter Desinfektionstechnologien für die Wasserdesinfektion) für die Entwicklung zweier LED-Reaktoren eingesetzt. Die Reaktoren bestehen jeweils aus einem LED-Modul der OSA Opto Lights GmbH mit 4 W UVC bei 278 nm und einem Edelstahl-Gehäuse mit einer T- bzw. L-förmigen Strömungsführung von Xylem. Hierbei wurde die Desinfektionsleistung vom TZW einerseits mit CFDs simuliert und mit dem Hersteller verglichen und andererseits finden derzeit Untersuchungen statt um die Desinfektionsleistung auf biologischem Weg zu bestimmen (Biodosimetrie). Ziel ist es im Hinblick auf Normung und Regulierung ein Verständnis zur Überprüfung und Überwachung der neuartigen Reaktordesigns (UV-Quelle und Reaktorgeometrie) zu gewinnen.

Präsentiert werden Messungen zu den Laborbestrahlungseinheiten, Wellenlängenabhängige Dosis-Wirk-Beziehungen für ausgesuchte Mikroorganismen sowie die Arbeiten am LED-Reaktor.

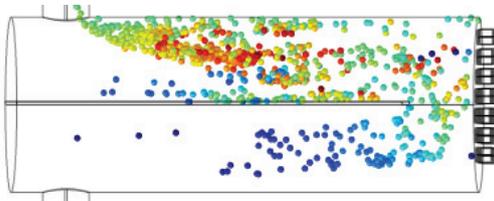
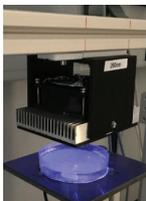


Abbildung 1: 280 nm LED-Modul während der Laborbestrahlung einer Mikroorganismen-Suspension (links) und Particle Tracing (mit Kombination aus CFD und Intensitätsverteilung) des T-förmigen ELEDWa LED-Reaktors.

**Untersuchungen der spektralen Transmission optischer Elemente im MIR / NIR -Spektralbereich unter Verwendung eines Quantenkaskadenlasers**

M. Esslinger, E.Velke, A. Schirmacher

PTB Braunschweig, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Die AG 4.51 Reflexion und Transmission (<https://www.ptb.de/cms/ptb/fachabteilungen/abt4/fb-45/ag-451.html>) des Fachbereichs 4.5 Angewandte Radiometrie der PTB Braunschweig betreibt im Arbeitsbereich der gerichteten Reflexions- und Transmissionsmessungen eine Referenzapparatur, die einen nominellen Wellenlängenbereich von 200 nm bis maximal 20  $\mu\text{m}$  abdeckt. Zur Erzeugung der Messtrahlung oberhalb von ca. 3,5  $\mu\text{m}$  stehen breitbandige thermische Strahler sowie in relativ weiten spektralen Bereichen durchstimmbare Bleisalzdiodenlaser zur Verfügung. Letztere besitzen im Vergleich zu den thermischen Strahlungsquellen mit einigen mW eine höhere spektrale Ausgangsleistung, sind allerdings in der Handhabung sehr komplex. So müssen die Laserdioden mittels eines evakuierten Stirling-Kühlsystems bei Temperaturen von einigen 10K betrieben werden. Die Wellenlängenselektion erfolgt dann über die Variation von Diodenstrom und Arbeitstemperatur.

Eine wesentlich einfacher zu betreibende Strahlungsquelle stellen Quantenkaskadenlaser dar, die spektral hochaufgelöst in bestimmten spektralen Bereichen durchstimmbare bei Raumtemperatur betrieben werden können.

Es wird ein kürzlich beschafftes Lasersystem vorgestellt, das künftig an der Referenzapparatur bei Kalibrierungen zum Einsatz kommen soll. Dieses System kann in drei Wellenlängenbändern betrieben werden, die bei ca. 3,6 bis 3,9  $\mu\text{m}$ , 4,4 bis 5,1  $\mu\text{m}$  und 8,4 bis 10,7  $\mu\text{m}$  liegen. Die maximal verfügbaren Ausgangsleistungen im Dauerstrichbetrieb variieren dabei bandenspezifisch im Bereich von 50 bis 200 mW, 30 bis 100 mW und 15 bis 50 mW. Die spektrale Bandbreite beträgt typisch 1,44 nm, 2,5 nm und 10 nm im Multimodebetrieb, kann im CW Single-Modebetrieb um bis zu einem Faktor 100 reduziert werden. Die Wellenlängenunsicherheit ist kleiner als 1  $\text{cm}^{-1}$ . Damit besitzt der bezüglich der Wellenlänge kalibrierte Laser eine im Vergleich zu den typischerweise zu charakterisierenden breitbandigen Normalen (metallisch Spiegel, Neutralgraufilter) nahezu vernachlässigbare Unsicherheit.

Als Anwendungsbeispiel werden erste Messungen an FIR Wellenlängenstandards präsentiert. Diese dünnen Polystyrolfolien besitzen spezifische Absorptionsbanden, die zur Kalibrierung scannender optischer Geräte im Infrarotbereich verwendet werden können. Insbesondere aufgrund des verwendeten Kunststoffmaterials wird diesen Wellenlängenstandards jedoch üblicherweise nur eine kurze Haltbarkeitsdauer zugemessen. Dies verlangt dann entweder eine Neukalibrierung nach kurzer Zeit oder die Beschaffung eines neuen Standards. Mit Messungen der spektralen Transmission in mit dem Quantenkaskadenlaser zugänglichen Absorptionsbändern soll an verschiedenen alten Normalen untersucht werden, ob und in welchem Umfang mit einer Degradation der Standards zu rechnen ist.

# Kombinierter UV-A und -B Strahler für Medizin, Photochemie und Kosmetik

Michael Laube<sup>a,\*</sup>, Benjamin Herden<sup>b</sup>, Egon Seelbach<sup>b</sup>, Norbert Braun<sup>c</sup>, Thomas Berger<sup>b</sup> und Thomas Jüstel<sup>a</sup>

- a) FH Münster University of Applied Sciences, Fachbereich Chemieingenieurwesen, Stegerwaldstr. 39, 48565 Steinfurt
- b) Berger GmbH & Co. KG, Friedrichstraße 80, 47475 Kamp-Lintfort
- c) GVB GmbH Solutions in Glass, Nordstern-Park 2, 25134 Herzogenrath

\*michael.laube@fh-muenster.de

Die Anwendungsgebiete für UV-A und UV-B Strahlung sind vielseitig. Sie wird für die Behandlung von Hautkrankheiten wie Psoriasis (Schuppenflechte), Vitiligo (Weißfleckenkrankheit), in Strahlern für kosmetische Anwendungen wie Bräunung und für die Initiation von photochemischen Reaktionen verwendet. Während im UV-A Bereich emittierende LEDs bereits mit hohen Energieausbeuten und langen Lebenszeiten auf dem Markt verfügbar sind, ist dies für UV-B emittierende LEDs nicht der Fall. Deshalb wird fast ausschließlich auf konventionelle, beschichtete Quecksilberniederdruck-gasentladungslampen zurückgegriffen. Diese weisen diverse Nachteile wie lange Startzeiten, schnelle Alterung und Restriktionen in der Lampengeometrie auf und auch die Entsorgung der quecksilberhaltigen Strahler ist zum Teil problematisch. Die Verwendung ist daher durch die Europäische Union streng reguliert und wird aufgrund von mangelnden Alternativen (noch) geduldet. Neue Strahlungsquellen werden daher dringend benötigt.



Abbildung 2 Kombiniertes UV-A/B Strahler im Betrieb.

Aufgrund der passenden Größe und Ionenladung kann es auf den Lu-Platz von LuAG substituiert werden. Daher wurden UV-A emittierende LEDs mit LuAG:Gd<sup>3+</sup> beschichteten Xe-Excimerstrahlern kombiniert und ein kompakter UV-A/B Strahler konstruiert. Ferner wurde die Partikelgröße sowie die Emissionsintensität des Leuchtstoffs optimiert und ein Lack für die homogene Beschichtung von Quarzglasrohren mittels up-flush-Verfahren entwickelt. LED-UV-A Strahler und UV-B Excimer-Lampe sind beliebig dimmbar, erreichen innerhalb weniger Millisekunden die eingestellte UV Leistung, sind beliebig oft schaltbar und haben eine Lebensdauer von mehr als 20.000 h, auch bei voller Leistung.

Der entwickelte Strahler stellt dank der Vorteile von UV-A LEDs und beschichtetem Xe-Excimer Strahlern eine Alternative für Hg-Gasentladungslampen im medizinischen, kosmetischen als auch photochemischen Anwendungsbereich dar.

Xe-Excimerstrahler sind effiziente Quellen für VUV-Strahlung. In Kombination mit einem Leuchtstoff kann die VUV-Strahlung in den UV-B Spektralbereich konvertiert werden. Sie benötigen keine Vorlaufzeit, können in verschiedenen Geometrien gefertigt werden und stellen kein Problem in der Entsorgung dar. Dennoch wird aufgrund der hochenergetischen VUV-Strahlung sowie angeregter Xe-Atome und Xe-Ionen ein inerte Converter-Leuchtstoff benötigt, welcher eine intensive Emission im UV-B Spektralbereich aufweist. Lu<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (LuAG) ist ein bekanntes Material für die Anwendung in Szintillatoren, welches hohe Stabilität aufweist. Gadolinium (Gd<sup>3+</sup>) hingegen ist bekannt für seine schmalbandige Emission im UV-B Spektralbereich.

# Verwendung von Einkristallen als optische Referenzmaterialien für den UV- und NIR-Bereich

Patrick Pues<sup>a</sup>, Sebastian Schwung<sup>b</sup>, Daniel Rytz<sup>b</sup> und Thomas Jüstel<sup>a</sup>

a) FH Münster, Fachbereich Chemieingenieurwesen,  
Stegerwaldstrasse 39, D-48565 Steinfurt

b) FEE GmbH – A Division of EOT, Struthstrasse 2, D-55743 Idar-Oberstein

E-Mail: [p.pues@fh-muenster.de](mailto:p.pues@fh-muenster.de)



Vom Kristall  
→  
zum Standard



Bei der Entwicklung von optischen Materialien ist die Quantifizierung der Eigenschaften dieser Materialien ein zentrales Element. Dazu werden besonders für den UV- sowie NIR-Bereich Referenzmaterialien benötigt, welche den hohen Ansprüchen an die Materialqualität sowie der Kenntnis ihrer physikalischen und optischen Eigenschaften gerecht werden.

Auf Grund Ihrer einzigartigen Eigenschaften im Vergleich zu mikroskaligen Pulvern werden Einkristalle häufig für den Einsatz in optischen Geräten wie Lasern, lichtlinearen Optiken oder Szintillatoren genutzt. Des Weiteren werden Einkristalle für den Einsatz als Konvertermedium in Hochleistung-LED diskutiert. Ihr hoher Umwandlungswirkungsgrad, ihre hohe thermische Stabilität sowie ihre hohe Wärmeleitfähigkeit machen Einkristalle zu einem vielversprechenden Material für viele optische Anwendungen. [1]

Diese Eigenschaften in Verbindung mit der hohen Stabilität von Einkristallen eröffnen die mögliche Anwendung von Einkristallen als optisches Referenzmaterial. In der optischen Spektroskopie ist es heutzutage üblich, bekannte Pulver oder Lösungen als Referenz zu nutzen. Diese Methoden weisen jedoch diverse Unwägbarkeiten auf. Bei Pulverproben kann es beispielsweise auf Grund von unterschiedlichem Streuverhalten, Verunreinigungen oder ungleichmäßiger Probenpräparation zu Abweichungen kommen. Auch bei Referenzlösungen kann es in Folge von Wäge- und Volumenfehlern zu Schwankungen kommen.

Im Vergleich zu diesen gängigen Referenzen haben Einkristalle eine definierte Oberfläche und sind leicht zu Reinigen. Des Weiteren haben Einkristalle eine minimale Oberfläche und sind somit unempfindlicher gegen äußere Einflüsse.

[1] S. Arjoca, E.G. Villora, D. Inomata, K. Aoki, Y. Sugahara, K. Shimamura, Temperature dependence of Ce:YAG single-crystal phosphors for high-brightness white LEDs/LDs, *Materials Research Express* **2** (2015) 055503

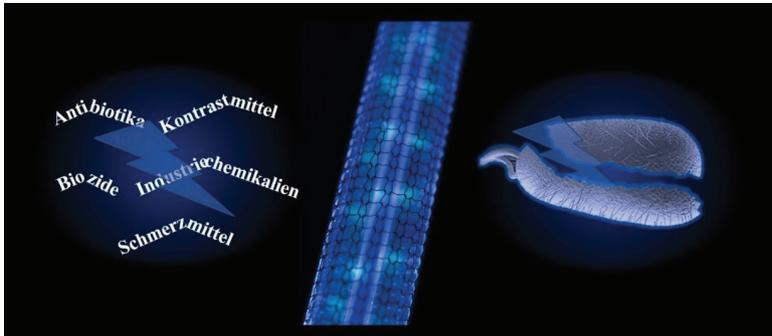
# Multispektrale Xe-Excimerstrahler für die Wasserbehandlung

Jan-Niklas Keil, M.Sc. und Prof. Dr. Thomas Jüstel

Fachhochschule Münster, Fachbereich Chemieingenieurwesen

Stegerwaldstraße 39, D-48565 Steinfurt

Email: [keil@fh-muenster.de](mailto:keil@fh-muenster.de) und [tj@fh-muenster.de](mailto:tj@fh-muenster.de)



Eines der großen Probleme der Menschheit ist die Verfügbarkeit von hygienisch einwandfreiem bzw. keimfreiem Trinkwasser. Von Düngemittelrückständen aus der Landwirtschaft über Chemikalien aus der chemisch-pharmazeutischen Industrie bis hin zu Krankheitserregern aus allerlei medizinischen Einrichtungen sowie urbanen Regionen bedrohen verschiedene Faktoren direkt oder indirekt die Trinkwasservorräte weltweit.

Diese Vielzahl an Mikroschadstoffen und mikrobiologischen Organismen stellt die Wasserversorger vor große Herausforderungen. Der gezielte Abbau der Mikroschadstoffe mithilfe von UV-Strahlung, teilweise in Kombination mit chemischer Oxidation, ist ein häufig gewählter Ansatz, um diesem Problem entgegenzutreten. Voraussetzung für die Wirksamkeit solcher Verfahren ist eine ausreichend hohe spektrale Absorption der Schadstoffe im eingestrahlten Bereich sowie eine ausreichende Quantenausbeute der Strahlung. Beide Parameter stellen Limitationen der heute üblicherweise für Desinfektion und (in Kombination mit  $H_2O_2$ ) für Schadstoffabbau genutzten UV-Strahlungsquellen auf Basis einer Hg-Entladung (185 und 254 nm) dar.

Aus diesem Grund ist es dringend geboten, Alternativen für diese Strahlungsquellen zu finden. Hier drängen sich vor allem leuchtstoffkonvertierte Xe-Excimerstrahler an. Die Xe-Excimerstrahlung von 172 nm wird durch Beschichtung der Lampen mit Leuchtstoffen in andere Zielwellenlängen konvertiert. Im Vergleich zu traditionellen UV-Strahlern liegen die Vorteile in der hohen Energiedichte des niederwelligen UV-Bereichs und der Flexibilität der erzielbaren Emissionswellenlängen. Insbesondere der Abbau stark persistenter Spurenstoffe, welcher mit klassischen Verfahren kaum oder gar nicht realisiert werden kann, ist für diese Technologie von hohem Interesse. Für die Trinkwasserdesinfektion besteht zudem das Potential, nicht nur die DNS der Mikroorganismen zu schädigen, sondern auch durch Anpassung des UV-Strahlungsspektrums weitere Angriffspunkte zu adressieren, wie z.B. die Zellmembranen und Mitochondrien.



# NOTIZEN

---

# NOTIZEN

---

[www.dafp.de](http://www.dafp.de)

**Deutsche Akademie für Photobiologie und Phototechnologie e.V. (DAfP)**

Matthias Menz

c/o TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik

Professor Schmidt Straße 26

98693 Ilmenau

Geschäftsführer der DAfP e.V.

Dr. Mark Paravia

c/o Opsytec Dr. Gröbel GmbH

Am Hardtwald 6-8

76275 Ettlingen

Tel.: +49 7243 94 783 54

[mark.paravia@opsytec.de](mailto:mark.paravia@opsytec.de)