



Deutsche Akademie für Photobiologie
und Phototechnologie e.V.
gemeinsam mit
Advanced UV for Life e.V.



ADVANCED
UV FOR LIFE e.V.



28. Symposium

Licht und UV-Strahlung in künstlichen Welten

am 13. und 14.6.2024
in der Lichtstadt Jena



EINLADUNG

Liebe Mitglieder,
sehr geehrte Leser/innen,

in Kooperation mit dem Verein Advanced UV for Life e.V. laden wir zum
28. Symposium vom **13. bis 14.06.2024** in die **Lichtstadt Jena** ein.

Dieses Jahr dringen wir mit dem Thema „**Licht und UV-Strahlung in künstlichen Welten**“ weit gefasst in künstliche und umweltrelevante Prozesse ein. Wir beleuchten dabei eine Vielzahl von neuen Themen wie VR-Brillen, die LEDs in der Pflanzenzucht, den Abbau von Plastik durch solare UV Strahlung zu Mikroplastik und die Far-UV-Bestrahlung. Wie immer bieten wir ein breit gefächertes Spektrum an Vorträgen.

Am Donnerstag begrüßen wir alle Mitglieder zu einer kurzen Mitgliederversammlung. Nach dem Mittagessen beginnen wir mit interfakultären Vorträgen.

Den Tag schließen wir ab mit einer Stadtführung und einem gemeinsamen Abendessen im 29. Stock des JenTowers bei einem nächtlichen Blick über die illuminierte Lichtstadt Jena.

Am Freitag setzen wir das Symposium ganztägig mit Vorträgen fort. Das detaillierte Programm folgt mit der Einladung.

Wir freuen uns Ihnen mit dem 28. Symposium ein umfassendes Weiterbildungsangebot anbieten zu können, bei welchem der gemeinsame Austausch mit zum Programm gehört und verbleiben

mit kollegialen Grüßen

Das Präsidium
der DAfP

Der Vorstand
Advanced UV for Life e.V



Saaleaue und Planetarium



PROGRAMMÜBERSICHT

Donnerstag 13.06.2024:

11:00 Uhr	Mitglieder- versammlung
12:00 Uhr	Mittagessen
13:00 Uhr	Begrüßung Prof. Dr. Christoph Schierz
13:15 Uhr	Beginn der Vorträge
17:30 Uhr	Stadtführung Treffpunkt Hotel-Lobby
19:00 Uhr	Abendveranstaltung SCALA Restaurant im JenTower Leutragraben 1 07743 Jena

Freitag 14.06.2024:

9:00 Uhr	Beginn der Vorträge
15:30 Uhr	Abschlussdiskussion Prof. Dr. Christoph Schierz
anschließend	Kaffeepause / Veranstaltungsende
16:30 Uhr	optional: Gruppenbesuch des Planetariums mit dem Programm- highlight „EXPLORE“ Treffpunkt Hotel-Lobby

Tagungsort:

Dorint Hotel Esplanade
Carl-Zeiss-Platz 4
07743 Jena

Am Donnerstagabend sind alle Teilnehmer bereits zum Mittagessen, zu einer gemeinsamen Stadtführung und einem geselligen Abendessen eingeladen.

Änderungen vorbehalten.

DONNERSTAG

I. Block - Schutz der Photosynthese vor solarer UV Strahlung und künstliche Lichtquellen

Prof. Dr. Dr. h.c. Donat-P. Häder
Uni Erlangen

Alle photosynthetischen Organismen müssen sich der Sonnenstrahlung exponieren, um deren Energie zu absorbieren. Dabei sind sie notgedrungen auch der solaren UV-Strahlung ausgesetzt. Das gilt auch zum Teil für Konsumenten, die sich von Pflanzen oder Algen ernähren. Da UV-Strahlung viele Schäden im Organismus hervorrufen kann, haben alle exponierten Organismen Schutzmechanismen entwickelt. Diese Vorgänge lassen sich mit Hilfe von modernen Messgeräten verfolgen. Alternativ lassen sich Pflanzen mit künstlichen Lichtquellen bestrahlen. Das ist besonders für den Anbau in Gewächshäusern interessant. Die Wahl der verwendeten Lichtquellen beeinflusst die Zusammensetzung der produzierten Photopigmente und Pflanzeninhaltsstoffe. Dabei müssen nicht nur die Spektralbereiche berücksichtigt werden, die Energieversorgung essentiell sind, sondern auch solche, die für die Steuerung der Entwicklungsvorgänge verantwortlich sind.

13:00 - 13:15

Begrüßung

Prof. Dr. Christoph Schierz
TU Ilmenau

13:15 - 13:45

Dynamik und Ausmaß des UV-Schutzes in Pflanzen

Dr. Erhard Pfündel
Heinz Walz GmbH

13:45 - 14:15

Bunte Blätter durch künstliche Belichtung - Der Einfluss von Spektren auf Photopigmente in ausgewählten Anbaupflanzen

Felix Wirth
Technische Universität Darmstadt

14:15 - 14:45

Pflanzenbeleuchtung mit LEDs – Spektraler Einfluss auf sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Horst Varga
ams OSRAM

14:45-15:15 Kaffeepause

II. Block - Virtuelle Welt, eine reale Gefahr für das Auge?

Prof. Dr. Christoph Schierz
TU Ilmenau

Seit der dramatischen Steigerung der Leuchtdichten von LEDs findet diese Technologie auch immer mehr in Bildschirmgeräten Verwendung, so auch in VR- und AR-Brillen. Virtual Reality Brillen bzw. VR-Brillen sind am Kopf vor den Augen getragene Geräte, die den Nutzern Einblick in eine virtuelle Welt ermöglichen. Augmented Reality Brillen bzw. AR-Brillen ergänzen die durch ein Brillenglas betrachtete reale Welt mit einprojizierten Zusatzinformationen. Diese Geräte erfreuen sich einer zunehmenden Beliebtheit. Damit geht aber auch immer öfter die Frage einher, ob die zunehmende Verbreitung und Dauer der Nutzung zu einer Schädigung der Augen führen kann. In diesem Block sollen anhand von zwei Beispielen die Bewertungsmethoden bezüglich Blaulichtschädigung und Flimmern gezeigt werden. Immer wieder wird auch die thermische Netzhautgefährdung durch LED-Licht angesprochen. Diese Aussagen werden in einem Kurzvortrag erläutert und bewertet.

15:15 - 15:45

Betrachtung der photobiologischen Sicherheit von VR-Headsets

Dr. Andreas Gross
Gigahertz Optik GmbH

15:45 - 16:15

Über die Vermessung von VR-Brillen und deren Blaulichtgefährdung

Marina Leontopoulos,
Silke Leontopoulos
TU Berlin

16:15 - 16:45

Die angeblich thermische Netzhautgefährdung bei LED-Bühnenscheinwerfern

Prof. Dr. Christoph Schierz
TU Ilmenau

FREITAG

III. Block - Anwendungen optischer Strahlung

Prof. Dr. Thomas Jüstel
FH Münster

Die Wirksamkeit optischer Strahlung ist eine empfindliche Funktion des jeweiligen Spektrums der Quelle sowie der Absorptions- bzw. Reflexionseigenschaften des Empfängers. In diesem Block wird daher einerseits die Farbwiedergabe von Lichtquellen als Funktion der Spektren und andererseits die Optimierung der Grenzflächen von Solarzellen diskutiert. Darüber hinaus wird das Umweltproblem der Alterung von Mikroplastik in der Umwelt durch Photolyse beleuchtet, wobei die Freisetzungsraten diverser problematischer Spurenstoffe vorgestellt werden.

9:00 - 9:30

Einfluss des Spektrums auf die Farbwiedergabeeigenschaften der Beleuchtung

Dr.-Ing. Karin Bieske
TU Ilmenau

9:30 - 10:00

Atomgenaue Gestaltung von Grenzflächen für die Umwandlung solarer Energie

Prof. Dr. Julien Bachmann
Universität Erlangen-Nürnberg

10:00 - 10:30

Alterung von Mikroplastik in der Umwelt: Eine systematische Photolyse-Studie, um Freisetzungsraten von sekundärem Mikro-, und Nano-plastik, sowie wasserlöslicher Organik zu bestimmen

Dr. Patrizia Pfohl
BASF SE

10:30-11:15 Kaffeepause

IV. Block - Aktuelle und zukünftige UV-Anwendungen

Dr. Mark Paravia

Opsytec Dr. Gröbel GmbH

Leuchtstoffe sind aus dem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Die technologische Bedeutung ist vergleichbar mit denen der LEDs und Gasentladungslampen. Der erste Vortrag widmet sich daher ganz diesem Thema.

In diesem Block werden zudem die Risiken und Chancen für UV-Anwendungen aufgezeigt und diskutiert. Hierzu werden die Ergebnisse einer großen Studie zur UV-Desinfektion mit industriellen und Haushaltgeräten vorgestellt.

Einen Ausblick auf die Potentiale der UV-C LEDs liefert der abschließende Vortrag.

11:15 - 11:45

UV-Leuchtstoffe -

Zukunft oder Vergangenheit

Dr. Dominik Uhlich

Leuchtstoffwerk Breitung GmbH

11:45 - 12:15

UV Strahlung in der Gesellschaft -

Chancen, Risiken und damit verbundene Messapplikationen

Dr. Andreas Gross

Gigahertz Optik GmbH

12:15 - 12:45

UV-C LEDs – Verbesserung der

externen Quanteneffizienz und Systemeffizienzen

Alexander Wilm

ams OSRAM

12:45-14:00 Mittagspause

FREITAG

V. Block - Anwendungen und neue Entwicklungen im UVC

Prof. Dr. Klaus Jacobs

Advanced UV for Life e.V.

Der Einsatz und Ersatz der LEDs wird zunehmend kurzwelliger. Für den UVB- und UVC-Spektralbereich werden flächige und leistungsstarke LED-Module entwickelt und vertrieben.

Noch kurzwelligere Anwendungen, vor allem im medizinischen Bereich, profitieren aus der FAR-UVC-Entwicklung der gefilterten EXCIMER-Strahler, aber auch von der Entwicklung von Far-UVC-LEDs.

Als FAR-UV-C wird kurzwellige Strahlung um 222 nm bezeichnet, die neuartige medizinische Anwendungen ermöglicht. Durch die geringere Eindringtiefe wird die Far-UV-C-Strahlung bereits größtenteils in der obersten, toten Hautschicht, dem Stratum corneum, absorbiert.

14:00 - 14:30

UVC-LEDs im Aufbruch: Skalierung der Entkeimung von klein nach groß

Dr. Jan Winderlich

Excelitas Noblelight GmbH

14:30 - 15:00

Effekte von fern-UV-C Strahlung auf Haut und Mikroben

Johannes Schleusener

Charite Berlin

15:00 - 15:30

Fern-UVC-LEDs: Stand, Herausforderungen und Perspektiven

Dr. Sven Einfeldt

FBH Berlin

15:30 - 15:45

Abschlussdiskussion

Prof. Dr. Christoph Schierz

TU Ilmenau

anschließend Kaffeepause

16:30 Uhr

optional:

Gruppenbesuch des

Planetariums mit dem Programmhilite „EXPLORE“

Treffpunkt Hotel-Lobby



Vorträge

Dr. Erhard Pfündel, Heinz Walz GmbH Dynamik und Ausmaß des UV-Schutzes in Pflanzen	13
Felix Wirth, TU Darmstadt Bunte Blätter durch künstliche Belichtung – Der Einfluss von Spektren auf Photopigmente in Ausgewählten Anbaupflanzen	14
Horst Varga, ams OSRAM Pflanzenbeleuchtung mit LEDs – Spektraler Einfluss auf sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe	55
Dr. Andreas Gross, Gigahertz Optik GmbH Betrachtung der photobiologischen Sicherheit von VR-Headsets	16
Marina Leontopoulos, Silke Leontopoulos, TU Berlin Über die Vermessung von VR-Brillen und deren Blaulichtgefährdung	17
Prof. Dr. Christoph Schierz, TU Ilmenau Die angebliche thermische Netzhautgefährdung bei LED-Bühnenscheinwerfern	18
Dr.-Ing. Karin Bieske Einfluss des Spektrums auf die Farbwiedergabeeigenschaften der Beleuchtung	19
Prof. Dr. Julien Bachmann, Universität Erlangen-Nürnberg Atomgenaue Gestaltung von Grenzflächen für die Umwandlung solarer Energie	20
Dr. Patrizia Pfohl, BASF SE Alterung von Mikroplastik in der Umwelt: Eine systematische Photolyse Studie, um Freisetzungsraten von sekundärem Mikro-, und Nanoplastik, sowie wasserlöslicher Organik zu bestimmen	21
Dr. Dominik Uhlich, Leuchtstoffwerk Breitenungen GmbH UV-Leuchtstoffe: Zukunft oder Vergangenheit?	22
Dr. Andreas Gross, Gigahertz Optik GmbH UV Strahlung in der Gesellschaft – Chancen, Risiken und damit verbundene Messapplikationen	23
Alexander Wilm, ams OSRAM UV-C LEDs – Verbesserung der externen Quanteneffizienz und Systemeffizienzen	24
Dr. Jan Winderlich, Excelitas Noblelight GmbH UVC-LEDs im Aufbruch: Skalierung der Entkeimung von klein nach groß	25
Johannes Schleusener, Charité Berlin Effekte von Fern-UV-C Strahlung auf Haut und Mikroben	26
Dr. Sven Einfeldt, FBH Berlin Fern-UVC-LEDs: Stand, Herausforderungen und Perspektiven	27

Postervorträge

Tim Pier, FH Münster Praseodymium Substituted Calcium Pyrophosphate Polymorphs as UV Emitting Phosphors	28
Prof. Dr. Olaf Ziemann, TH Nürnberg Lichtsimulationen am POF-AC Nürnberg	29

DYNAMIK UND AUSMAß DES UV-SCHUTZES IN PFLANZEN

Pfündel, Erhard

Heinz Walz GmbH, 91090 Effeltrich, Germany

UV-Strahlung kann bei Menschen, Tieren und Pflanzen zu Sonnenbrand führen. Sonnenbrand ist die Folge der destruktiven Wirkung von UV-Strahlung auf essenzielle Zellbestandteile wie Nukleinsäuren, Proteine und Lipide. Zum Schutz gegen UV-Schädigung lagert die menschliche Oberhaut (Epidermis) das Schirmpigment Melanin ein. Melanin absorbiert UV- und sichtbare Strahlung. Da sichtbare Strahlung für die Photosynthese essenziell ist, verwenden Pflanzen Schirmpigmente, die sichtbare Strahlung nicht absorbieren. Dabei handelt es sich um phenolische Stoffe. Diese Pigmente werden ebenfalls in der Epidermis eingelagert.

Bei Menschen mit blasser Haut wird die Melaninsynthese durch UV-Strahlung induziert. Die Induktion beruht auf der Interaktion von UV-Strahlen mit Nuklein- und Aminosäuren. In vergleichbarer Weise wird auch in Pflanzen die Synthese von UV-Schirmpigmenten durch UV-Strahlung stimuliert. Ein spezialisiertes Molekül (UVR8), das UV-Strahlung absorbiert, spielt dabei eine besondere Rolle.

Die Durchlässigkeit der pflanzlichen Epidermis für UV-Strahlung lässt sich am intakten Blatt mit einem an der Universität Würzburg entwickelten Verfahren bestimmen [1]. Die Firma Heinz Walz hat die dafür notwendigen Komponenten miniaturisiert und ein Handgerät entwickelt. Damit wurde es möglich, die epidermale UV-Abschirmung auf einfache und schnelle Weise an jedem beliebigen Pflanzenstandort zu bestimmen.

Der Messparameter des Gerätes ist die Chlorophyllfluoreszenz. Chlorophyll ist der Hauptfarbstoff der Photosynthese, die im Blattinneren lokalisiert ist. Chlorophyll absorbiert sowohl UV-Strahlung als auch sichtbares Licht. Die Energieaufnahme durch Strahlungsabsorption überführt das Chlorophyll in einen angeregten Zustand. Bei der Rückkehr in den Grundzustand wird ein Teil der Anregungsenergie als Fluoreszenzstrahlung abgegeben.

Die Intensität dieser Fluoreszenz ist proportional zu der Intensität der Anregungsstrahlung. Bei konstanter UV-Intensität an der Blattoberfläche ist die UV-angeregte Chlorophyllfluoreszenz aus dem Blattinneren umso geringer, je besser die UV-Abschirmung durch die Epidermis ist. Vergleicht man die Fluoreszenzintensitäten bei UV-Anregung mit der durch sichtbares Licht angeregten Fluoreszenz, lässt sich die prozentuale UV-Durchlässigkeit der Epidermis berechnen.

Die epidermale UV-Durchlässigkeit von Bohnenblättern reicht von 50% (Blattunterseite, Gewächshaus mit niedriger UV-Strahlung) bis 10% (Blattoberseite, Freiland). Weinblätter benötigen 7 Tage, um einen UV-Schutz von 10%-Durchlässigkeit aufzubauen. Diese Latenzzeit ist der Grund für den sogenannten „Auspflanzschock“, der auftritt, wenn Gewächshauspflanzen direkt der Sonne ausgesetzt werden.

Eine Besonderheit bei Pflanzen ist, dass die photosynthetische Sauerstoffproduktion durch UV-Strahlung inaktiviert wird. Diese UV-Inhibition ist bei vollständigem UV-Schutz nicht mehr nachweisbar [2].

[1] Bilger W, Veit M, Schreiber L, Schreiber U (1997) *Physiol Plant* 101: 754-763

[2] Kolb CA, Käser MA, Kopecký J, Zotz G, Riederer M, Pfündel EE (2001) *Plant Physiol* 127: 863-875

Bunte Blätter durch künstliche Belichtung - Der Einfluss von Spektren auf Photopigmente in ausgewählten Anbaupflanzen

Wirth, Felix

Adaptive Lichttechnische Systeme & Visuelle Verarbeitung, Prof. Khanh, TU Darmstadt

Die Forschung im Pflanzenbau hat gezeigt, dass die Lichtqualität eine entscheidende Rolle für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen spielt. LED-Beleuchtungssysteme haben die Möglichkeiten der Lichtmanipulation weiter verbessert, indem sie präzise Veränderungen in der Lichtintensität, -dauer und -qualität ermöglichen.[1] Dies ermöglicht die Optimierung der Photosynthese, des Blühzeitpunktes [2], der Pflanzenarchitektur, der Resistenz gegen abiotischen und biotischen Stress, der sekundären Metaboliten und der Veränderung der Konzentration von Photopigmenten.[3] Letztere spielen in Form von Chlorophyll, Anthocyanen und Carotinoiden eine entscheidende Rolle in der Pflanzenphysiologie. Chlorophyll ist für die Photosynthese, die Umwandlung von Lichtenergie in chemische Energie, unerlässlich. Anthocyane haben nicht nur eine schützende Funktion, sondern können auch an der Photosynthese und der Reaktion auf Stress beteiligt sein. Carotinoide sind wichtig für den Aufbau und den Schutz von Photosystemen. Die gezielte Stimulierung dieser Photopigmente mit Hilfe unterschiedlicher Wellenlängen kommt für die Pflanzengesundheit deswegen eine besondere Rolle zu und kann insbesondere Kombinationen an Blau, rot, grün, fern rot und UV erreicht werden. [3] Die Quantifizierung der Effekte ist dabei Spezies abhängig. Für Salat und Basilikum liegen die umfangreichsten Erkenntnisse vor. [3] Veränderungen der Photopigmente sind abhängig von den angewendeten Lichtspektren sowie -intensität und können dabei bspw. bei Carotinoiden um den Faktor 2.2 steigen.[4]

Aus lichttechnischer Betrachtung ist dabei die Veränderung auf den Farbeindruck der Blätter interessant. Um die Eckpunkte der Veränderung spezifizieren zu können, wird das PROSPECT-D-Modell verwendet, welches ein Strahlungstransfermodell ist und die optischen Eigenschaften von Pflanzenblättern im Bereich von 400 nm bis 2500 nm darstellt. Die Modellierung der Eigenschaften erfolgt unter Verwendung von Parametern, welche die Mesophyllstruktur des Blattes, die Pigmentkonzentration (Chlorophyll a&b, Anthocyanen und Carotinoiden) der Blattmasse pro Fläche sowie den Wassergehalt umfassen.[5] Mit den erhaltenen Reflexionsgraden, welche aus einer Kombination von verschiedener Photopigmenten erstellt werden, werden unter Verwendung des Normlichtart D65 verschiedene Spektren generiert und daraus die Farbpunkte bestimmt. Mit Hilfe geeigneter Farbdifferenzfunktionen werden die Unterschiede in der Wahrnehmung der Farbeindrücke der Blätter quantifiziert. Im Rahmen der Präsentation erfolgt eine Vorstellung der Pipeline sowie eine Darstellung der Ergebnisse in Bezug auf die Farbunterschiede.

[1] R. Paradiso and S. Proietti, "Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems".

[2] P. A. Davis and C. O. Burns. "Photobiology in protected horticulture"

[3] F. Thoma et al. "Effects of Light on Secondary Metabolites in Selected Leafy Greens: A Review".

[4] H. E. Haddaji et al.. "Effects of Light-Emitting Diodes (LEDs) on Growth, Nitrates and Osmoprotectant Content in Microgreens of Aromatic and Medicinal Plants".

[5] D. Ferét et al. "PROSPECT-D: towards modeling leaf optical properties through a complete lifecycle".

Pflanzenbeleuchtung mit LEDs – Spektraler Einfluss auf sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Varga, Horst

ams OSRAM - ams-OSRAM International GmbH

Die wissenschaftliche Forschung zum ertragreichen Anbau von *Cannabis sativa* L. für medizinische Zwecke hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Besonders der Einfluss des bereitgestellten Lichtspektrums auf den Ertrag und die sekundären Inhaltsstoffe ist für ein effektives und wirtschaftliches Wachstum von steigendem Interesse. In einer gemeinsamen Studie mit der Universität Wageningen (WUR) wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Lichtspektren und Intensitäten auf den Blütenertrag und den Cannabinoidgehalt untersucht. Dabei wurden über einen Zeitraum von neun Wochen vier verschiedene Lichtspektren bei hoher und niedriger Lichtintensität eingesetzt.

Es zeigte sich, dass Pflanzen, die unter einem Spektrum mit hohem Rotanteil kultiviert wurden, einen gesteigerten Blütenertrag erzielten. Im Gegensatz dazu führte ein höherer Blaulichtanteil zu kompakteren Pflanzen und einer verlängerten vegetativen Wachstumsphase. Die energetische Effizienzbewertung der vier verschiedenen Spektren, insbesondere der Spektren mit hohem Rotanteil, bestätigt den Trend, Pflanzen energieeffizient und ertragreich unter spektral abgestimmtem LED-Licht zu kultivieren.

Betrachtung der photobiologischen Sicherheit von VR-Headsets

Gross, Andreas

Gigahertz Optik GmbH

Innerhalb der vergangenen 10 Jahre haben VR-Headsets verstärkt an Bedeutung und Akzeptanz gewonnen. Ausgelöst durch den Erfolg des Entwicklungskits des Headsets Oculus Rift wurde seitens einer größeren Anzahl verschiedener Hersteller eigene Modelle entworfen. Die Anwendungsbereiche der Geräte liegen dabei einerseits im industriellen Sektor, wo sie zur Visualisierung dreidimensionaler Modelle bzw. im Rahmen von Augmented Reality (AR) Anwendungen genutzt werden. Andererseits sind die Geräte auch im privaten Bereich vor allem in der Freizeitgestaltung weit verbreitet. Laut aktuellen Marktdaten [1] wurden allein innerhalb der vergangenen 5 Jahre mehr als 51 Millionen VR-Headsets weltweit verkauft. Diese starke Verbreitung ist ein guter Grund, die Betriebssicherheit der Geräte genauer in Augenschein zu nehmen.

Viele VR-Headsets werden über integrierte Batterien betrieben, deren Laufzeit in der Regel bei ca. 2 Stunden liegt. Zur empfohlenen Nutzungsdauer gibt es unterschiedliche Meinungen und wenig tatsächlich belegte Daten und Fakten [2]. Durch den geringen Abstand zwischen den Augen des Nutzers und der bilderzeugenden Fläche sind belastbare wissenschaftliche Daten daher umso wichtiger. Unter anderem sollten folgende Fragen genauer untersucht werden:

Sind VR-Headsets unter dem Gesichtspunkt der photobiologischen Sicherheit für den Nutzer als sicher einzustufen?

Welche Belastung erfahren die Augen bei längerer Nutzung?

Kann es zu physiologischen oder psychologischen Nebenwirkungen kommen?

Aus diesem Grund wurde seitens Gigahertz-Optik eine Studie anhand eines derzeit weit verbreiteten VR-Headsets, dem Modell Quest 2 von Meta, durchgeführt. Dabei wurde vor allem die photobiologische Sicherheit gemäß Standard DIN 62471 genauer untersucht. Des Weiteren wurde außerdem das zeitliche Bildemissionsverhalten des Geräts genauer untersucht und betreffend Temporal Light Artefacts (TLA) und Flimmern analysiert.

1: <https://startupsmagazine.co.uk/article-over-51-million-vr-headsets-shipped-last-5-years>

2: <https://edition.cnn.com/2017/12/13/health/virtual-reality-vr-dangers-safety/index.html>

Über die Vermessung von VR-Brillen und deren Blaulichtgefährdung

Leontopoulos, Marina; Leontopoulos, Silke

Technische Universität Berlin

Virtual Reality (VR) findet immer mehr Einsatz bei Probandenversuchen im Bereich Lichttechnik, wie z.B. zur Darstellung von Tageslicht. Dabei bleibt häufig unklar, welcher Reiz den Probanden dargeboten wird, da auf eine Vermessung der VR-Head-Mounted Displays (VR-HMDs) entweder verzichtet oder diese nur stark vereinfacht durchgeführt wird. In der Praxis gestalten sich Messungen an VR-HMDs herausfordernd, da das Display nicht wie bei einem regulären Computer-Monitor gemessen wird, sondern das vom Linsensystem erzeugte virtuelle Bild. Die IEC 63145-20-10 (Eyewear display) [1] stellt eine Reihe von Anforderungen an die Messtechnik, insbesondere an Größe und Position der Eintrittspupille, und gibt Empfehlungen zum Auffinden der optischen Achse sowie zur allgemeinen Messdurchführung.

VR-HMD-Hersteller versuchen neben Parametern wie dem eingeschränkten Gesichtsfeld, der begrenzten Auflösung und den optischen Fehlern des Linsensystems auch die maximale Leuchtdichte zu verbessern. So ist bereits 2020 eine Publikation von Facebook Reality Labs erschienen, in der ein Display-Prototyp für VR-Anwendungen vorgestellt wurde, der Leuchtdichten bis zu 6000 cd/m^2 erreicht hat [2].

Strahlung im blauen Wellenlängenbereich kann die Netzhaut im Auge schädigen. Das im Englischen als „Blue Light Hazard“ (BLH) bekannte Phänomen beschreibt die irreversible Zerstörung von Fotorezeptoren. Der dabei entscheidende Faktor ist die Strahlendosis um eine Peak-Wellenlänge von 435 nm, dem das Auge ausgesetzt wird. Anhand der geltenden Norm IEC 62471 (Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen) [3] und den Richtlinien der ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) [4] wurden in der Vergangenheit bereits konventionelle Displays überprüft und in Bezug auf ihre Blaulichtgefährdung als ungefährlich eingestuft. Angesichts der abweichenden Geometrie erschien es notwendig, diese Untersuchung auch auf VR-HMDs auszuweiten.

Vor diesem Hintergrund wurden vier aktuelle VR-HMDs sowie ein Laserprojektor als Annäherung zum Prototyp von Facebook Reality Labs in Bezug auf ihre Blaulichtgefährdung nach der IEC 62471 (Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen) bewertet.

[1] IEC 63145-20-10, *Eyewear display – Part 20-10: Fundamental measurement methods – Optical properties*

[2] Zhao Y, Matsuda N, Wang X, Zannoli M, Lanman D, *Proceedings of SPIE 11310, Optical Architectures for Displays and Sensing in Augmented, Virtual, and Mixed Reality (AR, VR, MR), San Francisco, USA. 19 February 2020: 268–279*

[3] IEC 62471, *Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen*

[4] *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. Health Physics 2013; 105(1): 74–96*

DIE ANGEBLICH THERMISCHE NETZHAUTGEFÄHRDUNG BEI LED-BÜHNENSCHWEINWERFERN

Schierz, Christoph

TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik

Anfangs 2023 wurde in der Fachpresse für Veranstaltungstechnik von einem Vorfall berichtet, nachdem „eine Mitarbeiterin eines Vertriebsunternehmens für Beleuchtungstechnik Verbrennungen auf beiden Netzhäuten durch einen handelsüblichen Scheinwerfer erlitten hat“ (mothergrid, 10.3.2023). Gemäß Aussagen der betroffenen Person wurde diagnostizierte Schädigung durch einen zu geringen Abstand und einen offensichtlich ungünstigen Winkel zu einem Beleuchtungsprodukt verursacht. Sie sei geblendet worden und habe sofort weg geschaut. Es soll sich um einen LED-Scheinwerfer gehandelt handeln, der typischerweise nur im sichtbaren Spektrum, nicht aber IR-Strahlung aussendet. Es handelt sich dabei um inkohärente Strahlung, nicht um Laserlicht.

In der Forschung zum Schutz vor optischer Strahlung besteht die einhellige Meinung, dass LEDs, die nur sichtbares Licht ausstrahlen, unter keinen Umständen in der Lage sind, thermische Schädigungen der Netzhaut zu verursachen. Es besteht daher eine große Diskrepanz zwischen der von der Person vermuteten Ursache und den Aussagen aus wissenschaftlichen Bewertungsverfahren. Eine in Betracht zu ziehende Möglichkeit wäre auch eine sogenannte Blaulichtschädigung (Blue light Hazard, BLH), also eine photochemische Schädigung durch kurzwellige sichtbare („blaue“) Spektralanteile. Für den sichtbaren Spektralbereich (bei Wellenlängen $< 600\text{ nm}$) besteht die Meinung der Fachleute, dass Blaulichtschädigung das kritischere Ereignis ist als thermische Schädigung.

Allerdings wird für thermische Schädigung in der EU-Richtlinie 2006/25/EG über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen künstlicher optischer Strahlung ein inzwischen veraltetes spektrales Wirkungsspektrum vorgeschrieben, das beide Schädigungsarten gleichzeitig umfasst. Was damit als „thermische Schädigung“ ermittelt wird, könnte somit auch eine Blaulichtschädigung sein. In dem Referat werden die Bewertungsgrundlagen kurz vorgestellt. Für eine, mit einer Suche bei der Fa. Osram-OS gefundene, ausschließlich im Sichtbaren strahlende LED, die derzeit das größte Schädigungspotenzial haben könnte, wurden aus den Herstellerangaben maximale Expositionszeiten berechnet, sowohl bezüglich thermischer Schädigung, Blaulichtschädigung als auch mit den Vorgaben der EU-Richtlinie.

Es zeigt sich, dass es mindestens eine blaue LED gibt, mit Peak-Wellenlänge bei 432 nm , bei der thermische Schädigung vor einer Blaulichtschädigung auftritt, wenn eine Person aus 20 cm Entfernung in diese LED blickt. Der Grenzwert für Blaulichtschädigung würde nach $0,33\text{ s}$ erreicht, der Grenzwert für thermische Schädigung wäre dann um das 2,2-fache überschritten, der Grenzwert gemäß EU-Richtlinie um das 9,2-fache. Ob aber eine LED dieser Art im betreffenden Scheinwerfer eingebaut war, wie viele davon nebeneinander, aus welchem Abstand diese betrachtet wurden und wie lange das gedauert hat, ist derzeit unbekannt. Zudem müsste für die untersuchte LED messtechnisch überprüft werden, ob die Herstellerangaben korrekt sind. Daher kann zu dem Fall noch keine endgültige Antwort gegeben werden. Andere, insbesondere weiße LEDs lassen eine thermische Schädigung nach wie vor als sehr unwahrscheinlich erscheinen, unter der Voraussetzung, dass die Netzhaut der betroffenen Person nicht anderweitig vorbelastet war.

EINFLUSS DES SPEKTRUMS AUF DIE FARBWIEDERGABEEIGENSCHAFTEN DER BELEUCHTUNG

Bieske, Karin

TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik

Mit dem Farbwiedergabeindex wird die Güte der Farbwiedergabeeigenschaft einer Lichtquelle angegeben. Standard ist die CIE-Empfehlung CIE 13.3: 1995 mit dem Farbwiedergabeindex $CIE-R_a$. Dazu werden die Farbkoordinaten für definierte Testfarben aus dem Spektrum der Lichtquelle berechnet und mit denjenigen einer Referenz bei gleicher ähnlichster Farbtemperatur verglichen. Je geringer die Farbabstände für die Testfarben zwischen Lichtquelle und Referenz sind, um so höher ist die Farbwiedergabegüte. Als Referenz werden für warme und neutrale Lichtfarben der Planck'sche Strahler und für höhere ähnlichste Farbtemperaturen Tageslichtspektren herangezogen. Die Referenzspektren zeichnen sich durch kontinuierliche Spektralverteilungen aus, die über Spektralleistung in allen Wellenlängenbereichen zwischen 380 nm und 780 nm verfügen.

Bei der Berechnung des Farbwiedergabeindex wurden in der Vergangenheit immer wieder Diskrepanzen zur visuellen Bewertung beobachtet, die vor allem im Zusammenhang mit LED-Beleuchtung auftraten. Eine neue Methode zur Evaluierung der Farbwiedergabequalität von weißen Lichtquellen ist der TM-30-20, der durch die IES veröffentlicht wurde. Sie kombiniert die Bewertung der Farbtreue mit dem Fidelity-Index R_f mit einem Gamut-Index R_g als Maß für den darstellbaren Farbumfang und die Farbsättigung. Die Werte von R_f -Index und $CIE-R_a$ basieren auf einer vergleichbaren Berechnungsgrundlage, wobei neue Erkenntnisse der Farbmeterik Anwendung finden.

Reale Lichtquellen weisen zum Teil diskontinuierliche Spektralverteilungen auf, die typisch auf hohe Lichtausbeuten optimiert sind. Lücken im Emissionsspektrum führen dazu, dass diese Spektralanteile auch bei der Reflexion oder Transmission an Oberflächen fehlen, was zu Farbunterschieden im Vergleich zur Referenz führen kann und den Farbwiedergabeindex negativ beeinflusst. Kritisch kann das bei Beleuchtung für die Farbabmusterung sein, Sehaufgaben wie sie in der Druck- oder Textilindustrie oder im medizinischen Bereich beispielsweise vorkommen.

Mit dem Einsatz von LEDs für Beleuchtungszwecke stellte sich die Frage, wie das Spektrum der Lichtquelle optimal gestaltet werden kann, dass sowohl eine hohe Lichtausbeute als auch sehr gute Farbwiedergabeeigenschaften erzielt werden. Anfangs wurden Kombinationen aus roten, grünen und blauen LEDs verwendet, um weißes Licht zu erzeugen. Lücken im Spektrum solcher Lichtquellen verfälschten jedoch auffällig Objektfarben und führen damit zu einer niedrigen Farbtreue. Aktuelle weiße LEDs kombinieren das Licht von blauen LEDs mit dem durch Leuchtstoffe konvertierten Licht. Damit ergeben sich deutlich breitere Spektralverteilungen. Die anfangs verbleibende Lücke im langwelligen Spektralbereich, wurde durch eine hybride LED-Technologie kompensiert, die leuchtstoffkonvertierte LEDs mit farbigen orange-roten LEDs in einem Modul kombiniert. Die Entwicklung neuer weißer LEDs und entsprechender Leuchtstoffe sowie Leuchtstoffgemische ist Treiber für weitere Optimierungen.

Im Vortrag werden Ergebnisse einer Untersuchung vorgestellt, in der 21 unterschiedliche Spektralverteilungen leuchtstoffkonvertierter LEDs mit verschiedenen Farbtreue- und Farb-Gamut-Indexwerten mit 34 Probanden getestet wurden. Dabei wurden die Unterschiede hinsichtlich der subjektiven Bewertung der Spektralverteilungen in ihrer Wirkung auf farbige Objekte untersucht.

Atomgenaue Gestaltung von Grenzflächen für die Umwandlung solarer Energie

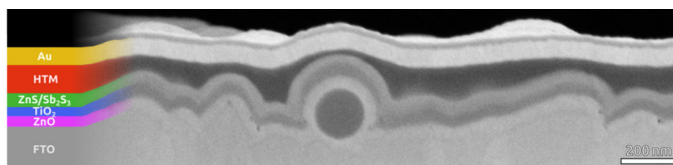
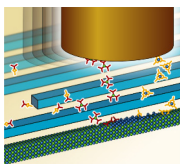
Bachmann, Julien

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Im ‚ETA‘-Konzept reicht eine extrem dünne Schicht an Licht absorbierendem Material (Engl. ‚extremely thin absorber‘), um Solarzellen von ausreichender Effizienz zu bauen. Dabei sind die Nanostrukturierung der Grenzfläche, die Auswahl der richtigen Materialien, sowie die Kontrolle der Schichtdicken entscheidend. Um diese Bedingungen räparativ zu erfüllen, eignet sich als Beschichtungsmethode die Atomlagenabscheidung (Engl. ‚atomic layer deposition‘, ALD) in einzigartiger Weise. Die ALD basiert auf die chemisch kontrollierte Ablieferung einzelner Atomlagen auf die Festkörperoberfläche und bietet folgende Vorteile:

- (1) Sie kann eine im Vergleich zu Lösungsverarbeitungstechniken deutlich verbesserte Materialqualität liefern.
- (2) Die ALD ermöglicht dem Experimentator, die Dicke der Schichten innerhalb des Halbleiterstapels systematisch zu variieren und die geometrischen Parameter zu identifizieren, die die Gesamteffizienz der Energieumwandlung optimieren.
- (3) Ferner bietet sie die Möglichkeit, Grenzflächen mithilfe von Grenzflächenschichten zu insertieren, die chemische oder physikalische Funktionen (Adhäsionsschichten, Tunnelbarrieren) mit extremer Dickengenauigkeit auf der Längenskala von 0,5 bis 1,5 nm liefern.
- (4) Sie bietet außerdem die einzigartige Fähigkeit, konforme Beschichtungen nichtplanarer Substrate zu liefern. Parallele Anordnungen zylindrischer p-i-n-Heteroübergänge in koaxialer Geometrie ermöglichen die Entkopplung der Pfadlängen für Lichtabsorption und Ladungstrennung. Geordnete Monoschichten aus Nanokugeln können genutzt werden, um Licht mit einer Energie nahe der Bandlücke zu streuen und so die Umwandlung von Licht zu verbessern, das im roten Spektralbereich und/oder unter einem schrägen Winkel einfällt.
- (5) Unsere Ausweitung der ALD auf die Verwendung von Vorläufern, die in der flüssigen Phase gelöst sind, erweitert das Spektrum der durch ALD zugänglichen Materialien. Es bietet außerdem zusätzliche experimentelle Werkzeuge zur Anpassung der Morphologie der Schicht und bietet einen kostengünstigen Zugang zur ALD.
- (6) Unsere jüngste Entwicklung der „Atomic Layer Additive Manufacturing“ (ALAM) umgeht die Einschränkungen, die mit herkömmlichen Methoden zur flächendeckenden Schichtung verbunden sind. Sie öffnet die Tür zu Rapid-Prototyping-Ansätzen im Photovoltaikbereich, die den Einsatz von 3D-Druck in der Fertigung widerspiegeln.

Jede große Familie an Materialansätzen im Photovoltaik Bereich ist mit bestimmten Verarbeitungsverfahren verbunden. Unsere Forschung zeigt, dass die ALD alle für den Erfolg der ETA-Zellen erforderlichen Zutaten liefert. Moleküle fungieren dabei als die programmierbaren Fertigungsroboter, die ultimativ kleinen Bauteile präzise platzieren.



Alterung von Mikroplastik in der Umwelt: Eine systematische Photolyse Studie, um Freisetzungsraten von sekundärem Mikro-, und Nanoplastik, sowie wasserlöslicher Organik zu bestimmen

Dr. Pfohl, Patrizia

BASF SE

Für die Risikoabschätzung von Mikroplastik in der Umwelt ist es erforderlich, ein mechanistisches Verständnis zum Abbau und der Fragmentierung von freigesetzten Partikeln zu erlangen. Abhängig von den Umgebungsbedingungen erfährt Mikroplastik in der Umwelt verschiedene Stressoren, die zur Polymeralterung und Fragmentierung führen können. Dazu zählen unter anderem UV-Licht, erhöhte Feuchtigkeit, erhöhte Temperatur und Enzyme.¹

Photolyse-Reaktionen sind bekannt dafür, einen starken Einfluss auf die Polymer-Alterung zu haben. Materialforscher analysieren daher schon seit Jahren die Auswirkungen von UV-Alterung auf die chemischen und mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen, Mikroplastikforscher erweitern dieses Wissen um die Untersuchung der Fragmentierung.^{2,3} Die Bestimmung von Freisetzungsraten sekundärer Mikro- und Nanoplastikpartikel, sowie niedermolekularer Organik ist hierfür essenziell, jedoch werden in vielen Studien nur ein Alterungsprotokoll und wenige Polymerarten untersucht.

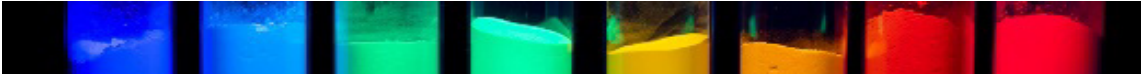
Für diese systematische Studie haben wir drei Photolyse-Protokolle an 5 Mikroplastik-Arten (HIPS, LDPE, PP, PA-6, TPU) durchgeführt, bei welchen die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit und die UV-Dosis variiert wurden. Mit verschiedenen Analytik-Methoden wird die dosisabhängige und größenselektive Freisetzung von niedermolekularer Organik, Mikro- und Nanoplastik Fragmenten quantifiziert. Die chemische Zusammensetzung der Mikroplastik-Partikel hatte hierbei eine größere Auswirkung auf die Art und Menge der freigesetzten Spezies als die Variation der getesteten Alterungsprotokolle. Die experimentell generierten Daten werden derzeit für die Parametrisierung des mechanistischen Fragmentierungs-modells FRAGMENT-MNP genutzt.⁴

¹ Andrady, A. L. *The plastic in microplastics: A review. Marine Pollution Bulletin* **119**, 12-22 (2017).

² Pfohl, P., Wagner, M., Meyer, L., Domercq, P., Praetorius, A., Hüffer, T., Hofmann, T. & Wohleben, W. *Environmental Degradation of Microplastics: How to Measure Fragmentation Rates to Secondary Micro- and Nanoplastic Fragments and Dissociation into Dissolved Organics. Environ Sci Technol* **56**, 11323-11334, doi:10.1021/acs.est.2c01228 (2022).

³ Menzel, T., Meides, N., Mauel, A., Mansfeld, U., Kretschmer, W., Kuhn, M., Herzig, E. M., Altstadt, V., Strohriegel, P., Senker, J. & Ruckdaschel, H. *Degradation of low-density polyethylene to nanoplastic particles by accelerated weathering. Sci Total Environ* **826**, 154035, doi:10.1016/j.scitotenv.2022.154035 (2022).

⁴ Harrison, S., Lopez, B. & Wiesner, M. FRAGMENT-MNP [Computer software] <https://github.com/microplastics-cluster/fragment-mnp>, 2024).



UV-Leuchtstoffe: Zukunft oder Vergangenheit?

Dr. Dominik Uhlich

Leuchtstoffwerk Breitung GmbH, Lange Sömmе 17 in 98597 Breitung

In den letzten Jahrzehnten hat es im Bereich der UV-Quellen eine Vielzahl von technologischen und regulatorischen Veränderungen gegeben. Dies führt auch bei der Entwicklung und Herstellung von UV-Leuchtstoffen stets zu neuen Herausforderungen.

UV-Strahlung spielt in vielen medizinischen, kosmetischen und technischen Bereichen auch heute noch eine wichtige Rolle. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher UV-Lichtquellen über die Quecksilberentladungslampen, Excimer-Lampen bis hin zu UV-LEDs.

UV-Leuchtstoffe kommen immer dann ins Spiel, wenn das UV-Spektrum gezielt auf eine bestimmte Anwendung oder besonderes Optimum eingestellt werden soll. Der Vortrag gibt Einblicke in die großtechnische Herstellung und Stabilisierung von UV-Leuchtstoffen, sowie deren Anwendungsfelder.

UV Strahlung in der Gesellschaft – Chancen, Risiken und damit verbundene Messapplikationen

Gross, Andreas

Gigahertz Optik GmbH

Die Anzahl der Applikationen von UV Quellen hat innerhalb der vergangenen Jahre einen starken Anstieg erfahren. Einerseits gibt es eine Vielzahl an technischen Anwendungen, die sich die Eigenschaften von UV Strahlung zunutze machen. Hierzu zählen Druckmaschinen (Nutzung von UV Quellen zur schnellen Trocknung der Tinte), Klebprozesse (beschleunigte Klebstoffaushärtung durch UV Strahlung), Zahnmedizin (Aushärtung von Zahnersatzmaterialien) und viele mehr.

Neben dieser äußerst nützlichen Wirkung von UV Quellen bergen diese gleichzeitig aber auch Gefahren. Wird der Mensch zu hohen Strahlungsdosen ausgesetzt kann dies zu Verbrennungen, Schädigung des Augenlichts, Hautkrebs und weiteren unerwünschten Nebenwirkungen führen. Um diese Arten der Gefährdung besser quantifizieren zu können bieten verschiedene Normen und Richtlinien (z.B. DIN EN 62471) Richtwerte in Form von maximalen Tagesdosen.

Hieraus ergibt sich eine ganze Bandbreite an messtechnischen Anwendungen, die äußerst vielfältige Anforderungen an Messgeräte stellt. Einige Beispiele werden im Rahmen dieses Vortrags diskutiert.

Ein weiteres Thema, in dessen Kontext UV Strahlung und insbesondere UV-C Strahlung intensiv diskutiert wurde, ist der Einsatz von UV-Strahlungsquellen zum Zweck der Entkeimung. Gerade im Fall von UV-C Strahlung um 222 nm liegt eine auf Keime stark schädigende Wirkung vor. Die menschliche Haut wirkt gleichzeitig als Barriere, die den Menschen vor einer Schädigung schützt. Dennoch muss der massive Einsatz von UV-C Entkeimungsgeräten und -anlagen in Gegenwart des Menschen kritisch betrachtet werden, da es weitere Schädigungsvektoren gibt, die in Betracht gezogen werden müssen (z.B. Wirkung von UV-C Strahlung auf Augen, Schädigung des Mikrobioms der Haut).

Eine Folge der Covid-19 Pandemie war eine ganze Schwemme an Luftentkeimungsanlagen, die in kürzester Zeit auf den Markt gebracht wurden, ohne dass deren potentiellen nützlichen wie schädlichen Auswirkungen im Vorfeld vollständig erfasst werden konnten. Zudem unterschied sich die Wirksamkeit der einzelnen Geräte deutlich voneinander und auch der Aspekt des Strahlenschutzes war nicht in allen Fällen hinreichend gegeben. Aus diesem Grund wurde anhand einer Auswahl verschiedenster Geräte eine Studie [1] durch das Bundesamt für Strahlenschutz in Auftrag gegeben und durch Gigahertz-Optik ausgeführt. Die Ergebnisse dieser Studie werden ebenfalls Thema des Vortrags sein.

[1] Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter Geräte mit UV-Strahlenquelle zur Desinfektion von Raumluft und Oberflächen: Abschätzung von Risiken für das Auge und die Haut - Vorhaben 3622S72478, Allnoch et. al., Bundesamt für Strahlenschutz (2024); <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2024041943044>

UV-C LEDs – Verbesserung der externen Quanteneffizienz und Systemeffizienzen

Vortragender Wilm, Alexander

ams OSRAM - ams-OSRAM International GmbH

Die Verwendung von ultraviolett (UV-C) Licht zur Desinfektion ist seit vielen Jahrzehnten eine gängige Praxis. In den letzten Jahren hat die Entwicklung der UV-C-LED-Technologie eine vielversprechende Alternative zu den herkömmlichen Quecksilber-Niederdrucklampen geschaffen. Einer der am meisten beachteten Parameter der UV-C-LED-Technologie ist die externe Quanten- oder Wall-Plug-Effizienz.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die jüngsten Fortschritte und Aussichten bei der Entwicklung von UV-C-LEDs und konzentriert sich dabei auf die externe Quanteneffizienz und die Lebensdauer bei verschiedenen Wellenlängen, die für keimtötende Anwendungen geeignet sind. Die Robustheit von UV-C-LEDs verbessert sich ebenfalls erheblich, und Tests gemäß der AEC Q102-Spezifikation für die Automobilindustrie wurden erfolgreich bestanden.

Neben den reinen LED-Parametern gibt es weitere Faktoren und Merkmale, die die Systemeffizienz von UV-C LED-basierten Desinfektionsgeräten beeinflussen. Beispiele zeigen die großen Unterschiede in der Systemeffizienz zwischen herkömmlichen Lampen und LED-basierten Systemen.

Die großen Fortschritte in der Entwicklung von UV-C-LEDs in den letzten Jahren rechtfertigen einen optimistischen Ausblick auf einen Ersatz der konventionellen Quecksilber-Niederdrucklampen in den kommenden Jahren.

UVC-LEDs im Aufbruch: Skalierung der Entkeimung von klein nach groß

Winderlich, Jan

Excelitas Noblelight GmbH

Der Vortrag widmet sich der UVC-Entkeimungstechnologie mit dem besonderen Augenmerk auf die Integration und Skalierung von UVC-LEDs in einer Vielzahl von Entkeimungsanwendungen. Traditionelle Quecksilberdampflampen dienen in vielen Bereichen als verlässliche Lichtquellen für die UVC-basierte Entkeimung. Deren charakteristischen Eigenschaften werden anwendungsspezifischen Vorteilen von UVC-LEDs gegenübergestellt, wie etwa die sofortige Schaltbarkeit, hohe Effizienz und Wellenlängenanpassung.

Im Bereich der Luftdesinfektion bieten UVC-LEDs die Möglichkeit mit sehr geringen Emissionswinkeln ganz gezielt ohne Streustrahlung bestimmte Raumbereiche sehr effizient auszuleuchten. Die Oberflächendesinfektion in der Lebensmittelindustrie profitiert von der schnellen Schaltbarkeit und der Formflexibilität der UVC-LED-Leuchtf Flächen.

Vor allem im Bereich der Wasserentkeimung zeigt sich die Skalierbarkeit von UVC-LEDs. Heute dominieren Anwendungen mit wenigen LEDs, die durch gezielte, punktuelle Entkeimung und kurze Einschaltzeiten bestimmt sind. Mit steigender verfügbarer Leistung und Leistungsdichte der UVC-LEDs ebnet der Technologiefortschritt den Weg für den zukünftigen Einsatz in großtechnischen Anwendungen wie Wasserkraftwerken und Abwasserbehandlungsanlagen.

Die weitere Entwicklung in der Halbleitertechnik ermöglicht steigende Effizienz bei sinkenden Kosten. Es wird dargestellt, dass der Einsatz der UVC-LED-Technologie nicht nur von sinkenden Stückkosten profitiert, sondern vor allem auch durch die spezifischen Betriebseigenschaften verschiedenste Entkeimungsanwendungen erobert.

Effekte von Fern-UV-C Strahlung auf Haut und Mikroben

Schleusener, Johannes

Charité – Universitätsmedizin Berlin, Corporate Member of Freie Universität Berlin and Humboldt-Universität zu Berlin, Klinik für Dermatologie, Venerologie und Allergologie, Center of Experimental and Applied Cutaneous Physiology (CCP)

UVC-Bestrahlung ist ein effektives Mittel zur Bekämpfung multiresistenter Keime. Die klassische UVC-Bestrahlung bei 254 nm verursacht jedoch starke Schädigung an Haut und Augen und kann daher nur in Abgeschlossenen Räumen in Abwesenheit von Menschen, z.B. zur Wasser-, Raum- oder Oberflächendesinfektion, angewendet werden. Fern-UVC-Strahlung mit einer Emissionswellenlänge von ≤ 240 nm wird in der obersten Hornschicht der Haut so stark absorbiert, dass sie nur wenige μm tief eindringt [1] und daher allenfalls vernachlässigbare Schäden verursacht.

Für Dosen von 40–60 mJ/cm² konnte die Effiziente Eradizierung von MRSA und MSSA [2], sowie von Pilzsporen [3] nachgewiesen werden. Dafür wurde eine Entladungslampe bei 222 nm und eine neu entwickelte Fern-UVC-LED-Strahlungsquelle mit einer Emissionswellenlänge von 233 nm verwendet. Bei den angewendeten Dosen der Fern-UV-C-Bestrahlung zeigten sich an Hautmodellen in vitro, sowie humaner Haut ex vivo und erstmals in vivo nur vernachlässigbare oberflächliche DNA-Schäden, die stets geringer waren als für 10% einer minimalen Erythemdosis (leichter Sonnenbrand) bei UVB-Bestrahlung. Durch enzymatische Reparaturmechanismen waren die Schäden 24 h nach Bestrahlung größtenteils repariert. In vivo jedoch zeigte sich ein akkumulierender Effekt nach viermaliger Bestrahlung mit 233 nm alle 24 h. Aufgrund einer fehlenden Hornschicht, zeigen Untersuchungen an Haut mit induzierten Wunden, sowie Schleimhaut ex vivo erhöhte DNA-Schädigung, die Eindringtiefe ist jedoch auch hier durch proteinhaltige Mucus und Wundsekretschicht begrenzt [4]. In der obersten Cornea-Schicht des humanen Auges zeigte sich ex vivo eine starke Schädigung im Epithel, im Stroma Supraendothelial hingegen war die Schädigung vernachlässigbar. Zusammenfassend zeigte sich, dass die 222 nm Strahlung weniger Schäden in der Haut und Augen verursacht und die 233 nm wirkungsvoller bei Mikroben ist.

Die Ergebnisse zeigen damit die grundsätzliche Möglichkeit zur Dekontamination in Räumen in Anwesenheit von Menschen oder für medizinische antiseptische Anwendungen.

[1] Zamudio Díaz DF, Klein AL, Guttman M, et al.; *Skin optical properties from 200 to 300 nm support far UV-C skin-safety in vivo*, *J Photochem Photobiol B*. 2023 Oct;247:112784. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2023.112784

[2] P. Zwicker, J. Schleusener, S.B. Lohan, et al.; *Application of 233 nm far-UVC LEDs for eradication of MRSA and MSSA and risk assessment on skin models*, *Scientific Reports*, Volume 12, 2587 (2022). DOI: 10.1038/s41598-022-06397-z

[3] J. Schleusener, SB Lohan, L. Busch, et al.; *Treatment of the Candida subspecies Candida albicans and Candida parapsilosis with two far-UVC sources to minimise mycoses in clinical practice*. *Mycoses*. 2023 Jan;66(1):25-28. doi: 10.1111/myc.13521

[4] J. Schleusener, S.B. Lohan, L. Busch, et al.; *Irradiation of human oral mucosa by 233 nm far-UVC LEDs for the safe inactivation of nosocomial pathogens*. *Scientific Reports* 13(1):22391 (2023). DOI: 10.1038/s41598-023-49745-3r

Fern-UVC-LEDs: Stand, Herausforderungen und Perspektiven

Einfeldt, Sven

Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH), Berlin

Fern-UVC-LEDs mit Peakemissionswellenlängen unter 235 nm sind nicht mehr nur als Forschungsmuster, sondern mittlerweile von einigen Herstellern auch als kommerzielles Produkt erhältlich. Ihre Leistungsfähigkeit ist zwar noch nicht mit der von UVC-LEDs längerer Wellenlänge (260-280 nm) vergleichbar, jedoch können mit diesen Bauelementen schon jetzt eine ganze Reihe interessanter Anwendungen bedient werden. Fern-UVC-LEDs ermöglichen über Absorptionsspektroskopie den Nachweis umweltrelevanter Substanzen wie die Schadgase Stickoxid oder Schwefelwasserstoff z. B. in Kraftwerken, auf Schiffen oder an Autos, Nitrat in Oberflächen- oder Grundwasser sowie ausgewählte Schwermetalle. Außerdem wird weltweit intensiv daran geforscht, Fern-UVC-Strahlung zur Desinfektion direkt am Menschen einzusetzen. Ausreichend kurzwellige UVC-Strahlung dringt nur wenig in die Haut ein. Sie wird überwiegend in der obersten toten Hornhautschicht bzw. in Biofilmen auf der Haut absorbiert. Insofern kann Fern-UVC-Strahlung Mikroorganismen wie u. a. multiresistente Erreger direkt beim Menschen inaktivieren, ohne nennenswerte gesundheitliche Schäden zu verursachen.

In dem Vortrag werden die jüngsten Fortschritte bei der Optimierung der Effizienz und Lebensdauer von Fern-UVC-LEDs vorgestellt, Ausblicke auf weitere Entwicklungen gegeben und Quervergleiche zu anderen Fern-UVC-Strahlungsquellen wie Excimer- oder Induktionslampen gezogen. Der Schwerpunkt liegt auf dem Design der Halbleiterschichtstruktur wie der aktiven, lichtemittierenden Region und der p-Seite der Diode und deren Herstellungsbedingungen sowie auf dem Layout des LED-Chips [1,2]. Durch den Vergleich mit Nah-UVC- und UVB-LEDs werden auch allgemeine Schlussfolgerungen zu Degradationsmechanismen in UV-LEDs gezogen und Strategien zu deren Minimierung aufgezeigt. Weiterhin wird diskutiert, welche Chip-Packaging-Konzepte geeignet sind, um Fern-UVC-LEDs mit spektralen Filtern zu kombinieren und effizient parasitäre langwellige Emission zu unterdrücken [3]. Schließlich werden Fern-UVC-LED-Systeme für die Bestrahlung spezifischer Bereiche des menschlichen Körpers vorgestellt und deren Leistungsfähigkeit anhand ausgewählter medizinischer und biologischer Daten illustriert [4,5].

[1] T. Kolbe et al. „234 nm far-ultraviolet-C light emitting diodes with polarization doped hole injection layer“, *Appl. Phys. Lett.* 122, 191191 (2023).

[2] J. Rass et al. „Enhanced light extraction efficiency of far-ultraviolet-C LEDs by micro-LED array design“, *Appl. Phys. Lett.* 122, 263508 (2023).

[3] M. Guttman et al. „Spectrally pure far-UVC emission from AlGaIn-based LEDs with dielectric band pass filters“, *J. Appl. Phys. D: Appl. Phys.* 55, 205105 (2022).

[4] J. Glaab et al. „Skin-tolerant inactivation of multi-resistant pathogens using far-UVC LEDs“, *Scientific Reports* 11, 14647 (2021).

[5] P. Zwicker et al. „Application of 233 nm far-UVC LEDs for eradication of MRSA and MSSA and risk assessment on skin models“, *Scientific Reports* 12, 2587 (2022).

Praseodymium Substituted Calcium Pyrophosphate Polymorphs as UV Emitting Phosphors

Tim Pier and Thomas Jüstel

*Department of Chemical Engineering, FH Münster University of Applied Sciences, Steinfurt,
D-48565, Germany*

E-mail: timpier@fh-muenster.de, tj@fh-muenster.de

Among the trivalent lanthanides praseodymium is regularly exploited for its unique optical properties arising from a combination of intra- and interconfigurational transitions that stretch from the ultraviolet to the infrared range. Phosphates as wide band gap materials provide the necessary optical properties to realize deep UV emitting phosphors when doped by a suitable activator. Calcium pyrophosphate ($\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$) with its three crystallographically distinguished modifications presents a potentially interesting host lattice with excellent biocompatibility [1,2]. Therefore, in this study two of the three praseodymium doped modifications ($\alpha\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ and $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$) are investigated in regards to their optical properties. The luminescent characteristics of the samples were studied dependent on the activator concentration and temperature. Comparisons between the similarly doped phases revealed significant differences allowing elucidation of the structure-property relations between the Pr(III)-activator and the pyrophosphate host structure.

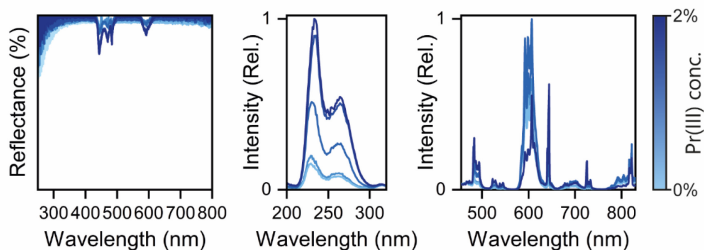


Figure 1: Optical properties of a $\beta\text{-Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ doping series (Pr(III) concentration: 0 – 2 %). Diffuse reflectance spectra against BaSO_4 (left), emission spectra upon 160 nm VUV-excitation (middle), and emission spectra in the visible range upon 443 nm excitation (right).

References

- [1] W. Habraken, P. Habibovic, M. Epple, M. Böhner, Calcium phosphates in biomedical applications: Materials for the future?, Mater. Today 19 (2016) 69.
- [2] E.G. Komarova, M.B. Sedelnikova, A.M. Kondranova, S.O. Kazantsev, Y.P. Sharkeev, Development of calcium phosphate coatings with refulated porous structure as drug carrier systems, J. Phys.: Conf. Ser. 1281 (2019) 12037.

Lichtsimulationen am POF-AC Nürnberg

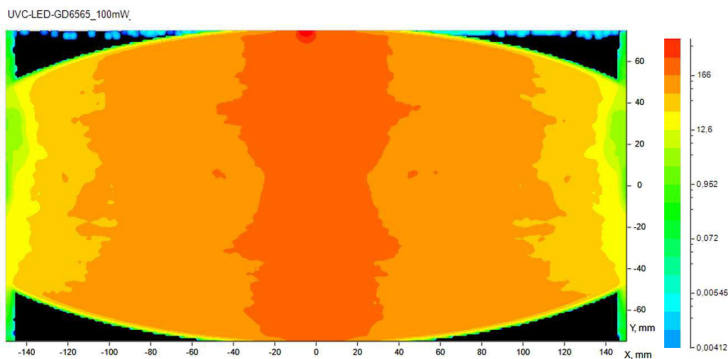
Autoren: Olaf Ziemann, Martin Bloos, Alexander Bachmann

Abstract:

Optische Technologien sind heute aus kaum einem Bereich der Technik mehr wegzudenken. Datenkommunikation, Sensorik, Materialbearbeitung und Beleuchtung sind da nur einige Beispiele. Speziell die Entwicklung der blauen LED seit deren ersten Realisierung durch Nakamura 1993 zeigt den aktuellen Fortschritt bei den optischen Lichtquellen. Um Licht effizient zu nutzen wird aber auch die Simulation optischer Komponenten und Systeme immer wichtiger.

Das POF-AC der TH Nürnberg befaßt sich seit seiner Gründung 2001 mit den verschiedensten Anwendungen von Licht. Neue Sensorprinzipien auf Basis von optischen Fasern, diverse Weltrekorde für Datenübertragung auf optischen Fasern und der „Sollektor“ für die Nutzung von Sonnenlicht sollen einige Beispiele der Aktivitäten sein.

Immer sind diese Ideen mit optischen Simulationen verbunden. In der Corona-Krise entwickelte das POF-AC eine Luftdesinfektion mit UV-LED. Durch eine optimierte Krümmung der reflektierenden Oberflächen konnte das (knappe) UV-Licht vielfach genutzt und gleichzeitig der Lichtaustritt minimiert werden. Bild 1 zeigt dazu eine Simulation (BPM).



Im hier vorgeschlagenen Poster sollen die Möglichkeiten zur Optik-Simulation mit modernen Tools vorgestellt werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Anwendungen von LED-Licht- quellen mit verschiedenen Wellenlängen.

NOTIZEN

www.dafp.de

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

Matthias Menz - Schatzmeister der DAfP e.V.

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

Bildnutzung mit freundlicher Genehmigung der Stadt Jena. Foto:
JenaKultur, C. Häcker, R. Möbius bzw. Ch. Schmid
JenaParadies, R. Möbius bzw. Ch. Schmid