



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

Gesellschaft für technische und medizinische
Anwendungen optischer Strahlung



23. Symposium mit Workshop

**LED –
Innovative Anwendungen in
Industrie & Pflanzenanbau**

Lübeck 08.06.2018

Vortragsmappe

Inhalt

Vorträge

Prof. Dr. Jan Werner, FGH Höhr-Grenzhausen/HS Koblenz Optokeramische Konverter für LEDs – Status und Ausblick	2
Prof. Dr. Christoph Schierz, TU Ilmenau Schädigung des Auges durch sichtbares Licht?	3
Dr. Daiyu Hayashi, Philips Eindhoven LED- und Laser-Lichtquellen für Medizin, Lebensmittel und Sicherheit	4
Dr. Günther Leschhorn, Instrument Systems GmbH Messungen von LEDs im Labor und in der Produktion	5
Thorsten Gerloff, PTB, AG 4.15 Photometrie Entwicklung und Kalibrierung Von LED-Lichtstärkenormalen	6
Prof. Dr. Dr. Jürgen Lademann, Charité – Universitätsmedizin Berlin SPF-Bestimmung von Sonnenschutzmitteln mit UV-LED	7
Dr. Rainer Kling, KIT LTI, Karlsruhe UV-LEDs: Betrieb und Anwendungen	8
Andreas Renzel, uv-technik meyer gmbh UV-induzierte Beschichtung von Oberflächen	9
Prof. Dr. Reimund Goss, Universität Leipzig Puls-Amplituden-Modulations-Fluoreszenzspektroskopie zur Messung der Photosynthese bei Pflanzen	10
Prof. Dr. Dr. h.c. Donat-P. Häder, Uni Erlangen Schutz vor UV Strahlung bei Algen (und Menschen)	11
Dr. rer. nat. Melanie Wiesner-Reinhold, Leibniz Institut f. Gemüse- u. Zierpflanzenbau, Grossbeeren Struktur-spezifische Induktion von Sekundärmetaboliten in Grün-/rotblättrigen Gemüsesorten durch UVB-LEDs	12
Poster	
M.Sc. Michael Heidinger, KIT LIT, Karlsruhe LED Parallelschaltungs-Controller	13
M.Sc. Mike Broxtermann, FH Münster Über die Anwendung Leuchtstoffkonvertierter Xe-Excimer Entladungslampen in der Wasserbehandlung und Desinfektion – Chancen und Herausforderungen	14
M.Sc. Tonia Schmitz, Bauhaus-Universität Weimar Erprobung einer neuartigen Lichtquelle in der Makroalgenzucht	15
M.Sc. Jana Stelzner, Universität Kiel Chlorogenic acid as UVA screens in sunflower leaves	16

Optokeramische Konverter für LEDs – Status und Ausblick

Prof. Dr. Jan Werner, FGK – Forschungsinstitut Glas/Keramik GmbH, Höhr-Grenzhausen

Licht emittierende Dioden (LEDs) verfügen über eine lange Lebensdauer und hohe Effizienz. Konventionelle Weißlicht-LEDs bestehen in der Regel aus einem LED-Halbleiterchip, dessen Licht mittels in Polymere eingebetteter Leuchtstoffe umgewandelt wird. So kann z.B. das blaue Licht eines InGaN-Chips mit einer Wellenlänge von z.B. 465 nm einen Leuchtstoff, z.B. Ce-dotierten Yttrium-Aluminium-Granat (YAG:Ce, $Y_{3-x}Ce_xAl_5O_{12}$), zur Emission breitbandigen gelben Lichts mit einem Peak-Maximum bei ca. 550 nm anregen (Abb.1). Sofern ausreichend nicht konvertiertes blaues Licht das leuchtstoffgefüllte Polymer durchdringt, ergibt sich durch Kombination der spektralen Anteile ein kaltweißes Licht von > 4.000 K (Abb. 2). Die Verwendung anderer Leuchtstoffe erlaubt mittlerweile auch die Erzeugung warmweißen Lichts.

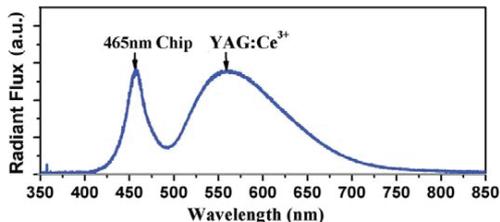


Abb. 1: Gesamtemissionsspektrum einer blauen LED in Kombination mit einem gelben Leuchtstoff-Konverter, hier: YAG:Ce³⁺.



Abb. 2: Schema der Erzeugung kaltweißen Lichts auf Basis einer blau emittierenden LED und eines gelb emittierenden keramischen Konverters.

Bei Substitution leuchtstoffgefüllter Polymere durch lichtdurchlässige keramische Konverter lassen sich insbesondere bei leistungsstarken LEDs auftretende thermische Degradationserscheinungen der wenig hitzebeständigen organischen Materialien vermeiden, was sich positiv auf die Farbwiedergabe und Farbstabilität auswirkt. Weiterhin ermöglichen die polykristallinen Konverter eine sehr gleichmäßige Verteilung der Leuchtstoffe bei definierter Schichtdicke und ermöglichen damit auch eine besonders homogene Beleuchtung. Eine gewisse Restporosität zur Erzielung genügender Streuung kann hierbei durchaus von Vorteil sein und im Rahmen des keramischen Herstellungsprozesses gezielt eingestellt werden. Durch die hohe chemische, mechanische und thermische Stabilität und im Vergleich mit Polymeren gute Wärmeleitfähigkeit keramischer Materialien lassen sich diese auch als Down-Konverter für UV-LEDs einsetzen und erschließen damit neuartige Anwendungspotentiale.

Im Rahmen des Vortrages wird der aktuelle Stand der Technik der keramischen Fertigung polykristalliner Konverter für LED-Anwendungen aufgezeigt sowie neuartige Konzepte und Herausforderungen in Forschung und Entwicklung.

Schädigung des Auges durch sichtbares Licht?

Ins Auge gelangende optische Strahlung (UV, VIS, IR) von intensiven Lichtquellen (z. B. LED-Scheinwerfer) kann die Netzhaut gefährden. Eine solche photobiologische Schädigung entsteht hauptsächlich durch den sichtbaren kurzwelligen „blauen“ Anteil im Lichtspektrum. Sie wird *Blue-Light-Hazard* (BLH) genannt. Inzwischen erhärtet sich aber der Verdacht, dass über Jahrzehnte hinweg die viel geringeren, in der Beleuchtungspraxis vorkommenden Strahldichten zur *altersbedingten Makuladegeneration* (AMD) beitragen können. Möglicherweise wirken dieser Gefährdung aber die langwelligen „roten“ Anteile des Spektrums reparierend entgegen.

Blue-Light-Hazard (BLH)

BLH ist eine direkte photochemische Schädigung, bei der photoinstabile Moleküle in der Netzhaut durch kurzwelliges Licht verändert werden. Zellen des retinalen Pigmentepithels (RPE) und der Photorezeptoren werden dadurch in ihrer Funktion beeinträchtigt oder sogar zerstört. BLH entsteht bei relativ hohen Intensitäten und kurzen Expositionszeiten (Minuten, Stunden). Dies im Gegensatz zum möglichen Lichteinfluss auf die AMD, mit über Jahre hinweg kumulierten geringen Intensitäten (s. u.).

Je länger eine Stelle der Netzhaut bestrahlt wird, desto größer ist dort das Risiko für eine Schädigung. Im Alltag werden aber die Augen und/oder der Kopf nach kurzer Zeit so weit bewegt, dass die Bestrahlung dieser Netzhautstelle unterbrochen und dafür eine andere Stelle belastet wird. Daher gibt es keine einfache umgekehrte Proportionalität zwischen Expositions-dauer und Strahldichtegrenzwert. In den Messnormen wird dies durch eine Vergrößerung des Messwinkels mit zunehmender Expositionszeit berücksichtigt. Die spektral BLH-bewertete Strahldichtedosis darf gemäß EU Richtlinie 2006/25/EG den Basisgrenzwert von $1 \text{ MW s m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ nicht überschreiten. Grundlätze dieser Grenzwerte sind u. a. Studien an Affen und Kaninchen.

Altersbedingte Makuladegeneration (AMD)

Die durch AMD bedingte Sehbeeinträchtigung des zentralen Gesichtsfeldes beginnt ab einem Alter von etwa 50; etwa ein Viertel der Bevölkerung mit Alter über 65 ist davon betroffen. Sie ist eine Erkrankung der Photorezeptoren, des RPE, der Bruch-Membran und der Aderhaut. Das RPE ist an der Regeneration der Photopigmente beteiligt, die in den Photorezeptoren infolge absorbierter Lichtquanten den Sehprozess in Gang setzten und dadurch „verbraucht“ wurden. Zellorganellen (Lysosomen) beseitigen die dabei entstandenen Abbauprodukte im RPE. Klinisch ist eine beginnende AMD daran erkennbar, dass sich Materialablagerungen, sogenannte Drusen zwischen dem RPE und der Bruch-Membran bilden. Die Bildung von Drusen wird unter anderem durch das Abbauprodukt Lipofuscin in den Lysosomen begünstigt.

Mit zunehmendem Alter findet eine nahezu lineare Zunahme von Lipofuscin in Form von Granulaten statt, weshalb sie auch „Alterspigment“ genannt werden. Lipofuscin ist potentiell schädlich, da es als Photosensibilisator wirkt und bei Licht mit kurzen „blauen“ Spektralanteilen freie Radikale innerhalb des RPE erzeugt. Der von den Radikalen ausgeübte oxidative Stress kann Moleküle verändern und damit retinale Pigmentepithelzellen zerstören, was auch eine Schädigung der Rezeptoren zur Folge hat.

Gemäß vereinzelt berichteten Erfolgen der sog. Photobiomodulation, scheint die Bestrahlung aus dem langwelligen „roten“ und nahen IR Spektralbereich der Entwicklung von AMD entgegen zu wirken. Das würde auch erklären, warum Sonnenlicht unbedenklicher ist als Strahlung mit gleichen Anteilen monochromatischen kurzwelligen Lichts. Die rote bzw. NIR Strahlung wirkt nicht thermisch, sondern über die Absorption im COX-Protein, einem Teilkomplex der Atmungskette in den RPE-Zellen. Die Atmungskette reduziert Sauerstoff und wirkt dadurch dem oxidativen Stress in den Zellen entgegen. An Zellkulturen konnte dafür ein erstes Wirkungsspektrum mit vier Maxima im roten und IR-Bereich gezeigt werden.

LED- und Laser-Lichtquellen für Medizin, Lebensmittel und Sicherheit

Daiyu Hayashi

Philips Forschungslabor Eindhoven

High Tech Campus 34, 5656AE, Eindhoven, die Niederlande

Dank der weiteren Entwicklung in Solid-State Lighting, ist die technologische Plattform für die Lichterzeugung in sichtbaren Wellenlängen bereits etabliert. Lichtquellen wie sub-mm-Große LEDs bis Hoch-Helligkeit Laser-Scheinwerfer sind vorhanden, deren Applikationen für die vielfältige Beleuchtungszwecke nun das Hauptthema von Lichtindustrien sind. Solid-State-Lighting ermöglichte den Leuchtmitteln die folgenden Durchbrüche: (1) Freiheit im Formfaktor, (2) Freiheit in Wellenlänge (3) Niederspannungsbetrieb und (4) leichteres Heat-Management. Diese öffnen neue Anwendungsfelder jenseits von den Beleuchtungen („Light beyond illumination“), unter denen Medizin, Lebensmittel und Sicherheit ein großes Entwicklungspotenzial haben. Dabei ändert sich, im Vergleich zu den allgemeinen Beleuchtungen, der benötigte Wellenlängenbereich des Leuchtmittels drastisch. Menschliches Gewebe absorbiert Licht stark in UV bis blau und in Nahinfrarot, womit das Licht für Diagnostik und für therapeutische Zwecke verwendet werden kann. Außer der photosynthetischen Absorption beim Chlorophyll, absorbiert z.B. Glukose im Pflanzen Infrarotlicht in 1.6 - 2.5 μm . Die Reflektion des Infrarotlichts von einem Objekt wird als Sicherheitsmassnahme schon verwendet. Nicht alle Lichtquellen mit den obengenannten Eigenschaften stehen bis jetzt zur Verfügung. Dank neuer Leuchtstofftechnologien im Infrarotbereich werden gut geeignete Lichtquellen für Medizin, Lebensmitteln und Sicherheit demnächst auftauchen. Es gibt aber viele offene Frage: wie groß der Bedarf der Lichtintensität, die Zeitdauer und Wiederholung der Bestrahlung und der Nachweis der Wirkungen sein wird. In den kommenden Jahren wird es notwendig, die Licht-basierte Behandlung in Medizin, Lebensmitteln und Sicherheit wissenschaftlich nachzuweisen.

MESSEN VON LEDs IM LABOR UND IN DER PRODUKTION

DR. GÜNTHER LESCHHORN

LEITER PRODUKTMANAGEMENT

INSTRUMENT SYSTEMS GMBH

Die präzise Vermessung von LEDs ist für die gesamte relevante Industrie unerlässlich und aufgrund ihrer Komplexität eine Herausforderung. Die Charakterisierung von LEDs im Laborbereich unterstützt die Entwicklung und/oder die Qualitätskontrolle von Leuchtdioden. Ebenso werden Spezifikationen und Grenzwerte bei diesen Labormessungen festgelegt.

Der Herstellungsprozess von LEDs unterliegt technischen Schwankungen. Ohne zum Teil mehrfache Messung in der Produktionslinie und der damit verbundenen Sortierung (binning), würde das menschliche Sehsystem starke Unterschiede im finalen Produkt und in der finalen Applikation von LEDs feststellen.

Dieser Vortrag beschäftigt sich mit den grundlegenden optischen Messmethoden für LEDs. Photometrische und radiometrische Messgrößen, sowie die verwendeten Farbmetriken werden eingeführt. Ebenso werden die Anforderungen an das Messsystem diskutiert, um ein grundlegendes Verständnis für die Herausforderungen der Vermessung von LEDs zu schaffen. Messsysteme, die in der Produktion von LEDs eingesetzt werden, unterliegen weiteren speziellen Anforderungen. Bei dieser Applikation stehen neben der Geschwindigkeit der Tests (units per hour) auch die Genauigkeit und die Vergleichbarkeit (line-to-line und fab-to-fab) der Messung im Vordergrund.

Entwicklung und Kalibrierung von LED-Lichtstärkenormalen

Thorsten Gerloff, Christian Schrader, Mario Taddeo, Stefan Pendsa und Armin Sperling

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

Klassische photometrische Messungen basieren auf der Verwendung von Glühlampen und Photometern, die an den Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ angepasst sind. Die Glühlampen werden mit einer Verteilungstemperatur von etwa 2856 K betrieben, um Licht sehr ähnlich zur normativ festgelegten Normlichtart A zu erzeugen. Sämtliche Photometer werden mit Licht dieser spektralen Zusammensetzung kalibriert und somit auf das SI-Einheitensystem rückgeführt.

In den vergangenen Jahren hat das Glühlampenverbot und die rasante Entwicklung von LED-Leuchtmitteln den Beleuchtungsmarkt grundlegend verändert. Die spektralen Eigenschaften des Lichts, welches von LEDs erzeugt wird, unterscheiden sich grundlegend von Glühlampenlicht. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die Messunsicherheit („Messfehler“), wenn z. B. der Lichtstrom einer LED-Lichtquelle in einer Ulbricht-Kugel bestimmt werden soll, da hierbei der Messwert einer Glühlampe mit bekanntem Lichtstrom (Referenznormal) mit dem einer LED verglichen wird. Grundlage von Lichtstrombestimmungen in der U-Kugel ist Substitutionsmethode - hierbei sollten die Eigenschaften von Referenznormal und Testlampe möglichst ähnlich sein.

Der Einsatz von LED-Lichtquellen als Referenznormal mit ähnlichen spektralen Eigenschaften wie die zu untersuchenden LED-Lichtquellen, ermöglicht den weitgehenden Verzicht auf spektrale Korrekturen, welches zu erheblich geringeren Messunsicherheiten führt.

In dem Vortrag werden die Vor- und Nachteile der traditionellen Photometrie auf Basis von Glühlampen und die neuen Möglichkeiten durch den Einsatz von LED-Normalen diskutiert. Dies beinhaltet sowohl Aspekte der aktuell geltenden normativen Lage als auch messtechnische Herausforderungen.

Im Rahmen des EMPIR-Projekts „PhotoLED - Future Photometry Based on Solid-State Lighting Products“ (<http://photoled.aalto.fi/>) werden unter anderem neuartige Lichtstärke- und Lichtstromnormale entwickelt, die dem Anwender vollständig auf LED-Technologie basierende photometrische Messungen ermöglichen soll.

Es wird die Entwicklung und Charakterisierung eines LED-Lichtstärkenormals im Rahmen dieses Projektes vorgestellt. Hierbei werden wichtige Unsicherheitsbeiträge bei der Kalibrierung von LED-Normalen diskutiert, um den Anwender auf systematische Fehler bei der Messung von LED-Lichtquellen aufmerksam zu machen.

SPF-Bestimmung von Sonnenschutz mittels UV-LED

J. Lademann¹, S. Schanzer¹, C. Reble², G. Wiora², G. Khazaka², H. Karrer³, M. C. Meinke¹

¹ Center of Experimental and Applied Cutaneous Physiology (CCP),
Department of Dermatology, Venerology and Allergology, Charité –
Universitätsmedizin Berlin;

² Courage + Khazaka electronic GmbH,

³ Köln; Hans Karrer GmbH, Augsburg

Ausgehend vom geänderten Freizeitverhalten, d. h. der Tatsache, dass Urlauber ihre Freizeit immer mehr in den Bergen oder in sonnenreichen Regionen am Meer verbringen, kommt der Anwendung von Sonnenschutzmitteln eine besondere Bedeutung zu [1]. Die Wirksamkeit von Sonnenschutzmitteln gegen schädliche UV-Strahlung von der Sonne wird durch den Lichtschutzfaktor (Sun Protection Factor – SPF) gekennzeichnet. Zu seiner Bestimmung wird für Probanden die minimale Erythemdosis, d. h. die Dosis von UV-Strahlung, bei der ein Sonnenbrand auftritt, im Falle der ungeschützten Haut und bei der mit Sonnenschutzmittel behandelten Haut bestimmt. In allen Fällen wird also ein Sonnenbrand erzeugt, der genau durch das Sonnenschutzmittel eigentlich verhindert werden soll. Diese Methode ist daher unbefriedigend.

Die amerikanische Food- and Drug Administration als auch die Europäische Kommission fordern seit Jahren die Entwicklung einer nicht-invasiven Methode zur Bestimmung von Lichtschutzfaktoren von Sonnenschutzmitteln. An der Charité wurde ein physikalisches, nicht-invasives Verfahren zur Bestimmung von Sonnenschutzmitteln in Zusammenarbeit mit den Firmen Courage Khazaka GmbH und der Hans Karrer GmbH entwickelt.

Die hier verwendete Messmethode basiert auf der sogenannten „Photonenbanane“. UV-Strahlung wird durch eine Lichtleitfaser auf die mit Sonnenschutzmittel behandelte Haut aufgebracht. Ein Teil des Lichtes wird reflektiert, ein anderer Teil wird im Gewebe gestreut und tritt an anderer Stelle wieder heraus. Dieses Licht durchläuft „bananenförmig“ die obere Hautschicht und passiert das Sonnenschutzmittel zweimal. Es wird mit Lichtleitfasern und einem Empfänger detektiert. Die Anregung erfolgt mithilfe von LEDs.

Es konnten sehr gute Korrelationen zwischen den gemessenen SPF-Werten und den in den Testlaboren unter In-vivo-Bedingungen bestimmten SPF-Werten erzielt werden [2].

1. H.-J. Weigmann et al. Efficacy of sunscreens in relation to the horny layer; *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 1998; 14:214
2. C. Reble et.al. Evaluation of detection distance–dependent reflectance spectroscopy for the determination of the sun protection factor using pig ear skin; *J Biophotonics*, **11**: e201600257, 1 of 10 (2018) / DOI 10.1002/jbio.201600257

„UV-LEDs: Betrieb und Anwendungen“

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

ABSTRACT

UV-LED unter 380 nm Wellenlänge finden steigendes Interesse in Wissenschaft und Technik, weil man die Vorteile der LED in der Allgemeinbeleuchtung sieht: hohe Effizienten bei langer Lebensdauer, Dimmbarkeit sowie kein Quecksilber. Hier ist der Weg für eine UVC LED bei $\lambda = 254$ nm noch weit, aber immer mehr LED Hersteller bauen leistungsfähige UV-LED.

Der Vortrag wird den Bogen von der rasanten technischen Entwicklung der UV-LED Chips und Module über deren sicheren Betrieb zu wichtigen Anwendungen schlagen.

Die UV-LED können nur mit Verbindungs-Halbleiter mit großem Bandabstand gebaut werden. Im VIS und UVA Bereich kommen für LEDs von $\lambda = 400$ nm bis 365 nm noch InGaN zum Einsatz. Diese LEDs sind effizienter ($> 30\%$) und leistungsstärker. Unter $\lambda = 365$ nm ist AlGaN Material mit hohem Al Gehalt erforderlich und die Fertigungsprozesse werden aufwändiger. Dies betrifft den Front- und Backend Bereich der Chip- Herstellung. Es entstehen z.B. Fehlstellen bis zu Problemen beim Bonden der Chips und den AlN Substraten. Aktuelle UV Effizienzen werden präsentiert, die UV Strahlungsleistung des Einzelchips bei $\lambda = 278$ nm im UVC liegt bei über 80 mW und Angaben zur Lebensdauer vorgestellt.

Vom elektrischen Betrieb des UV- Einzelchips zu UV-LED Modulen, die aus vielen einzelnen UV Chips zusammengebaut werden. Je nach verwendeten UV-LED Chip, Leistungen und Verschaltungen im Modul müssen die Betriebsgeräte angepasst und die Sicherheitsnormen der CE Zulassung erfüllt werden.

Die UV Anwendungen selbst wachsen weltweit stark. Die größten UV Anwendungen sind die Trinkwasser- und Abwasser- Entkeimung, die Luft-Entkeimung, die Prozesswasserbereitung und die Oberflächen-Entkeimung. Hier werden konventionelle UV-Niederdruckstrahler im kurzwelligeren UVC bei $\lambda = 254$ nm eingesetzt. Ein weiteres interessantes Einsatzgebiet ist die schnelle Härtung von Farben im UVA Bereich z.B. bei $\lambda = 380$ nm. Hier ersetzen Hochleistungs-UV-LED Module gerade konventionelle Mitteldruckstrahler.

Die UV-LED erobern sich schnell neue Anwendungsbereiche. Als Punktstrahler im Halbraum hat sie Vorteile bei Flächenbestrahlungen und bei schnellem Schalten. UV LED System müssen allerdings thermisch, optisch und mit der elektrischen Ansteuerung individuell auf die Anwendung ausgelegt werden - nur so erhält man zuverlässige Systeme.

Abstract

Renzel, Andreas – UV-induzierte Beschichtung von Oberflächen

23. DAfP-Symposium in Lübeck, 08. Juni 2018

Titel des Vortrags: UV-induzierte Beschichtung von Oberflächen
Autor: Renzel, Andreas
Firma: uv-technik meyer gmbh

Die Beschichtung von Oberflächen und deren Härtung mittels UV-Strahlung in der Druck- und Holzindustrie ist seit etlichen Jahren etabliert. Zum Einsatz kommen meist UV-Mitteldruckstrahler mit unterschiedlichen Dotierungen und seit einigen Jahren auch UV-LEDs, die meist im Grenzbereich zum VIS emittieren.

Erhöhte Anforderungen sowohl an die Oberflächeneigenschaften wie beispielsweise Rauigkeit, Härte, Fingerprintbeständigkeit sowie das Migrationsverhalten, insbesondere bei Einsatz im Lebensmittelbereich, stehen heutzutage im Fokus der Anlagenhersteller.

Die Möglichkeit z.B. den Glanzwert einer Oberfläche gezielt und reproduzierbar physikalisch einzustellen oder einen Anti-Fingerprint-Effekt zu erreichen ist mit der Auswahl geeigneter UV-Technik, dem richtigen Verfahren und angepasster Chemie heutzutage möglich. Gleiches gilt für die Vorbehandlung eines Substrates, wie auch für Coatings, die harten mechanischen Belastungen standhalten müssen.

Die gestiegenen Anforderungen beziehen sich jedoch nicht nur auf das sichtbare Erscheinungsbild, die Haptik oder Festigkeitseigenschaften. Durch Einführung der EU-Verordnung Nr. 10/2011 und 2017/52 sind die Vorgaben für Kunststoff-Packstoffe, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, streng reglementiert. Hier ist das Ziel durch einen möglichst geringen Einsatz von Photoinitiatoren oder deren vollständigem Verzicht Migrationen auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Neue verfahrenstechnische Möglichkeiten und die Verfügbarkeit diverser Strahlungsquellen, wie z.B. UV-Mitteldruckstrahler, UV-Niederdruckstrahler, UV-LED und Excimerstrahler und gerade auch geschickte Kombinationen aus diesen ermöglichen es den gestiegenen Anforderungen des Marktes gerecht zu werden und die Stärken der einzelnen Systeme optimal zu nutzen. Begriffe wie DirectCure, Precuring, LED+X, Enhanced UV, CCI (quasi-inerte Härtung), Excimer-Nachvernetzung, UV-Hot-Coating, UV-Oberflächenaktivierung, photoinitiatorfreie Härtung, physikalische Mattierung oder Soft Touch und UV-C-LED-Härtung sollen vorgestellt und deren Anwendung in Applikationen gezeigt werden.

Kontakt:

Andreas Renzel
andreas.renzel@uv-technik.com
Tel.: ++49 (0) 6041 96 28 - 15



Puls-Amplituden-Modulations-Fluoreszenzspektroskopie zur Messung der Photosynthese bei Pflanzen

Reimund Goss

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

Der Vortrag beginnt mit einer kurzen Einführung in die Chlorophyllfluoreszenz. Hierzu werden die molekulare Struktur sowie die daraus resultierenden Anregungszustände der Chlorophyllmoleküle erklärt. Die verschiedenen Wege der Nutzung der vom Chlorophyll absorbierten Strahlungsenergie werden dargestellt, Absorptions- und Fluoreszenzspektren der Chlorophyllmoleküle werden verglichen. Daran anschließend erfolgt eine kurze Schilderung der photosynthetischen Elektronentransportkette innerhalb der Thylakoidmembran des pflanzlichen Chloroplasten, die Fluoreszenzspektren von Photosystem II und Photosystem I mit ihren spezifischen Untereinheiten werden vorgestellt. Da bei Raumtemperatur vor allem Photosystem II für die abgegebene Chlorophyllfluoreszenz verantwortlich ist, werden im Folgenden die Struktur und der intrinsische Elektronentransport des Photosystems II besprochen. Hierbei liegt der Fokus auf den unterschiedlichen Zuständen der Elektronenakzeptoren innerhalb des Photosystems II und ihrer Auswirkung auf das Fluoreszenzsignal. Basierend auf den Erklärungen zur Photosystem II Photosynthese wird die Messmethode der Puls-Amplituden-Modulations-(PAM)-Fluoreszenzspektroskopie eingeführt und die Photosyntheseparameter, die mit der PAM-Fluoreszenz erfasst werden können, aufgezeigt. Verschiedene Anwendungsbeispiele demonstrieren, wie sich unterschiedliche Bedingungen, wie etwa Änderungen der CO₂-Konzentration, auf die Photosystem II-Fluoreszenz auswirken und wie diese mit der PAM-Fluoreszenz erfasst werden können. Im Anschluss daran werden verschiedene PAM-Fluorometer vorgestellt, die die Messung der Photosynthese an ganz unterschiedlichen Pflanzen ermöglichen. Abschließend wird eine weitere gängige Methode der Chlorophyllfluoreszenz-Messung, die sog. OJIP-Methode, kurz besprochen.

Schutz vor UV Strahlung bei Algen

Prof. em. Dr. Dr. h.c. Donat-P. Häder

Solare UV Strahlung ist schädlich für alle exponierten Lebewesen. Besonders die energiereiche UV-B Strahlung (280 – 315 nm) induziert Läsionen in der DNA, zerstört Proteine und Lipide und beeinträchtigt elementare physiologische Prozesse wie die Photosynthese. Daher haben alle Organismen Schutzmechanismen gegen die Strahlung entwickelt wie eine effiziente Reparatur der Schäden, vertikale Wanderung von Plankton in der Wassersäule oder die Bildung von Krusten mit gegenseitiger Beschattung der Individuen.

Viele Organismen synthetisieren spezifische UV-absorbierenden Pigmente, die die Strahlung abschirmen, bevor sie Schäden im Inneren der Zelle induzieren kann. Menschen und viele Tiere benutzen Melanin, das dunkelbraune Pigment, das in die Haut eingebaut wird. Pflanzen benutzen zu diesem Zweck eine Reihe von Flavonoiden, die in die Epidermis der Blätter eingelagert werden.

Cyanobakterien waren die ersten wasserspaltenden photosynthetischen Organismen auf unserem Planeten. Erst durch sie wurde Sauerstoff in der Atmosphäre angereichert und eine Ozonschicht in der Stratosphäre entwickelt. Daher waren diese Cyanobakterien vor 3 Milliarden Jahren einer noch höheren solaren UV-Strahlung ausgesetzt als heute und es gelangte sogar UV-C Strahlung (<280 nm) auf die Erdoberfläche. Deshalb mussten sich diese Organismen besonders gut schützen. Neben effizienten Reparatursystemen und Vertikalmigration haben sie eine Vielzahl von UV-absorbierenden Pigmenten entwickelt. Scytonemin ist ein Dimer, das im UV-A, UV-B und sogar noch im UV-C absorbiert. Cyanobakterien, viele Phytoplanktonorganismen und Algen benutzen mycosporinartige Aminosäuren (MAA), von denen bislang über 20 nachgewiesen wurden.

In Sonnenschutzcremes werden organische UV-absorbierende Chemikalien eingesetzt wie z.B. Avobenzon. Allerdings sind viele Menschen gegen solche Substanzen allergisch. Derzeitig wird auch über die Benutzung solcher Chemikalien diskutiert, da sie für manche marine Organismen toxisch sind. Die zweite Gruppe von UV Filtern in Sonnenschutzcremes sind reflektierende Nanopartikel wie Titanoxid oder Zinkoxid. Diese können jedoch zu einer Reaktion der Haut führen, besonders wenn diese schon durch Sonnenstrahlung gereizt ist. Daher wird von mehreren Arbeitsgruppen der Einsatz von MAAs erforscht, die aus Algen gewonnen werden können und nicht toxisch sind. Außerdem haben manche MAAs antioxidative Eigenschaften und unterdrücken die Bildung freier Radikale.

Struktur-spezifische Elicitierung von Sekundärmetaboliten in grün- und rotblättrigen Gemüsesorten durch schmalbandige UVB-LEDs

Melanie Wiesner-Reinhold¹, Susanne Neugart¹, Susanne Baldermann^{1,2}, Thomas Filler³, Kamil Czajkowski³, Johannes Glaab³, Sven Einfeldt³, Christian Huber⁴, Monika Schreiner¹

¹Leibniz Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau e.V., Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Grossbeeren

²Institut für Ernährungswissenschaften, Universität Potsdam, Arthur-Scheunert-Allee 114-116, 14558 Nuthetal

³Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik, Gustav-Kirchhoff-Str. 4, 12489 Berlin

⁴GEFOMA GmbH, Theodor-Echtermeyer-Weg 4, 14979 Großbeeren

Ultraviolette B (UVB) Strahlung in geringen, aber ökologisch relevanten Dosen fungiert als Regulator im pflanzlichen Sekundärmetabolismus. Durch kürzlich erfolgte Entwicklungen können auch UVB emittierende Leuchtdioden (LEDs) als neue Lichtquelle eingesetzt werden. Fokus unserer Forschung ist der Effekt der Strahlung von UVB-LEDs mit Wellenlängen von (290 ± 2) nm und (307 ± 2) nm) auf gesundheitsfördernde sekundäre Pflanzenmetabolite (Carotinoide, phenolische Substanzen und Glucosinolate) in grün- und rotblättrigem Gemüsespezies, welche unterschiedlichen botanischen Familien Brassicaceae, Chenopodiaceae, Lamiaceae und Lactucaceae angehören.

Die Pflanzen wurden unter kontrollierten klimatischen Bedingungen angezogen. Im 4-5 Blattstadium wurden die Pflanzen über 4 Tage täglich mit jeweils drei unterschiedlichen Dosen von biologisch effektivem UVB (UVB_{BE}) behandelt (290 nm: 1.12 kJ m^{-2} , 2.25 kJ m^{-2} , and 4.51 kJ m^{-2} ; 310 nm: 0.35 kJ m^{-2} , 0.72 kJ m^{-2} , and 1.43 kJ m^{-2}). Anschließend wurden die Pflanzen nach einer 24-stündigen Adaptionszeit am 5. Tage geerntet.

Für alle analysierten pflanzlichen Sekundärmetabolite gilt, dass die Behandlung mit beiden UVB-Wellenlängen die Gehalte an Carotinoiden, phenolischen Substanzen als auch Glucosinolaten erhöhten. Dieser Effekt war abhängig von der chemischen Struktur der Substanzen, der verabreichten UVB-Dosis und der Pflanzenspezies. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die grün- und rotblättrigen Sorten eine Spezies unterschiedlich auf die UVB-Behandlung reagierten. So konnte z.B. in Pak Choi (*Brassica rapa* ssp. *chinensis*) die Konzentrationen an Chlorophyll B und Lutein um 50-70% bei der höchsten UVB-Dosis erhöht werden. Bei den aromatischen Glucosinolaten konnte mit den Behandlungen von $4.51 \text{ kJ m}^{-2} UVB_{BE}$ (290 nm LEDs) oder $1.43 \text{ kJ m}^{-2} UVB_{BE}$ (307 nm LEDs) die Gehalte um 70% bzw. 140% im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollpflanzen gesteigert werden. Der Einfluss von UVB-Strahlung auf die phenolischen Substanzen und aliphatischen Glucosinolate ist komplexer und stark strukturspezifisch.

Unsere ersten Ergebnisse zeigen, dass durch die Bestrahlung mit schmalbandigen UVB-LEDs eine Erhöhung von gesundheitsfördernden pflanzlichen Sekundärmetaboliten in verschiedenen Gemüsen möglich ist. Diese Ergebnisse sind ein vielversprechender Anfang, um ein UVB-LED-Lichtsystem für die gartenbauliche Unter Glas-Produktion zu entwickeln.

LED Parallelschaltungs-Controller

M.Sc. Michael Heidinger, KIT LIT, Karlsruhe

LEDs versprechen effiziente und kostengünstige Leuchten. Derzeit auf dem Markt erzielen Mid-Power LEDs, LEDs mit moderater Leistungsdichte, die besten Effizienten bei niedrigen Kosten. Für eine große Leuchte müssen allerdings viele einzelne der kleinen Mid-Power LEDs verschaltet werden. Bei einer reinen Serienschaltung ist schnell das Limit der Sicherheitskleinspannung erreicht und eine Parallelschaltung benötigt eine aktive Regelung der Ströme in den einzelnen Strängen.

Die neue, patentierte Schaltung des Lichttechnischen Instituts teilt den Gesamtstrom einer LED-Stromquelle gleichmäßig auf die einzelnen Stränge der Parallelschaltung auf. Das ermöglicht die Verschaltung sehr vieler kleiner und effizienter Mid-Power LEDs zu einer großen, lichtstarken Lampe. Die Lampe wird weiterhin an einer konventionellen LED-Konstantstromquelle betrieben. Die Schaltung verursacht dabei nur wenig Verluste und kann kostengünstig direkt auf der LED-Platine integriert werden.

Die Schaltung in Abb. 1 misst dabei den individuellen Strangsstrom über einen Shunt (R_s), und bildet sich den Mittelwert selbst (R_a). Ein Stromregler ist über einen Operationsverstärker mit nachgeschaltetem Mosfet aufgebaut. Die Verstärkung des Operationsverstärkers wird dabei mit einem Tiefpass zweiter Ordnung reduziert, um die Stabilität des Stromreglers sicherzustellen. Ein Startup-Circuit sorgt dafür, dass der gewünschte Arbeitspunkt eingenommen wird.

Mit Hilfe der neuen Schaltung können große, lichtstarke Leuchten mit Mid-Power LEDs aufgebaut werden und deutlich höhere Lichtausbeuten erzielen. Die Lichtausbeute einer Straßenleuchte, die Platine ist in Abb. 2 gezeigt, konnte um 40% gesteigert werden. Weitere Anwendungen in der Innenbeleuchtung, Pflanzenbeleuchtung sind denkbar. Ebenfalls ist die Verwendung von UV-LED sind möglich.

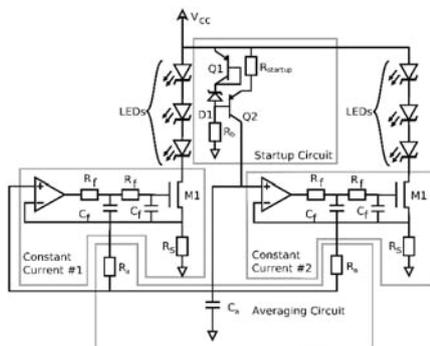


Abbildung 1: Schaltplan des LED-Parallelschaltungscontrollers

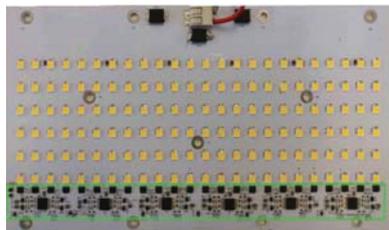


Abbildung 2: Prototypenaufbau des LED-Parallelschaltungscontrollers

Über die Anwendung Leuchtstoffkonvertierter Xe-Excimer Entladungslampen in der Wasserbehandlung und Desinfektion – Chancen und Herausforderungen

Mike Broxtermann* und Thomas Jüstel

Fachhochschule Münster, Chemieingenieurwesen, Stegerwaldstraße 39, 48565 Steinfurt

Die Bildung und der Abbau von Xe-Excimeren in dielektrisch gehinderten Barriereentladungen führt zur Emission elektromagnetischer Strahlung im Vakuum UV Bereich (VUV, $\lambda < 200$ nm). Basierend auf diesem generellen Prinzip stellen Xe-Excimer Entladungslampen, bestehend aus einem mit einigen hundert mbar Xenon gefüllte Quarzglas-Entladungskörper, effiziente Quellen für VUV Strahlung mit λ_{max} (Emission) = 172 nm dar.^{1,2,3} Entsprechende Lampen können über die Nutzung als reiner VUV-Emitter hinaus durch die Verwendung im VUV anregbarer UV-emittierender Leuchtstoffe als Konvertermaterial sowohl Anwendung in der Photochemie, der Wasserbehandlung oder der Desinfektion finden. Ein großer Vorteil gegenüber etablierten Hg-Entladungslampen (Nieder-, Mittel- und Hochdruck) besteht dabei im vollständigen Verzicht auf Hg. Über diesen offensichtlichen Vorteil hinaus bieten Xe-Excimer basierte Strahlersysteme weitere Vorteile wie die schnelle Schaltbarkeit, die fehlende Warmlaufphase sowie die Möglichkeit zum gepulsten Betrieb der Strahlungsquelle. Der größte Vorteil liegt aber sicherlich in der Bandbreite der spektralen Anpassbarkeit, welche durch die Verwendung geeigneter bei 172 nm anregbarer Leuchtstoffe oder deren Kombination gegeben ist.^{4,5,6}

Die Entwicklung voll funktionsfähiger, kommerzieller Produkte basierend auf der Technologie der Xe-Excimer Entladung in Verbindung mit UV-emittierenden Converter-Leuchtstoffen stellt bei weitem keine triviale Aufgabe da. Es bedarf eines detaillierten Verständnisses der Alterungsprozesse aller eingebrachten Komponenten während einer Betriebsdauer von mehreren hundert oder sogar tausenden Stunden. Dies gilt insbesondere für die verwendeten Leuchtstoffe, welche in der Regel aus relativ stabilen Wirtsstrukturen wie LnPO_4 , Ln_2SiO_5 oder LnBO_3 ($\text{Ln} = \text{Y}, \text{La}, \text{Lu}$) bestehen und mit entsprechend geeigneten Lumineszenzaktivatoren, wie z.B. Nd^{3+} , Pr^{3+} oder Bi^{3+} dotiert sind.^{7,8} Unabhängig von der letztendlichen Leuchtstoffauswahl bedeutet die Verwendung in direktem Kontakt zur Xe-Excimer gasentladung hohen Stress für das verwendete Material, vor allem aufgrund der Exposition zu kurzwelliger VUV Strahlung sowie dem Elektronen- und Ionenbombardement.

Dieser Stress führt in der Regel zu einer starken und schnellen Alterung der verwendeten Leuchtstoffe, welche sich in einem deutlichen Einbruch der Lampenleistung niederschlägt. Aus diesem Grund befasst sich unsere Arbeit nicht ausschließlich mit der Spektroskopie bestimmter Leuchtstoffe. Vielmehr soll versucht werden, die Leuchtstoffalterung detailliert zu untersuchen und die zugrunde liegenden Mechanismen aufzuklären. Darüber hinaus werden wirksame Schutzmechanismen, wie z.B. das Aufbringen einer inerten Partikelbeschichtung, entwickelt und erprobt. Abschließend wird die generelle Eignung und Leistung leuchtstoffkonvertierter Xe-Excimerstrahler in der Desinfektion und Wasseraufbereitung anhand geeigneter Modellversuche im Detail untersucht.

- (1) Kogelschatz, U.; Esrom, H.; Zhang, J. Y.; Boyd, I. W. *Appl. Surf. Sci.* **2000**, *168* (1–4), 29–36.
- (2) Salvermoser, M.; Murnick, D. E. *Appl. Phys. Lett.* **2003**, *83* (10), 1932–1934.
- (3) Ledru, G.; Marchal, F.; Sewraj, N.; Salamero, Y.; Millet, P. *J. Phys. B At. Mol. Opt. Phys.* **2006**, *39* (8), 2031–2057.
- (4) Masoud, N. M.; Murnick, D. E. *Rev. Sci. Instrum.* **2013**, *84* (12).
- (5) Broxtermann, M.; Korte, S.; Jüstel, T. *J. Bus. Chem.* **2017**, *14* (3), 106–121.
- (6) Broxtermann, M.; Dierkes, T.; Funke, L. M.; Salvermoser, M.; Laube, M.; Natemeyer, S.; Braun, N.; Hansen, M. R.; Jüstel, T. *J. Lumin.* **2018**, *200* (December 2017), 1–8.
- (7) Jüstel, T.; Huppertz, P.; Mayr, W.; Wiechert, D. U. *J. Lumin.* **2004**, *106* (3–4), 225–233.
- (8) Broxtermann, M.; den Engelsens, D.; Fern, G. R.; Harris, P.; Ireland, T. G.; Jüstel, T.; Silver, J. *ECS J. Solid State Sci. Technol.* **2017**, *6* (4), R47–R52.

Erprobung einer neuartigen Lichtquelle in der Makroalgenzucht

Tonia Schmitz, Eckhard Kraft

Biotechnologie in der Ressourcenwirtschaft, Bauhaus-Universität Weimar

Die Zucht von Makroalgen in geschlossenen, von der Umgebung unabhängigen Systemen ist eine vielversprechende Art der Erzeugung regenerativer Rohstoffe. Gerade die marinen Ökosysteme profitieren von der Makroalgenzucht fernab der ohnehin stark bedrängten Küstengebiete. Weiterhin können autarke Zuchtsysteme in der Nähe von Dünge- und Kohlenstoffdioxidproduzenten angesiedelt werden. So ermöglicht das an der Bauhaus-Universität Weimar gewählte Konzept der Anbindung an eine landwirtschaftliche Vergärungsanlage eine unter energetischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten effiziente Zucht in der lokal verfügbare Abfallprodukte wie der Gärrest aus der Vergärungsanlage und das CO₂ im Abgas der Biogasverbrennung als Nähr- bzw. Kohlenstoffquelle für die Makroalgen dienen.

Inspiziert von den aktuell mittels spektral angepasster LED-Beleuchtung erzielten Erfolgen in der Pflanzenzucht, wurde eine in der Leistungsdichte und Spektralverteilung ansteuerbare LED-Leuchte entwickelt um dem Lichtbedarf unterschiedlicher Makroalgenarten gerecht zu werden. Das Lampenspektrum ist so gewählt, dass a priori alle Algenarten damit gezüchtet werden können, wobei ein Steuermodul eine nachträgliche Anpassung an die verschiedenen Algensorten ermöglicht. So wird berücksichtigt, dass Makroalgen mit unterschiedlichen photosynthetisch aktiven Pigmenten ausgestattet bzw. dass diese Pigmente auf die Verwertung von Licht aus unterschiedlichen Wellenlängenbereichen spezialisiert sind. Es kann demnach sowohl eine möglichst optimale Lichtversorgung der Algen, als auch eine Reduzierung der zur Beleuchtung aufgewendeten Energie erreicht werden wenn – im Gegensatz zum Vollspektrum – nur das für die jeweilige Alge verwertbare Spektrum erzeugt wird.

Zuchtversuche mit den Algenarten *Ulva lactuca*, *Ulva intestinalis* und *Fucus vesiculosus* zeigten, dass die Anlage an sich zur Kultivierung von Makroalgen geeignet ist. Allerdings erzielten nicht alle Arten die in der Literatur angegebenen maximalen Wachstumsraten. So erreichte in 30-tägigen Versuchen lediglich die Algenart *Ulva intestinalis* eine tägliche Wachstumsrate von 30%. Die Arten *Fucus vesiculosus* und *Ulva lactuca* stagnierten bei 1 bis 2% täglichem Zuwachs und blieben demzufolge hinter den Erwartungswerten von 6 bzw. 30% zurück. Die erzielten Ergebnisse lassen erahnen, dass noch nicht alle Parameter in der Zuchtanlage optimal eingestellt sind.

Chlorogenic acid as UVA screens in sunflower leaves

Stelzner Jana, Römhild Roderich, Bilger Wolfgang

Botanical Institute, University of Kiel, Am Botanischen Garten 1-9, DE 24118 Kiel

Phenolic compounds in plants, especially when located in the upper epidermis, are well known to block UVA and UVB in order to protect the underlying tissue from the harmful radiation [2]. Plants commonly store two groups of phenolic compounds that complement each other over the UV spectrum according to their absorption spectra: flavonoids are reported to serve as UVA attenuators whereas hydroxycinnamic acids (HCAs) screen well within the UVB region [1].

Analysis of epidermal transmittance revealed a substantial UVA shield in *Helianthus annuus*. Identifying responsible pigments by HPLC-MS, we found a surprising lack of flavonoids but dominant abundance of the HCAs chlorogenic and di-caffeoylquinic acid. Both display low UVA absorbance and thus, should contribute only little to UVA protection. However, leaves showed growth irradiance dependent shielding of up to 90 %. Underpinning the screening role, microscopy of HCA autofluorescence revealed storage to occur predominantly in vacuoles of the upper epidermis.

UVA treatment in the absence of D1-repair resulted in photosystem II inactivation proportional to epidermal UVA transmittance. Our findings show that UVA protection can be achieved solely with HCAs, apparently through accumulation of high amounts.

References

- [1] Agati G and Tattini M (2010) Multiple functional roles of flavonoids in photoprotection. *New Phytol* 186:786–93.
- [2] Burchard P, Bilger W, and Weissenböck G (2000) Contribution of hydroxycinnamates and flavonoids to epidermal shielding of UV-A and UV-B radiation in developing rye primary leaves as assessed by ultraviolet-induced chlorophyll fluorescence measurements. *Plant, Cell & Environ* 23:1373–80

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