



DAfP

Deutsche Akademie
für Photobiologie und
Phototechnologie e.V.

Gesellschaft für technische und medizinische Anwendungen optischer Strahlung

V O R T R A G S M A P P E

DAfP

**Deutsche Akademie für Photobiologie
und Phototechnologie e. V.**

Gesellschaft für technische und medizinische
Anwendung optischer Strahlung

17. Symposium der DAfP

**„Strahlungsmonitoring in der Medizin, Biologie und bei
technischen Prozessen“**

am 29.05. und 01.06.2012

Hotel Leonardo Hotel

68526 Ladenburg

Inhalt

Dipl.-Chem. Jürgen Meltke, NARVA Lichtquellen GmbH & Co. KG Strahlungsquellen für medizinische und kosmetische Anwendungen	3
Dipl.-Ing. Frank Hofmann, NARVA Lichtquellen GmbH & Co. KG Messung von Besonnungsgeräten	4
Dr. rer. nat. Peter Bocionek, JW Holding GmbH Anforderungen an Solarien	5
Dr. Uwe Feister, Deutscher Wetterdienst, Lindenberg Solarstrahlungsmessungen in Messnetzen	6
Dr. Peter Richter, Universität Erlangen-Nürnberg Biologische Rhythmen	7
Dr. Qi Xia, BASF SE Luminescent materials as light converters for plant growth applications	9
Dr. Saulius Nevas, PTB, Braunschweig Rückführung für die solaren UV-Messungen	10
Dipl.-Ing. Andreas Renzel, uv-technik meyer GmbH UV-Messtechnik für industrielle UV-Härtungsapplikationen	11
Dipl.-Chem. Oluf Hoyer, Wahnbachtalsperrenverband Optische Messtechniken bei der Wasseraufbereitung und bei der UV-Desinfektion	12
Dr.-Ing. Mark Paravia, OpSyTec GmbH, Karlsruhe UV Controlling - Breitbandradiometer versus Spektralradiometer	13
Prof. Dr. Wolfgang Heering und Mathias Bach, KIT Karlsruhe Berührungslose Messung des Umsetzungsgrades UV-verbundener Beschichtungen	15
Workshop - Übersichtsvorträge -	
Prof. Dr. Wolfgang Heering, KIT Karlsruhe Strahlungsquellen und Strahlungssensoren	17
Prof. Dr. Dr. h.c. Donat-P. Häder, Friedrich-Alexander Universität Erlangen Optische Filter	19
Anschriften der Autoren	20
Notizen	21

Strahlungsquellen für medizinische und kosmetische Anwendungen

Jürgen Meltke

NARVA Lichtquellen GmbH & Co. KG

Niederdruckgasentladungslampen (NEL) können im Gegensatz zu anderen Lichtquellen auf Grund der Variabilität der Hüllkolben und/oder Leuchtstoffe einen sehr breiten Bereich der elektromagnetischen Strahlung nämlich den UV- und VIS-Bereich abdecken. Demzufolge erfüllen NEL nicht nur Sehaufgaben basierend auf der spektralen Hellempfindlichkeitskurve des menschlichen Auges nach DIN 5031-3, sondern sie können und sollen auch u.a. fotobiologische Aufgaben erfüllen.

Grundlage für fotobiologische bzw. -therapeutische Berechnungen sind die spektralen Bestrahlungsstärken von NEL gewichtet mit der jeweiligen fotobiologischen Wirkung nach DIN 5031-10.

In der Fototherapie werden UVB- und UVA- sowie blauemittierende Lampen angewandt.

Üblicherweise wird dabei ein in seiner Transmission eng toleriertes Glas mit einem Singleleuchtstoff kombiniert.

Hauptlampentypen sind dabei:

- UVB-Lampen zur Psoriasis- bzw. Vitiligotherapie, schmal- bzw. breitbandig im UVB-Bereich emittierend
- UVA-Lampen zur Psoriasis- bzw. Vitiligotherapie in Kombination mit Psoralen (PUVA) bei 350 nm emittierend
- UVA-Lampen zur Neurodermitistherapie (atopische Dermatitis) im langwelligen UVA-Bereich (370 nm) emittierend
- VIS-Lampen zur Gelbsuchttherapie bei Neugeborenen im Blau-Bereich (450 nm)
- UVB-Lampen zur Vitamin D₃-Fotosynthese (Osteoporose, Osteomalazie) mit UVB-Schmalband

Zur künstlichen Bräunung wird eine Vielzahl an NEL genutzt. Diese Lampen unterscheiden sich durch die Bestrahlungsstärke und die spektrale Verteilung. Diese Eigenschaften werden in Lampen hauptsächlich durch unterschiedliche Kombinationen von UVA-Gläsern mit verschiedenen UVA- und UVB-Leuchtstoffen generiert und variiert. Als Gläser werden üblicherweise zwei Typen eingesetzt, die im UVB-Bereich unterschiedliche Transmissionen aufweisen (geschlossenes und offenes UVA-Glas). Die UVA-Leuchtstoffe BSP (350 nm) und SBE (370 nm) werden untereinander und/oder mit verschiedenen UVB-Leuchtstoffen, z.B. LAP oder mit anderen UV-Leuchtstoffen, z.B. YPO gemischt.

Die Vielfalt der im Markt existierenden Lampen entstand bzw. entsteht gegenwärtig durch die Priorisierung unterschiedlicher Zielparameter:

- Sofortpigmentierung (UVA-dominiert)
- Langanhaltende Pigmentierung (UVB-dominiert)
- Begrenzung von Sonnenbänken auf den Höchstwert von 0,3 W/m² erythemwirksamer Bestrahlungsstärke (UVB-dominiert)
- Gesundheitliche Aspekte wie Vitamin D₃-Synthese (UVB-dominiert)
- Gerätevielfalt (Anpassen von Lampeneigenschaften an den Höchstwert von 0,3 W/m²)

Unabhängig davon, ob Lampen für die Therapie oder künstliche Besonnung genutzt werden, sind unerwünschte Nebenwirkungen wie UV-Erythem und Augenschädigungen zu vermeiden.

Messung von Besonnungsgeräten

Dipl.-Ing. Frank Hofmann Leiter Messlabor NARVA
Lichtquellen GmbH + Co KG.

1. Anwendbare Verfahren, Normen und Richtlinien

- Für die Vermessung von Besonnungsgeräten sind zwei Normen gültig:
- DIN EN 60335-2-27:2011-03 bzw. E DIN EN 60335-2-27:2011-04 – „Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Teil 2-27: Besondere Anforderungen für Hautbehandlungsgeräte mit Ultraviolett- und Infrarotstrahlung“
- DIN 5050-1:2010-01 – „Solarien und Heimsonnen - Teil 1: Messverfahren und Kennzeichnung“
- (E) DIN EN 60335-2-27 ist eine Sicherheitsnorm, die Anforderungen an Besonnungsgeräte stellt, die in erster Linie der Sicherheit der Gerätebenutzer dienen (auch andere sicherheitstechnische Aspekte außer „0,3 W/m²“)
- DIN 5050-1 ist eine Norm, die die Messung und Kennzeichnung von Besonnungsgeräten regelt und somit auch Anforderungen an die Arbeitsweise von Besonnungsgeräten stellt
- In den zwei Normen (und dem Normenentwurf) werden die Messgeometrien (Nutzflächen, in denen die integrale Bestrahlungsstärke gemessen wird) beschrieben; E DIN 60335-2-27 gleicht dabei die Beschreibung an die DIN 5050-1 (mit jedoch noch geringen Abweichungen) an

2. Messtechnische Anforderungen

- Die zu vermessenden Geometrien sind in allen drei Normen beschrieben. DIN 5050-1 legt darüber hinaus noch Anforderungen an das Rastermaß sowie an die Gleichmäßigkeit in einer Nutzfläche fest.
- Zur Realisierung der Vermessung der einzelnen Nutzflächen (im vorgegebenen Rastermaß) ist es sehr hilfreich, Hilfsmittel zu verwenden. Für Liegefläche „Lochmatte“ □□ gibt Rastermaß vor und deckt gleichzeitig Streustrahlung ab, Für Oberteil schwenkbares Stativ, Unterteil mit schwarzem Tuch abdecken
- Gemäß DIN 5050-1 wird um den Punkt der maximalen wirksamen Bestrahlungsstärke zweimal das Raster verfeinert, um den Punkt festzulegen, in dem die spektrale Bestrahlungsstärke aufgenommen wird
- Ermittlung des Punktes der maximalen wirksamen Bestrahlungsstärke mit integrierendem Breitbandradiometer (angepasst an Wirkungsspektrum Eer oder ENMSC), im Maximalpunkt Messung mit spektral auflösendem Radiometer

3. Erfahrungen und Verbesserungspotenzial

- Messaufwand (v.a. gem. DIN 5050-1) sehr umfangreich und somit zeitintensiv
- Messung beeinflusst Geräteverhalten (z.B. veränderte thermische Bedingungen)
- Tatsächliche Geräte oft schon alt und teilweise nicht mehr im Originalzustand, auch
- technische Probleme/ Fehlfunktionen

Anforderungen an Solarien

Peter Bocionek

JW Holding GmbH, Stuttgart

Die Anforderungen an Solarien werden durch nationale Gesetzgebung und / oder durch elektrotechnische Normen festgelegt. Der Fokus liegt hierbei in der Vermeidung möglicher Gesundheitsgefährdungen sowie in der Gewährleistung von Sicherheit für Nutzerinnen und Nutzer von Solarien, insbesondere bei der gewerblichen Anwendung.

Normungstechnisch gehören Solarien zu den Haushaltsgeräten, dementsprechend sind von den Herstellern die Sicherheitsanforderungen der IEC und der deckungsgleichen EN 60335-1 einzuhalten. Die zusätzlichen und auch abweichenden Anforderungen werden mit der IEC bzw. EN 60335-2-27 (Besondere Anforderungen für Hautbestrahlungsgeräte mit Ultraviolett- und Infrarotstrahlung) geregelt. Eine Klassifizierung von Solarien anhand wirksamer Strahlungsgrößen ist darin seit 1986 gegeben, wobei drei der vier definierten Gerätetypen zu diesem Zeitpunkt noch keine Höchstgrenze für die erythemwirksame Bestrahlungsstärke aufwiesen.

Die Festlegung einer Höchstgrenze der wirksamen Bestrahlungsstärke per nationaler Verordnung oder Gesetz in einigen europäischen Ländern führte 2003 zur Anwendung der Sicherheitsklausel gemäß Artikel 9 der Niederspannungsrichtlinie durch Spanien, mit der Sicherheitsmängel infolge fehlender Grenzwerte in der europäischen Norm geltend gemacht wurden. Als Folge davon zog die Europäische Kommission die EN 60335-2-27 zurück und forderte die CENELEC zur Überarbeitung der Norm auf. Die Grundlage für die Revision der EN lieferte der im Juni 2006 veröffentlichte Bericht des SCCP (Scientific Committee for Consumer Product), in dem eine Reduzierung des Höchstwertes der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke auf $0,3 \text{ W/m}^2$ für Solarien empfohlen wurde, um in Übereinstimmung mit anderen Empfehlungen zu sein. Der empfohlene Höchstwert entspricht dem UV-Index von 12, d.h. etwa der maximalen erythemwirksamen Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung.

In der revidierten, 2008 ratifizierten Fassung der EN 60335-2-27 wurde gemäß der Empfehlung als zulässiger Höchstwert für die erythemwirksame Bestrahlungsstärke der Wert $0,3 \text{ W/m}^2$ festgelegt. In der Zwischenzeit wurde auch in der entsprechenden IEC-Norm ein Höchstwert für die erythemwirksame Bestrahlungsstärke von Solarien definiert, der allerdings rund doppelt so hoch ist wie der in Europa festgelegte. Dieser Unterschied besteht bis heute.

Mit dem 2009 verabschiedeten Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSG) wurde in Deutschland einerseits das Nutzungsverbot für Minderjährige eingeführt und andererseits die Voraussetzung zum Erlass von Rechtsverordnungen im Zusammenhang mit der gewerblichen Anwendung von Solarien geschaffen. Die daraus resultierende UV-Schutz-Verordnung (UVSV – Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung) wurde im Juli 2011 im Bundesgesetzblatt publiziert und trat am 1. Januar 2012 in Kraft. Die Verordnung regelt u.a. die fachliche Qualifikation des Personals in Sonnenstudios, deren Anwesenheit sowie Informations- und Dokumentationspflichten. Ab 1. August 2012 müssen alle gewerblich genutzten Solarien den Höchstwert von $0,3 \text{ W/m}^2$ für die erythemwirksame Bestrahlungsstärke einhalten, ansonsten dürfen sie nicht mehr betrieben werden.

Solarstrahlungsmessungen in Messnetzen

Uwe Feister, Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg

Die Sonnenstrahlung wird auf ihrem Weg durch die Atmosphäre durch Absorptions- und Streuprozesse der Atmosphärenbestandteile (Gase, Wasser, Aerosol) modifiziert. Messwerte der Solarstrahlung an der Erdoberfläche, die Schnittstelle zwischen der Atmosphäre und den anderen Komponenten des Klimasystems (Landoberflächen, Ozeane, Kryosphäre, Biosphäre) ist, gestatten es, die hohe zeitliche und räumliche Variabilität der für den Energieumsatz und die biologischen und luftchemischen Wirkungen verfügbare Strahlungsleistung zuverlässig zu beschreiben. Bodengebundene Strahlungsmesswerte dienen auch dazu, das Gesamtergebnis natürlicher und anthropogener Änderungen des Gehalts einzelner Atmosphärenbestandteile wie CO₂, Wasserdampf und Spurengase und ihrer Wechselwirkungen mit Komponenten des Klimasystems zu dokumentieren und mit Modellsimulationen zu vergleichen. Sie sind neben Satellitenmessungen und Messungen in der freien Atmosphäre wesentlicher und unverzichtbarer Bestandteil des Globalen Klimabeobachtungssystems (Climate Observing System, GCOS).

Maßgebend für die Konzipierung eines Messnetzes sind die von Nutzern der Daten und/oder den Netzbetreibern vorgegebenen Anforderungen an Messparameter (spektral, integral oder auf Wirkungen bezogen), den Spektralbereich, Strahlungskomponenten (global, diffus, direkt), die Messunsicherheiten sowie die angestrebte zeitliche und räumliche Repräsentativität der Messwerte. Eine für die Erfassung der auf die Horizontalfläche treffenden Globalstrahlung und der diffusen Strahlung wesentliche Grundanforderung an die Aufstellung des Messgerätes ist es, dass oberhalb von 5° Winkelhöhe über dem Horizont keine wesentlichen Abschattungen durch die umgebende Vegetation oder Bebauung vorhanden sind.

Zu den Voraussetzungen für den Betrieb eines Strahlungsmessnetzes gehört es, die charakteristischen Eigenschaften der eingesetzten Messgeräte zu bestimmen, die Messgeräte zur Rückführung auf das SI zu kalibrieren und regelmäßig die Einhaltung des Kalibrierniveaus zu kontrollieren. Die Wartung der Messgeräte und die Messwerterfassungs- und Messwertübertragungstechnik sind sicherzustellen, um Messfehler zu reduzieren und Messausfälle und Datenlücken zu vermeiden. Durch Anwendung von Datenprüfkriterien und Kompatibilitätstest ist die Qualität der Daten und die fehlerfreie Übertragung und Speicherung zu gewährleisten. Die Ablage der Messwerte in Datenbanken/Datenspeichern bietet eine geeignete Möglichkeit, den Zugriff durch Nutzer zu erleichtern und abgeleitete Produkte wie Summen und Effektivwerte zu bestimmen, deren räumliche und zeitliche Variationen graphisch visualisiert werden.

Anhand ausgewählter Beispiele von Strahlungsmessnetzen werden Strukturen und Eigenschaften erläutert. Besondere Umstände und Randbedingungen für die Schaffung von Messnetzen haben dazu geführt, dass die Verteilung der Messstationen und ihre räumliche Repräsentativität nicht immer optimal ist. Durch Anwendung statistischer Verfahren der räumlichen Dateninterpolation sowie durch Einbeziehung zusätzlicher unabhängiger Messwerte beispielsweise von Satellitendaten können räumliche Auflösung und Repräsentativität der Werte verbessert werden.

Biologische Rhythmen

Dr. Peter Richter, Universität Erlangen-Nürnberg

Die Chronobiologie ist die Wissenschaft, die sich mit biologischen endogenen Rhythmen beschäftigt. Für das optimale Ablaufen der Lebensprozesse von lebenden Organismen ist die zeitliche Organisation physiologischer Vorgänge sehr wichtig. Alle Lebewesen, vom Bakterium bis hin zum Menschen, besitzen daher „biologische Uhren“, welche den Ablauf der unterschiedlichen Prozesse regulieren. Die Periodenlängen biologischer Rhythmen können sehr unterschiedlich sein.

Die Rhythmen von Nervenzellen liegen im Millisekundenbereich, der Herzschlag im Sekundenbereich. Viele physiologische Funktionen (z. B. Enzymaktivitäten) haben Periodenlängen im Bereich von Minuten, bzw. Stunden. Rhythmen mit längerer Periodenlänge sind die circadianen Rhythmen (etwa ein Tag), Rhythmen, die sich an der Mondphase orientieren (semilunare (etwa 14 Tage) und circalunare Rhythmen (etwa 28 Tage, z.B. Menstruationszyklus, mondphasengekoppelte Fortpflanzungszeit des Palolowurmes). Jahreszyklen physiologischer Vorgänge (z.B. Vogelzug und Mauser) werden als circaannulale Rhythmen bezeichnet. Endogene Rhythmen vieler Meerestiere sind auch an die Gezeiten angepasst (Tidenrhythmen). Außergewöhnlich sind biologische Rhythmen von Singzikadenarten, deren Entwicklungszeit von der Larve zum erwachsenen Tier einen Rhythmus von bis zu 17 Jahren aufweist. Vor allem länger andauernde Rhythmen dienen der Vorbereitung auf ständig wiederkehrende äußere Einflüsse, wie Sonnenaufgang, Ebbe und Flut oder Änderung der Jahreszeiten. Die „innere Uhr“ des Menschen und anderer Säugetiere befindet sich im Suprachiasmatischen Nucleus (SCN), einer Region im Hypothalamus. Spezielle Sinneszellen in der Retina des Auges synchronisieren die Aktivität des SCN mit dem Tageslicht. Der SCN reguliert wiederum die Ausschüttung des „Schlafhormons“ Melatonin vom Pinealorgan. Experimente haben gezeigt, dass viele biologische Rhythmen nicht exakt z.B. einem Tag entsprechen, sondern, dass biologische Uhren durchaus „verstellt“ sein können. Synchronisiert werden „biologische Uhren“ durch äußere Parameter („Zeitgeber“), wobei hier meistens das Licht der wichtigste Faktor ist. Im Freilauf (z.B. bei konstanter Beleuchtung und dem Vorhandensein anderer periodischer Parameter, wie z.B. Temperaturschwankungen) zeigen verschiedene Versuchspersonen unterschiedliche endogene Rhythmen. Der Schlaf-Wachrhythmus verschiebt sich auf etwa 25 Stunden, im Extremfall sogar auf über 30 Stunden. Die innere Uhr des Menschen ist genetisch festgelegt und kann nicht „umerzogen“ werden. „Chronotypen“, welche früh aufstehen und abends früh ins Bett gehen, werden als „Lerche“ bezeichnet, Langschläfer, die dagegen lange wach bleiben, als „Eulen“. Anforderungen in der Arbeitswelt (Schichtdienst) und andere Umstände (z.B. Umsorgen von Säuglingen und Pflegebedürftigen, oder selbst auferlegter Freizeitstress) können der inneren Uhr zuwiderlaufen und dadurch die allgemeine Leistungsfähigkeit beeinträchtigen. Biologische Grundlage für Biorhythmen sind „Oszillatoren“. Es wird angenommen, dass periodisch bestimmte Gene exprimiert werden. Deren Produkte („Zeitmoleküle“) unterdrücken ab einer bestimmten Konzentration die weitere Genexpression. Diese „Zeitmoleküle“ werden mit einer bestimmten Rate abgebaut und beim Unterschreiten einer bestimmten Konzentration wird das „Zeitgen“ wieder eingeschaltet. Die Lichtregulation erfolgt über verschiedene lichtempfindliche Moleküle, wie z.B. dem Phytochrom und Phototropinen bei Pflanzen, Cryptochrome oder Menanopsin

(z.B. im menschlichen Auge), durch deren Aktivierung nachgeschaltete physiologische Prozesse eingeleitet werden. Bei jüngeren molekularbiologischen Untersuchungen wurden im Zebrafisch lichtaktivierte Gene gefunden, wodurch die innere Uhr synchronisiert werden kann. Durch Vergleiche der inneren Uhr mit der Tageslichtlänge ist es Organismen möglich, sehr exakt Zeiten zu messen und so die Zeitpunkte z.B. für Blütenbildung, Winterschlaf, Paarung usw. zu bestimmen.

Luminescent materials as light converters for plant growth applications

Dr. Qi Xia

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Solar irradiation serves as the ultimate energy source for photosynthetic activities of higher plants. Chlorophyll a and b as the most important photosynthetic pigments have major absorption peaks in the blue and red spectral regions, locating at about 460 nm, 640 nm and 660 nm; green photons are less active for photosynthetic reactions and are transmitted and reflected by the leaves [1, 2]. By using proper luminescent materials as light converters, new types of energy saving light sources (e.g. LEDs) and innovative designs of greenhouse could be developed [3]. These materials are efficiently excitable by the readily available light sources, i.e., the commercial blue LED chips with emitting peaks at 460 nm or green photons (500 - 600 nm) from the solar irradiation; the emission spectra of the phosphors match the absorption spectra of chlorophyll a/b in the red range.

In this talk, the synthetic process and results of the photoluminescent characterizations will be presented based on the europium doped calcium strontium sulfides as a proper material system for the plant growth applications. The materials are excitable by blue and green photons with high quantum efficiency; the Eu²⁺ emission (4f65d1 - 4f7 transition) maxima could be tuned from 620 nm to 670 nm by changing lattice compositions [4, 5]. The working principle of the "plant-growing LEDs" will be explained similar to that of the commercially available white LEDs with yellow emitting phosphors (e.g. cerium doped yttrium aluminates) coated on blue LED chips [6]. The luminescent materials could be as well integrated into greenhouses of two configuration designs, i.e. the transmission-conversion and reflection-conversion designs. By the theoretical calculations for the spectral modification, an enhancement of photosynthetic active radiation (PAR) up to 50% could be revealed comparing to a reference model without using the light converting materials.

Last but not the least, results will be presented based on the photosynthetic experiments of monitoring the kinetics of (1) CO₂ absorption of spinach leaves in atmospheric air conditions [7], and (2) O₂ emission of alga (*Haemotococcus pluvialis*) in aqueous medium in the self-made reaction cells having light conversion functions by using the luminescent materials.

References:

- [1] Taiz & Zeiger, 2006. Plant physiology. 4th Edition. Sinauer Associates, Inc.
- [2] Häder, 1999. Photosynthese Taschenbuch. Thieme, Stuttgart.
- [3] Xia, 2011. Dissertation, Technische Fakultät, Friedrich-Alexander-Universität ErlangenNürnberg.
- [4] Xia et al., 2010. Radiat. Meas. 45, 350 - 352.
- [5] Shionoya & Yen, 1998. Phosphor Handbook. CRC Press Inc.
- [6] Schneider et al., 1997. Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process. 64, 417 - 418.
- [7] Xia et al., 2011. MRS Proceeding. 1342, mrss11-1342-v04-04.

Rückführung für die solaren UV-Messungen – neue Aktivitäten im Rahmen des Europäischen Metrologie-Forschungsprogramms (EMRP)

Dr. Saulius Nevas

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

Das Europäische Metrologie-Forschungsprojekt „Traceability for surface spectral solar ultraviolet radiation“ ist eine Zusammenarbeit zwischen Nationalen Metrologie Instituten (NMI) sowie Partnern aus der Industrie und der Forschungsgemeinschaft in Europa die sich mit solarer UV-Strahlung befasst. Ziel des Projektes ist es, die Zuverlässigkeit sowie die Stabilität der solaren UV-Messungen im Spektralbereich von 290 nm bis 400 nm auf der Erdoberfläche mithilfe neu entwickelter Verfahren und Gerätschaften für rückführbare Messungen der solaren UV-Bestrahlungsstärken mit Unsicherheiten von weniger als 2 % maßgeblich zu unterstützen. Dies ist vor allem äußerst wichtig für die eindeutige Quantifizierung von Änderungen der terrestrischen solaren UV Strahlung aufgrund von erwarteten Veränderungen im globalen Klimasystem über Jahrzehnte hinweg.

Das Projekt wird eine verkürzte Rückführungskette zum SI-Einheitensystem für die solaren UV-Messungen mit verringerten Unsicherheiten ermöglichen. Das Ziel des Projektes ist es, die Messunsicherheiten bei Feldmessungen näher an die Unsicherheiten zu bringen, die zurzeit nur bei den primären Realisierungen von spektralen Bestrahlungsstärkenskalen bei NMIs erreicht werden. Um die rückführbaren solaren UV-Bestrahlungsstärkemessungen mit einer Unsicherheit von weniger als 2 % zu ermöglichen, wird das portable Referenzspektroradiometer QASUME mit einer verbesserten globalen Eingangsoptik sowie einem neu entwickelten Festkörper-Detektorsystem ausgerüstet. Zudem wird ein Fourier-Transform Spektroradiometer angepasst, um eine Machbarkeitsstudie für solare UV-Messungen durchzuführen und somit die Eignung dieses Typs von Geräten als alternatives Referenzspektroradiometer zu verifizieren.

Um die Verwendung von günstigen Array-Spektroradiometern in UV-Messnetzen als Ersatz für die zurzeit weit verbreiteten UV-Filterradiometer zu unterstützen, werden neue Charakterisierungs- sowie Korrekturmethode entwickelt, vor allem zur Bestimmung und Korrektur von Streulicht, Linearität und der Wellenlängenzuordnung der Geräte. Im Rahmen des Projektes werden auch neuartige Array Spektroradiometer mit verbesserten Eigenschaften auf der Basis von speziellen Bandpassfiltern sowie Mikro-Elektro-Mechanischen Systemen (MEMS) entwickelt.

Für die Weitergabe der verbesserten Rückführung für die solaren UV-Messungen an die europäische UV-Monitoring Gemeinschaft und für die Verifizierung der entwickelten Instrumente sowie Mess- und Korrekturmethode wird eine breite Feldkampagne der Vergleichsmessungen für Spektroradiometer beim PMOD/World Radiation Center Davos in der Schweiz in 2014 organisiert. Teilnehmer aus europäischen solaren UV-Messnetzen sind zu diesen Feldvergleichsmessungen eingeladen. Ihre Spektroradiometer werden mithilfe von im Projekt entwickelten Messaufbauten sowie Verfahren charakterisiert und kalibriert.

UV-Messtechnik für industrielle UV-Härtungsapplikationen

Dipl. Ing. Andreas Renzel, uv-technik meyer gmbh

Die Anwendung von ultravioletter UV-Strahlung für industrielle Zwecke ist seit Jahren etabliert. Die bekanntesten Einsatzgebiete sind hier zum einen die Wasserentkeimung mittels UV-C-Strahlung und zum anderen das Härten von UV-reaktiven Farben, Lacken, Klebstoffen, Silikonen und Vergussmassen.

Als Anwender von UV-Härtungssystemen stellt sich die Frage, wie gut die UV-Bestrahlung und damit verbunden das Härten der Farbe bzw. des Lackes ist. In dieser Frage stecken zwei Fragen: Zum einen die Frage nach der „nötigen Menge an UV“ und zum Anderen die Frage nach dem Resultat hiervon, also der Härtung aufgrund der UV-Menge. In der Praxis wird deshalb auch entsprechend verfahren: Viele Kunden beschränken sich darauf das Resultat, also die mehr oder weniger gehärtete Farbe (oder Lack) durch verschiedene Methoden zu testen (Gitterschnitt-Test, Klebefilmtest, FINAT-Methoden etc.). Sinnvoller ist es jedoch zu messen, wieviel UV das Substrat erreicht. Also quantitativ zu messen bevor die Farbe/der Lack gehärtet worden ist um hierdurch Produktionsausschuss zu vermeiden.

Der Trend zeigt, dass das Messen von UV immer mehr in den Fokus der Anwender rückt. Zu teuer ist es, Ausschuss zu produzieren.

Qualitätsmanagementsysteme erfordern es zudem, dass Prozesse dokumentiert werden.

Diejenigen, die sich mit UV-Messtechnik intensiver auseinandersetzen, stellen häufig fest, dass Messgeräte unterschiedlicher Hersteller voneinander abweichende Messergebnisse liefern.

Woran liegt dies?

Auch dieser Frage soll im Vortrag nachgegangen werden indem die grundsätzlichen Messmethoden aufgezeigt werden. Hierzu werden einige physikalische Grundlagen anwendungsbezogen erklärt. Desweiteren werden Lösungen für die Umsetzung von UV-Messaufgaben in der Praxis gezeigt und typische Messgeräte für den industriellen Einsatz vorgestellt.

Optische Messtechniken bei der Wasseraufbereitung und bei der UV-Desinfektion

Oluf Hoyer, Wahnbachtalsperrenverband Siegburg

Im Bereich der Trinkwassergewinnung kommen zur Bewertung der Wasserqualität bzw. bei der Prozessüberwachung vielfältige optische Verfahren zum Einsatz. Ein Prozess ist die UV-Desinfektion des Trinkwassers, die als optisches Verfahren naturgemäß auch ein optisches Monitoring erfordert. Der Vortrag gibt eine Übersicht über die optischen Verfahren, die zur Bewertung und Beurteilung der Wasserbeschaffenheit bei der Trinkwassergewinnung eingesetzt werden. Damit wird auch erklärlich welche Wasserinhaltsstoffe die UV-Desinfektion beeinträchtigen können und durch das Monitoring erfasst werden müssen. Sie geben auch vor, wie ein UV-Desinfektionsgerät hydraulisch und optisch gestaltet sein muss, um mit geringst möglichem Energieaufwand sicher betrieben werden zu können. Die Grundlagen für Design und angepasste optische Überwachung der Desinfektionswirksamkeit werden vorgestellt und erläutert.

UV Controlling – Breitbandradiometer versus Spektralspektrometer

Dr. Mark Paravia

OpSyTec GmbH

Die Qualität und die Produktionsgeschwindigkeit von modernen Druck- und Lackieranlagen konnten in den letzten Jahren rasant gesteigert werden. In der Vergangenheit eingesetzte, lösemittelhaltige Farben und Lacke werden seit einigen Jahren zunehmend von lösemittelfreien Beschichtungen ersetzt. Diese Lacke und Farben werden mit UV-Licht umweltschonend gehärtet und erreichen eine exzellente Widerstandsfähigkeit gegen organische Lösungsmittel, Chemikalien und mechanische Umgebungseinflüsse. Die in solchen Aushärtungsanlagen typischerweise verwendeten UV-Lampen besitzen elektrische Leistungen im Bereich von einigen hundert Watt bis hin zu ca. 20 kW.

Ein gravierendes Problem bei dieser Technik ist jedoch die Durchhärtungskontrolle der Lacke und Farben. In existierenden Anlagen wird nicht der Lack selbst überwacht, sondern die Bestrahlungsstärke als Maßzahl für die Qualität. Hierzu werden üblicherweise Breitbandradiometer eingesetzt.

Diese Messgeräte werden jedoch nur auf einen Lampentyp kalibriert und unterscheiden sich in ihrer Empfindlichkeit. Dadurch sind Vergleiche zwischen Messgeräten verschiedener Hersteller nicht möglich. Ändert sich das Spektrum der Lampe, oder wird eine andere Lichtquelle eingesetzt, liefern diese Messgeräte sogar falsche Ergebnisse. Als Resultat werden UV-Anlagen oft überdimensioniert und mit zu hoher Leistung betrieben.

Speziell durch den Einzug der UV-LED in den Druckbereich besteht die Notwendigkeit eine andere Messtechnik einzusetzen, da sich die LED in ihrem Emissionsspektrum deutlich von anderen UV-Quellen unterscheidet.

Spektral messende Radiometer haben insgesamt den Vorteil, dass die Messdaten wellenlängenaufgelöst vorliegen. Das heißt, jeder Wellenlänge kann ein bestimmter Messwert zugeordnet werden. Hierdurch ist es möglich die Geräte rückführbar zu kalibrieren. Darüber hinaus können Wirkfunktionen hinterlegt werden, die den photochemischen Prozess beschreiben. Dies ist nicht nur im Labor mit sehr teurem Equipment möglich, sondern auch benutzerfreundlich, direkt an einer Produktionsanlage. Hierfür werden Messgeräte speziell auf die produktionsübliche Umgebungsbedingungen ausgelegt. Mit dem UVpad ist ein neuartiges Spektralspektrometer auf dem Markt, das mit einer Höhe von lediglich 14 mm flach genug ist um auf Bandanlagen autonom eingesetzt zu werden.

In der Präsentation werden die prinzipiellen Messfehler der Breitband- und Spektralspektrometer bewertet und Daten aus einem Messgerätevergleich aufgezeigt. Anhand der Daten und geeigneter Messgeräte kann eine UV-Anlage optimal betrieben und die Produktionskosten gesenkt werden.

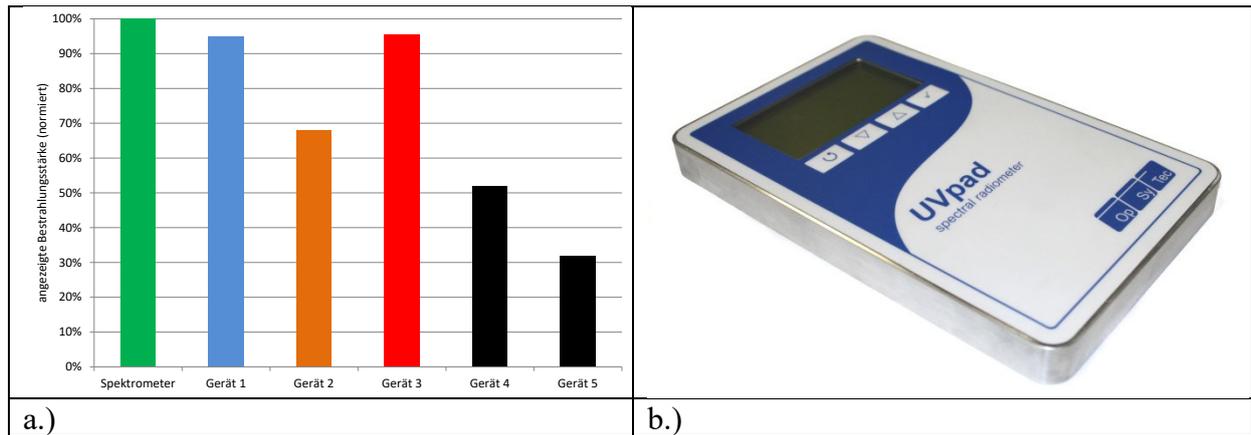


Abbildung 1 a.) Messwerte verschiedener Messgeräte unter der gleichen UV-Anlage
 b.) Spektralradiometer, Höhe 14 mm

Berührungslose Messung des Umsetzungsgrades UV-vernetzter Beschichtungen

Wolfgang Heering und Mathias Bach

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut

Die UV-Härtung von Beschichtungsstoffen ermöglicht den Einsatz von lösemittel- und damit emissionsfreien, flüssigen, 100 %igen UV-Lacksystemen bzw. von wässrigen UV-Lacken, erfordert einen nur relativ niedrigen Energie- und Materialverbrauch, erfolgt rasant innerhalb weniger Sekunden, benötigt geringe Investitionskosten und geringen Platzbedarf für die Härungsanlagen und ist auch auf temperatursensiblen Substraten, z.B. aus Kunststoff, anwendbar. Im Bereich der Holzindustrie sowie im grafischen Gewerbe, zum Teil auch schon in der kunststoffverarbeitenden Industrie werden daher die wirtschaftlichen und umweltrelevanten Vorteile der UV-Härtungstechnologie bereits in hohem Umfang genutzt.

Trotz der offensichtlichen Vorteile dieser Art von Beschichtungstechnologie besteht vielerseits die wirtschaftliche Notwendigkeit, den UV-Aushärtungsprozess noch energieeffizienter, schneller und besser kontrollierbar zu gestalten. Hilfreich hierfür ist eine Erfassung des Polymerisationsvorganges vor Ort unmittelbar nach Bestrahlung der Beschichtung. Heute zur Verfügung stehende Verfahren, die Vernetzung zu prüfen, sind entweder sehr aufwendig oder aber für eine Überwachung in-situ und in Echtzeit ungeeignet.

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projektes „CuringOnlineSensor“ (02PU2511) wurde deshalb am LTI ein neuartiges optisches Verfahren zur Bestimmung des Umsetzungsgrades von Kohlenstoffdoppelbindungen in UV-härtenden Acrylatbeschichtungen entwickelt. Das dabei entstandene lasergestützte NIR-Sensorsystem wurde auf seine Fähigkeiten untersucht, unterschiedlich dicke, pigmentierte oder auch klare Beschichtungen hinsichtlich der Vernetzung in-situ und in Echtzeit zu diskriminieren.

Informationen über die Vernetzung können Absorptionsspektren liefern, die im IR durch Schwingungsübergänge einer C=C-Doppelbindung oder eines Liganden einer solchen Kohlenstoffdoppelbindung entstehen. Die relative Änderung der Absorption solcher Banden beim Übergang vom nassen in den trockenen Zustand ist dann ein Maß für den Umsetzungsgrad der C-Doppelbindungen. Das schon von Scherzer et al. (2004) angewandte Messprinzip [1] beruht auf der Messung der Änderung der Transflexion auf einer sensitiven Schwingungsbande. Im Gegensatz zur spektralradiometrischen Methode von Scherzer et al. verwenden die Autoren [2] einen DFB-InGaAs-Diodenlaser, der auf eine Emission bei 1620 nm abgestimmt ist, als Quelle und eine gekühlte InGaAs-Diode als Empfänger zur Messung der Strahlung, die die Polymerschicht bei 1620 nm transflektiert. Damit wird ein deutlich besseres Signal-Rauschverhältnis erreicht. Über einen Strahlteiler werden die Strahlen zweier Laser zusammengeführt, und zwar die des DFB-Lasers und die einer Fabry-Perot-Laserdiode, die bei 1550 nm emittiert und als Referenz dient. Über einen Spiegel werden die Strahlen so umgelenkt, dass sie senkrecht die Probe treffen. Zwischen

Umlenkspiegel und Probe ist ein weiterer Spiegel unter 45° mit einem zentralen Loch ($\varnothing=3,5\text{mm}$) angeordnet. Er dient als Raumfilter und lässt die

Strahlung, die direkt gerichtet von der Schichtoberfläche und vom Substrat reflektiert wird, zurück zur Quelle gelangen. Vom Volumen und vom Untergrund gestreute Strahlung wird dagegen auf den seitlich angeordneten Detektor gelenkt.

Mit dem lasergestützten Sensorsystem wurden an einer Modellformulierung aus modifiziertem Epoxyacrylat und TPGDA als Bindemittel sowie IRGACURE 819 als Photoinitiator signifikante relative Signalunterschiede zwischen polymerisierten und unpolymerisierten Schichten gleicher Dicke gemessen. Sie wachsen von 0,7 % auf 6,3% mit von 16 μm auf 100 μm zunehmender Schichtdicke. Extrapoliert man den relativen Signalunterschied linear gegen Null unter der Annahme, dass das Lambert-Beersche Gesetz gilt und die durch die Schwingungsabsorption bei 1620 nm bedingte optische Dicke klein gegen Eins ist, so erhält man für die untersuchte Modellformulierung eine minimale Schichtdicke von 9 μm , bis zu der eine Unterscheidung des Umsetzungsgrades möglich erscheint.

Eine Abschätzung der maximalen Schichtdicke, bis zu der eine Unterscheidung vorgenommen werden kann, wurde aus der Bedingung erhalten, dass das relative Transflexionssignal aus der nassen Schicht bei einer gewissen Schichtdicke auf $1/e$ abgefallen ist. Diese Art Eindringtiefe ist wesentlich abhängig von der Pigmentierung; sie beträgt für die Modellformulierung, wenn sie mit 2 wt%, 5 wt% und 10 wt% TiO_2 gefüllt wird, 330 μm , 300 μm bzw. 200 μm .

Bei Feldtests mit einem modifizierten Prototypen unter industriellen Bedingungen und bei Messungen an kommerziellen UV-Farben und UV-Lacken hat sich das Messprinzip in der Regel bewährt, gerade auch im Vergleich zu anderen Messmethoden. Nur bei sehr dünnen Schichten mit Dicken von wenigen Mikrometern war das Signal-Rauschverhältnis nicht ausreichend groß. Ein wesentlicher Vorteil des neuartigen Verfahrens besteht darin, dass es in einem weiten Schichtdickenbereich Informationen über die Umsetzung, nicht nur von oberflächennahen Schichten sondern auch von tiefen Schichten nahe dem Substrat liefert.

1. Scherzer T., Mehnert R. et al: On-line monitoring of the acrylate conversion in UV photopolymerization by near-infrared reflection spectroscopy. *Macromolecular Symposia* 205 (1), 2004.
2. Bach M. and Heering W.: NIR-laser based detection of the photopolymerization state of acrylate coatings suitable for in-situ measurements. *Journal of Applied Polymer Science* 124 (2012).

Workshop der DAfP

Strahlungsquellen und Strahlungssensoren

Wolfgang Heering

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut

Zur Erzeugung optischer Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm (VUV) bis 1 mm (IR-C) stehen heute eine Vielzahl von Strahlungsquellen zur Verfügung. Die wichtigste natürliche Strahlungsquelle ist die Photosphäre der Sonne. Das extraterrestrische Sonnenspektrum ist ein nahezu kontinuierliches Spektrum mit Maximum bei 478 nm. Es wird in guter Näherung beschrieben mit der Planckschen Strahldichte eines Schwarzen Körpers der Temperatur $T=6000$ K.

Temperaturstrahlung wird auch emittiert von den Wendeln von Glühlampen, die elektrisch auf Temperaturen von 2200 – 3400 K geheizt werden. Ausgestattet mit einem Wolfram-Halogenkreisprozess und u. U. auch mit einem IR reflektierenden Coating kann die Lichtausbeute auf bis zu 30 lm/W gesteigert werden.

Eine stark zunehmende Bedeutung gewinnen anorganische Leuchtdioden und OLED, die zusammengefasst zu Modulen in der Allgemeinbeleuchtung, in der Fahrzeugbeleuchtung, als Verkehrssignale und in Displays eingesetzt werden. Sie übertreffen als Retrofits die Lichtausbeuten von Glühlampen. Mit LEDs kann nicht nur durch Verwendung von Phosphoren weißes Licht erzeugt werden, sondern auch ultraviolette Strahlung, inzwischen herunter bis 262 nm ($\text{Al}_0,55\text{Ga}_{0,45}\text{N}$).

Über 75% der künstlichen Strahlung im UV und VIS wird heute noch generiert mit modernen Gasentladungslampen, i.w. Hg-Niederdrucklampen mit und ohne Leuchtstoffbeschichtung, dotierte Hg- und Xe-Hochdrucklampen mit Quarzglas- oder Keramikkolben und quasimonochromatisch emittierende Excimerstrahler. Sie besitzen einen hohen Wirkungsgrad der Strahlungserzeugung von bis zu ca. 60% und unterscheiden sich auch in ihren elektrischen Leistungen von einigen Watt bis einigen Hundert Kilowatt, Strahlungsfelddimensionen von Millimetern bis zu einigen Metern, Spektren reichend ins tiefe VUV bis ins FIR und Lebensdauern von Stunden bis 60 000 h. Sehr große Unterschiede existieren auch bezüglich der Strahldichten, Strahlstärken und Strahlungsleistungen der Lampen.

Zur Kalibrierung spektraler Bestrahlungsstärken sind wegen ihrer Stabilität, Rückführbarkeit und Reproduzierbarkeit vor allem die FEL-Halogenglühlampe im Bereich von 250 – 2500 nm und die Deuterium-Niederdruckentladungslampe im Bereich von 170 – 350 nm geeignet.

Optische Strahlung wird detektiert mit Quantenempfängern und thermischen Detektoren. Quantendetektoren generieren direkt aus den durch Einstrahlung erzeugten Elektronen und/oder Löchern das Photosignal, einen Photostrom oder eine Photospannung. Zu den Quantenempfängern mit äußerem Photoeffekt gehören die Phototube und der Photomultiplier, zu denen mit innerem Photoeffekt die Photoleiter und die Sperrschichtempfänger wie Photoelement, PIN-, Avalanche- und

Schottky-Diode sowie Phototransistor, -thyristor und -FET. Quantenempfänger sind relativ empfindlich, schnell und spektral selektiv.

Thermische Detektoren sind dagegen relativ unempfindlich, träge und meist aselektiv. Sie absorbieren die auf sie einfallende Strahlung. Die resultierende Temperaturerhöhung wird bei den Metall-, Halbleiter- und Kryobolometern durch den Bolometer-Effekt, bei den Strahlungsthermoelementen durch den Seebeck-Effekt und bei den pyroelektrischen Detektoren durch den pyroelektrischen Effekt erfasst.

Silizium-Photodioden mit flachen p-n Übergängen sind hinreichend empfindlich bis hinunter zu 200 nm ($s = 0,1 \text{ A/W}$) und je nach Schichtenaufbau relativ alterungsbeständig. Eine bessere Stabilität gegenüber intensiver UV-Einstrahlung wird mit n auf p Dioden erzielt. Da sie bis 1100 nm empfindlich sind, reagieren sie auf längerwelligeres Streulicht in Monochromatoren.

GaP und GaAsP Schottky-Dioden sind hinreichend stabil im UV oberhalb 200 nm und um den Faktor 2 bis 3 weniger empfindlich als Si-Photodioden. Da sie oberhalb 550 nm bzw. 680 nm nicht mehr empfindlich sind, ist das Streulichtproblem deutlich entschärft.

SiC-Photodioden sind im Bereich von 210 - 380 nm empfindlich, also sonnenblind. Ihre Empfindlichkeit beträgt maximal $0,16 \text{ A/W}$ bei 275 nm. Sie sind bis zu Temperaturen von 700 K verwendbar und strahlungsbeständig gegenüber rel. hohen UV-Bestrahlungsstärken.

Photomultiplier sind im UV und VIS empfindlich und haben bei gleichen Photokathoden gleiche Strahlungsfunktionen wie die Phototubes.. Zusätzlich ist aber eine Stromverstärkung integriert, die mit zunehmenden Anodenstrom, abhängig von der Dynodenart, eine mit der Zeit abnehmende Tendenz aufweist. Phototubes und Photomultipliern ist auch gemeinsam eine exponentielle Zunahme des Dunkelstroms mit der Temperatur und abhängig von der Photokatodenbeschichtung ein wellenlängenabhängiger Temperaturkoeffizient der spektralen Empfindlichkeit von bis zu $1\%/K$.

Bildsensoren - Photodioden- und CCD-Arrays sind meist aus Silizium und messen Bestrahlungen, auch im UV bis hinunter zu 200 nm. Sie haben Höhen zwischen $25 \mu\text{m}$ und $2,5 \text{ mm}$ und empfindliche Breiten von $12,5 - 50 \mu\text{m}$. Die Sättigungsladungen der Pixel von Si-Diodenzeilen liegen zwischen 4 bis 19 pC , ihre Dynamik beträgt bis zu 70 000. Bei gekühlten Arrays bestimmt die untere Nachweisgrenze das Rücksetzrauschen und das Schrotrauschen.

Bereichsselektive und bewertende Empfänger: Empfänger mit Vollfilterung sind näherungsweise an die geforderte Strahlungsfunktion anzupassen. Bei Partialfilterung besteht eine Abhängigkeit der Strahlungsfunktion vom Einfallsort der Strahlung.

Für die Kalibrierung spektraler Bestrahlungsstärken werden zunehmend auch Strahlungsdetektoren eingesetzt. Hierfür eignen sich gewisse großflächige Si-Photodioden mit homogener Empfindlichkeit (z.B. Hamamatsu S1227-1010BQ).

Optische Filter

Prof. Dr. Dr. h.c. Donat-P. Häder, Neue Str. 9, 91096 Möhrendorf, E-Mail Donat@dphaeder.de

In dieser Präsentation beschäftigen wir uns mit optischen Filtern für verschiedenste Aufgaben. Wir gehen von einem Emissionsspektrum einer natürlichen oder künstlichen Strahlungsquelle aus und selektieren bestimmte Strahlungsbereiche. Diese vergleichen wir mit den Sensitivitätsspektren des menschlichen Auges und verschiedener biologischer lichtabhängiger Prozesse.

Mit Neutralglasfiltern reduzieren wir die Intensität der Eingangsstrahlung über einen möglichst weiten Spektralbereich. Langpassfilter (Cut-off Filter) transmittieren Strahlung mit Wellenlängen oberhalb einer definierten Wellenlänge. Diese Filter gibt es für den gesamten Bereich vom UV über Vis bis ins IR. Kurzpassfilter (Cut-on Filter) transmittieren Strahlung unterhalb einer definierten Wellenlänge. Farbfilter transmittieren einen bestimmten Wellenlängenbereich und Bandenfilter zeigen verschiedene Transmissionsmaxima. Dichroitische Spiegel (hot and cold mirror) blockieren ebenfalls bestimmte Wellenlängen. Bei all diesen Filtertypen muss man die Steilheit der Schnittkante, die maximale Transmission sowie die Resttransmission im abgeschnittenen Bereich betrachten. Außerdem ist es wichtig, den gesamten interessierenden Spektralbereich zu überprüfen.

Interferenzlinienfilter (ILF) eignen sich zur Selektion eines schmalen Wellenlängenbereiches. Wir definieren die Wellenlänge mit der maximalen Transmission, die Halbwertsbreite und die Resttransmission außerhalb des definierten Transmissionsbereiches. An biologischen Beispielen diskutieren wir mögliche Fehlerquellen.

Polarisationsfilter (linear und zirkulär) werden ebenfalls mit einigen Einsatzmöglichkeiten diskutiert.

Anschriften der Autoren und Sitzungsleiter I. und II. Block

Name	Anschrift	Telefon Fax E-Mail
Dr. rer. nat. Peter Bocionek	JW Holding GmbH Kölner Str. 8 70376 Stuttgart	+49 711 5400 480 +49 711-5400424 peter.bocionek@jw-holding.de
Dipl.-Chem. Jürgen Meltke	NARVA Lichtquellen GmbH & Co. KG Erzstrasse 22 09618 Brand-Erbisdorf	+49 37322-17228 +49 37322-17203 j.meltke@narva-bel.de
Dipl.-Ing. Frank Hofmann	NARVA Lichtquellen GmbH & Co. KG Erzstrasse 22 09618 Brand-Erbisdorf	+49 37322 17 410 +49 37322 17 203 f.hofmann@narva-bel.de
Dr. rer. nat. Peter Bocionek	JW Holding GmbH Kölner Str. 8 70376 Stuttgart	+49 711 5400 480 +49 711-5400424 peter.bocionek@jw-holding.de
Prof. Dr. Dr. h.c. Donat-P. Häder	Friedrich-Alexander Universität Erlangen Neue Str. 9 91096 Möhrendorf	+49 9131 487 30 +49 9131 852 8215 donat@dphaeder.de
Dr. Uwe Feister	Deutscher Wetterdienst Am Observatorium 12 15848 Lindenberg	+49 3367 601 65 +49 3367 601 47 Uwe.Feister@dwd.de
Dr. Peter Richter	Universität Erlangen - Nürnberg Staudtstr. 5 91058 Erlangen	+49 9131 852 8226 +49 9131 852 8215 prichter@biologie.uni-erlangen.de
Dr. Qi Xia	BASF SE Stefan-Meier-Str. 21 79104 Freiburg im Breisgau	+49 7612 034 731 +49 7612 034 709 Qi.Xia@fmf.uni-freiburg.de
Dr. Saulius Nevas	PTB Braunschweig Bundesallee 100 38116 Braunschweig	+49 531 592 4115 +49 531 592 69 4115 saulius.nevas@ptb.de

Anschriften der Autoren und Sitzungsleiter III. Block und Workshop

Name	Anschrift	Telefon, Fax, E-Mail
Prof. Dr. Wolfgang Heering	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Engesser Straße 13 76131 Karlsruhe	+49 7216 0842 538 +49 7216 0842 590 wolfgang.heering@lti.uni-karlsruhe.de
Dipl.-Ing. Andreas Renzel	uv-technik meyer gmbh Glauburgstraße 34 63683 Ortenberg	+49 6041 962 815 +49 6041 505 77 andreas.renzelt@uv-technik.com
Dipl.-Chem. Oluf Hoyer	Wahnbachtalsperrenverband Siegelknippen 53721 Siegburg	+49 2241 128 301 +49 2241 128 309 oluf.hoyer@wahnbach.de
Dr.-Ing. Mark Paravia	OpSyTec GmbH Haid-und-Neu-Str. 7 76131 Karlsruhe	+49 721 754 087 11 +49 721 754 087 19 mark.paravia@opsytec.de
Prof. Dr. Wolfgang Heering	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Engesser Straße 13 76131 Karlsruhe	+49 7216 0842 538 +49 7216 0842 590 wolfgang.heering@lti.uni-karlsruhe.de
Prof. Dr. Dr. h.c. Donat-P. Häder	Friedrich-Alexander Universität Erlangen Neue Str. 9 91096 Möhrendorf	+49 9131 487 30 +49 9131 852 8215 donat@dphaeder.de
Dr. Helmut Piazena	Charité-Berlin Weissenseer Weg 110 10369 Berlin	+49 30-450517216 +49 30-450517909 helmut.piazena@charite.de
Dipl.-Ing. Christoph Kaiser	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Engesser Straße 13 76131 Karlsruhe	+49 721 608-4814 +49 721 608-42590 Christoph.kaiser2@kit.edu
Dr. Peter Richter	Universität Erlangen - Nürnberg Staudtstr. 5 91058 Erlangen	+49 9131 852 8226 +49 9131 852 8215 prichter@biologie.uni-erlangen.de
Prof. Dr. sc. Nat. Christoph Schierz	Technische Universität Ilmenau Postfach 100565 98684 Ilmenau	+49 3677 69 3731 +49 3677 69 3733 christoph.schierz@tu-ilmenau.de
Dipl.-Ing. Rainer Nolte	Technische Universität Ilmenau Postfach 100565 98684 Ilmenau	03677 69 3734 03677 69 3733 rainer.nolte@tu-ilmenau.de

Notizen

Notizen



Geschäftsstelle der DafP
c/o TU Ilmenau-FG Lichttechnik
Matthias Menz
Schatzmeister
PF 100565
98684 Ilmenau

Telefon: 03677 693738
Telefax: 03677 693733
E-Mail: matthias.menz@tu-ilmenau.de