



DAfP

Deutsche Akademie
für Photobiologie und
Phototechnologie e.V.
Gesellschaft für technische und medizinische Anwendungen optischer Strahlung

VORTRAGSMAPPE

DAfP

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

Gesellschaft für technische und medizinische
Anwendungen
optischer Strahlung

12. Symposium der DAfP

**„Wirkungen optischer Strahlung –
Messung und Unsicherheit“**

23.04. und 24.04.2007

**in Leipzig
Mercure Hotel
Am Johannisplatz / Stephanstraße 6**

Inhalt

Prof. Dr. Wolfgang Heering, Universität Karlsruhe Strahlungsquellen und Spektralapparate zur Messung von Wirkungsspektren	4
Dr. Peter Sperfeld, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig Aspekte der radiometrischen Rückführung wirksamer Strahlung	6
Dipl.-Ing. Anton Gugg-Helminger, Gigahertz-Optik GmbH Aktinische Radiometer und Dosimeter	7
Dipl.-Physiker Peter Knuschke, Technische Universität Dresden Aktinische UV-Personendosimeter	8
Prof. Dr. Manfred Tevini, Universität Karlsruhe Wirkungsspektren und ihre Schlüsselrolle in der Biologie	9
Prof. Dr. Wolfgang Gärtner, Max-Planck Institut Mühlheim Die Bedeutung biologischer Photorezeptoren für die Entwicklung von Pflanzen	10
Dr. Harald Seidlitz, GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Neuherberg Die Simulation von Solarstrahlung für Pflanzenexperimente	11
Prof. Dr. Christian Wiencke, Alfred Wegener Institute Bremerhaven UV-Wirkungen auf Entwicklung und Wachstum von Makroalgen	12
Prof. Dr.-Ing. Dieter Kreysig, Franke Aquarotter Inaktivierungs- und Abtötungsmechnismen bei Mikroorganismen	13
Dipl.-Ing Alexander Cabaj, Regine Sommer, Veterinärmedizinische Universität Wien Messung und Anwendung mikrobizider Wirkungsfunktionen	14
PD Dr. Michael Lebert, Universität Erlangen Phototaxis und photophobische Reaktionen bei Flagellaten	15
Dr. Peter Bocionek, JW Holding GmbH Stuttgart Unsicherheiten beim Referenz-Wirkungsspektrum für das UV-Erythem	16
Prof. Dr. Jürgen Kleinschmidt, Ludwig-Maximilians-Universität München Quantitative Beschreibung der Wirkungen von chronischen UV-Expositionen	17
Prof. Dr. med. Joachim Barth, Dermatologiepraxis Borna Dermatologisch relevante Wirkungsspektren	18
Prof. i. R. Dr. – Ing. habil. Dietrich Gall; Technische Universität Ilmenau Vor- und Nachteile einer Normung bei der Ermittlung der circadianen Lichtwirkung	19
Dr. Helmut Piazena, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Charité Erythemwirksamkeit langwelliger UV-Strahlung	20

Postervortrag 1	21
Dr. Dieter Kockott, DK UV-Technik, Dr. Helmut Piazena, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Charité, R. Sippel MSS Elektronik GmbH, Fröndenberg	
Messung circadian wirksamer Bestrahlungsstärken mit einem integral messenden Radiometer	
Postervortrag 2	22
Dr. Helmut Piazena, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Charité	
Begrenzungen der UV-A1 - Hochdosistherapie	
Postervortrag 3	23
Dr. Helmut Piazena, R. Uebelhack, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Charité , Dr. Dieter Kockott, DK UV-Technik Hanau	
Altersabhängige Änderungen der Linsentransparenz und die circadiane Wirksamkeit der Solarstrahlung an der Oberfläche von Lampen	
Postervortrag 4	24
Sebastian M. Strauch, Donat-P. Häder, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen	
Aktueller Stand der Arbeiten an Aquahab	
 Anschriften der Autoren	 25

Strahlungsquellen und Spektralapparate zur Messung von Wirkungsspektren

Prof. Dr. Wolfgang Heering, Lichttechnisches Institut, Universität Karlsruhe

Optische Strahlung erzeugt eine Vielzahl von photobiologischen und photomedizinischen Wirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen. Um sie quantitativ zu beschreiben, zu erfassen, zu überwachen und zu dosieren, wurden aktinische Strahlungsgrößen wie photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärken und Schwellenbestrahlungen eingeführt. Das Konzept aktinischer Strahlungsgrößen basiert auf Aktionsspektren, die die Abhängigkeit biologischer und therapeutischer Effekte von der Wellenlänge der Strahlung beschreiben. Zur Vorhersage photobiologischer Wirkungen wird die folgende Aktionskette (nur) eines photobiologischen oder photochemischen Prozesses angenommen:

Strahlungsabsorption \Rightarrow Anregung von Chromophoren \Rightarrow Bildung von Photoprodukten \Rightarrow biologischer bzw. chemischer Effekt.

Die Anzahl(dichte) n am Ort x generierter Photoprodukte

$$n = \int_0^t \eta \cdot \left(- \frac{dE(\lambda, x, t)/(hc/\lambda)}{dx} \right)_{abs} dt$$

mit der orts-, wellenlängen- und zeitabhängigen Bestrahlungsstärke

$$E = E_0(\lambda, t) \exp[-\sigma_a(\lambda)n_a x]$$

bestimmt, so wird angenommen, funktional eindeutig die Wirkung A , das quantitative Maß für die betrachtete Wirkung, am Ort x :

$$A = f(n).$$

Hier ist $\sigma_a(\lambda)$ der wellenlängenabhängige Absorptionsquerschnitt, n_a die Anzahldichte absorbierender Chromophore am Ort x und η die Anzahl erzeugter Photoprodukte pro absorbiertem Photon. Wertet man den voranstehenden Ausdruck für n aus, so erhält man für eine zeitunabhängige Absorption und Quantenausbeute

$$n = \eta(\lambda_0) \frac{\lambda_0 \sigma_a(\lambda_0) n_a}{hc} s_{akt}(\lambda) H(\lambda, x) \text{ mit}$$

$$s_{akt}(\lambda) = \frac{\eta(\lambda) \cdot \lambda \cdot \sigma_a(\lambda)}{\eta(\lambda_0) \cdot \lambda_0 \cdot \sigma_a(\lambda_0)}$$

$$H(\lambda, x) = \int_0^t E(\lambda, x, t) dt$$

H bezeichnet hier die physikalische Bestrahlung mit der Wellenlänge λ . $s_{akt}(\lambda)$ ist die relative spektrale Empfindlichkeit des biologischen Empfängers. Sie wird auf diejenige bei der Wellenlänge λ_0 bezogen und **Wirkungsfunktion** genannt. Die Proportionalität von n und der aktinischen Bestrahlung H_{akt}

$$H_{akt} = s_{akt}(\lambda) H(\lambda, x)$$

impliziert das Gesetz von **Bunsen-Roscoe**. Zur Bestimmung eines Wirkungsspektrums kann in der Regel nicht die Anzahl(dichte) n der Photoprodukte, die durch eine bestimmte Bestrahlung mit der Wellenlänge λ hervorgerufen wird, herangezogen werden, weil n meist gar nicht messtechnisch erfassbar ist. Beobachtbar ist die Wirkung A, die häufig in nicht linearer Weise von der Bestrahlung abhängt. Um das Wirkungsspektrum $s_{akt}(\lambda)$ zu messen, verwendet man daher entweder einen bestimmten messbaren Effekt oder einen gerade beobachtbaren Effekt bzw. einen Schwelleneffekt A_S und misst bei verschiedenen Wellenlängen die physikalischen quasimonochromatischen Bestrahlungen $H_S(\lambda, x)$, die erforderlich sind, um dieselbe Wirkung A_S zu erzielen:

$$s_{akt}(\lambda) = \frac{hc}{\eta(\lambda_0)\lambda_0\sigma_a(\lambda_0)n_a} \frac{f^{-1}(A_S)}{H_S(\lambda, x)}$$

Um ein Wirkungsspektrum aufzunehmen, benötigt man intensive quasimonochromatische Strahlungsquellen, durchstimmbare Laser oder gut gefilterte Ar-, Xe-, Kr- oder Hg-Hochdruckkurzbogenlampen. Insbesondere in den Flügeln der Absorptionsbanden von Chromophoren sollte die spektrale Bandbreite applizierter Strahlung schmal sein, etwa nur 1 – 5 nm betragen. Die bei verschiedenen Wellenlängen λ erforderlichen physikalischen Bestrahlungen $H(\lambda, x)$ werden unter definierten geometrischen Bedingungen vor allem über die Expositionszeit eingestellt und gemessen, entweder mit physikalischen Radiometern, die über die Bestrahlungsdauer die Bestrahlungsstärke zeitlich integrieren, oder mit chemischen Aktinometern. Die Unsicherheiten in einem Aktionsspektrum sind relativ groß. Sie sind i.w. bedingt durch die Unsicherheit, den beobachteten Effekt zu reproduzieren und zu quantifizieren, durch den Einfluss anderer Prozesse auf den betrachteten Photoeffekt, die Unsicherheit der Messung von Bestrahlungen und den Einfluss reversibler Photoreaktionen. Ganz besonders dann, wenn bei gewissen Wellenlängen sehr lange Bestrahlungszeiten erforderlich sind, um einen bestimmten Effekt zu erreichen, sind dort die Unsicherheiten von $s_{akt}(\lambda)$ relativ groß.

Aspekte der radiometrischen Rückführung wirksamer Strahlung

Dr. Peter Sperfeld, Saulius Nevas, Armin Sperling, Klaus D. Stock
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) Braunschweig

Die Messung von wirksamer Strahlung und die Bewertung von Strahlung durch Wirkungsfunktionen bedarf der fundierten Verankerung im System der radiometrischen Einheiten. Selbst bei der Vermessung eines relativen spektralen Verlaufes ist eine Kalibrierung der verwendeten Messinstrumente unvermeidbar. Einzig eine nachvollziehbare Rückführung auf zuverlässige physikalische Einheiten bestätigt die Relevanz von Messergebnissen und ermöglicht ihre Vergleichbarkeit und Äquivalenz mit anderen Verfahren. Durch gesetzliche Vorgaben, internationale Normen, Standards des modernen Qualitätsmanagements und notwendige Zertifizierungen wird gesichert, dass Kalibrierungen von Messgeräten und verwendeten Maßverkörperungen (Normalen) einheitlich auf das internationale Einheitensystem (SI) zurückgeführt werden. Nationale metrologische Institute sind weltweit verantwortlich für die Darstellung, Bewahrung und Weitergabe der sieben SI-Basiseinheiten und deren abgeleiteten kohärenten Einheiten.

In der PTB in Braunschweig und Berlin umfasst die Photometrie und Radiometrie und die Rückführung auf radiometrische Einheiten einen großen Bereich. In vier Fachbereichen werden nationale Primärnormale zur Darstellung radiometrischer Einheiten bereitgestellt, Kalibriereinrichtungen für radiometrische Messgeräte und Transfornormale betrieben und Grundlagenforschung auf dem Gebiet der radiometrischen Messtechnik durchgeführt. Die vorhandene Expertise wird auch in Kooperationen mit der Forschung und der Industrie zur Verfügung gestellt.

So ist es unter anderem möglich, Strahler und Empfänger umfassend spektral zu charakterisieren und zu kalibrieren oder die Reflexions- bzw. Transmissionseigenschaften von Materialien zu ermitteln. Die Messplätze für die unterschiedlichen radiometrischen Größen sind je nach Anwendung ausgerüstet mit hochwertigen Spektroradiometern, durchstimmbaren Lasersystemen, goniometrischen Instrumenten und speziell angepassten Empfängersystemen. Sie erlauben somit eine große Variation des untersuchten Spektralbereiches, des einstellbaren Leistungsbereiches sowie der geometrischen Randbedingungen. Die Rückführung aller radiometrischer Größen erfolgt auf die Primärnormale Kryoradiometer (elektrische Substitution), Schwarzer Strahler (Temperaturstrahlung) und Elektronenspeicherring (Synchrotronstrahlung) und wird mit Hilfe geeigneter Strahlernormale und Empfängernormale an weltweite Kunden aus Forschung und Industrie weitergegeben.

Besonders im Bereich der UV-Radiometrie wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Kooperationen mit Forschungsinstituten und der Industrie initiiert, mit dem Ziel, die Rückführung und Weitergabe radiometrischer Einheiten im UV-Spektralbereich auszuweiten und zu verbessern. Ziel ist es, geeignete Transfornormale und Kalibrierverfahren zur Weitergabe radiometrischer Einheiten an die Kooperationspartner und andere Kunden zu entwickeln bzw. zu optimieren. Hierbei wird oftmals ein besonderes Augenmerk auf die Vermessung und Verwendung von Wirkungsspektren gelegt.

Untersuchungen haben ergeben, dass bei der Nutzung von Messgeräten im UV-Spektralbereich besonders im Zusammenhang mit Wirkungsfunktionen hohe Anforderungen an die Transfornormale gestellt werden müssen. Erschwerend kommt hinzu, dass die actinische Relevanz der spektralen Verteilung der vorhandenen Wirkungsfunktionen zum Teil nur schwer erfassbar ist. Neben der Langzeitstabilität und Reproduzierbarkeit der verwendeten Empfänger und Strahler, hat deren Sensitivität bezüglich Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte) und anderer Begleitfaktoren (Justierung, Streulicht, Linearität, Standzeit (Alterung)) einen großen Einfluss auf die zuverlässige Verwendbarkeit als Transfornormale. Erste Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit unterschiedlicher Materialien und Komponenten zu und zeigen mögliche Potentiale der Optimierung von Geräten und Messverfahren. Eine intensiviertere Mitarbeit in internationalen standardisierenden Gremien soll außerdem sicher stellen, dass die gewonnenen Informationen im internationalen Rahmen beachtet werden, so dass die internationale Vergleichbarkeit der Messtechnik gewahrt bleibt.

Aktinische Radiometer und Dosimeter

Dipl. – Ing. Anton Gugg-Helminger; Gigahertz-Optik GmbH Puchheim

Anhand von den Messresultaten der eingesetzten Meter wird der Unterschied von aktinischen Radiometern und Dosimetern dargestellt.

Eine Übersicht der gängigen aktinischen Wichtungsfunktionen wird gegeben. Anhand dieser Wichtungsfunktionen wird die Problematik der spektralen Anpassung von integralen Detektoren aufgezeigt.

Die spektrale Anpassung an die aktinische Funktion der integral wichtenden Detektoren ist je nach Funktion entsprechend anspruchsvoll. Anhand von mehreren Beispielen wird ersichtlich, wie wichtig das Zusammenspiel der zu vermessenden Strahlung und der spektralen Anpassung der Detektoren ist. Bei einem photometrischen Messkopf ist z.B. die Definition der spektralen Anpassung nur auf einen Strahler mit Normlichtart A definiert. Die daraus abgeleitete Messunsicherheit f_1 nach DIN 5032 Teil 6 kann hier im Prozentbereich und somit sehr gut sein. Bei gleichem Detektor aber anderer Strahlungsquelle kann das Messergebnis auch um Faktor 2 (100%) danebenliegen. Aus diesem Grund sind immer die spektrale Anpassung des Detektors und die zu vermessende Strahlung inklusive der verwendeten Kalibrierquelle zu betrachten. Ein Beispiel mit der ICNIRP (früher ACGIH) Funktion zeigt hier die möglichen Messunsicherheiten.

Um die spektrale Anpassung der Detektoren zu verbessern, kann die aktinische Funktion auf mehrere Detektoren aufgeteilt werden. Durch das Splitting der aktinischen Wichtungsfunktionen ist eine wesentlich verbesserte Anpassung möglich. Dieses empfiehlt sich bei aktinischen Funktionen mit mehreren spektral unterschiedlichen Wichtungsbereichen wie z.B. die Erythem (Sonnenbrand) oder ICNIRP (Arbeitssicherheit) Funktion.

Durch spektrale Korrekturen aufgrund der spektralen Kenntnis der zu vermessenden Strahlung können die integral nicht optimal angepassten Detektoren wesentlich verbessert werden. Dieses kann nun theoretisch anhand von ausgewählten Strahlerquellen vorgenommen werden. Damit entsteht ein Überblick der möglichen Messunsicherheiten für diese speziell ausgewählten Strahler. Durch diese Maßnahme kann man den eingesetzten integralen Detektor schon in seiner Einsatzmöglichkeit eingrenzen oder für viele Strahlerquellen mit einer definierten Messunsicherheit freigeben.

Eine weitere Lösungsmöglichkeit für eine genaue einfache Messung bietet die Kombination der absoluten integralen und relativen spektralen Messtechnik. Hier wird die spektrale Verteilung der zu vermessenden Strahlung relativ gemessen und mittels anschließender Korrektursoftware der Kalibrierkorrekturfaktor eingerechnet. Somit ist es möglich, nicht nur einige ausgewählte Spektren als Kriterium zur Kalibrierkorrektur heranzuziehen, sondern das gerade real zu vermessende Spektrum.

„Aktinische UV-Personendosimeter“

Dipl. - Physiker Peter Knuschke, Medizinische Fakultät der TU Dresden

Die messtechnischen Anforderungen an aktinische UV-Personendosimeter entsprechen weitgehend denen an aktinische Radiometer und Dosimeter. Da sich je nach Position und Orientierung von Personen im UV-Strahlungsfeld deren individuelle UV-Exposition bzw. das Gefährdungspotential ändert, ist die Messung der Bestrahlung und insbesondere die für photobiologisch-effektive Bestrahlung kein Routineverfahren. In der EU-Richtlinie „Künstliche optische Strahlung“ wurden spektrale Grenzwerte verbindlich festgelegt. Ist vor diesem Hintergrund die Zielsetzung eine detaillierte „Messung und Bewertung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung“, dann gibt die Europäische Norm EN 14255 mit diesem Titel im „Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung“ einen Leitfaden für das Vorgehen in solch einem Fall. Der „Teil 3: Von der Sonne emittierte UV-Strahlung“ (Entwurf) behandelt für alle Gruppen der Bevölkerung die Messung und Bewertung von aktinischer Bestrahlungsstärke bzw. Bestrahlung von Solarstrahlung. Dieser Standard fasst auch Anforderungen an die Qualität der Messverfahren zusammen (Messunsicherheit, Messbereichsempfindlichkeiten, spektrale Empfindlichkeit des Messsystems, aktive Empfängerfläche, Apertur, Sichtfeld, Kosinus-Winkelempfindlichkeit, Kalibrierverfahren und -intervalle, Wellenlängenbereich). Es werden in Abhängigkeit vom Ziel der Messung und von den Expositionsbedingungen die jeweils geeigneten Verfahren und Methoden aufgelistet - aktinische Radiometer, aktinische Dosimeter oder aktinische Personendosimeter.

Nur wenige UV-Sensoren sind auch für aktinische UV-Strahlenmessungen geeignet. Bis Mitte der 1990er Jahre erfolgte eine mehr oder minder intensive Suche nach miniaturisierbaren UV-Sensoren, die auch für eine aktinische UV-Personendosimetrie geeignet wären (CIE-Publikation N° CIE 98/1992 „Personal Dosimetry of UV Radiation“).

In Deutschland sind heute vier UV-Sensorsysteme zum Einsatz für personenbezogene Messungen aktinischer UV-Strahlung verfügbar:

1. *UV-Personendosimeter zur Messung biologisch-effektiver Bestrahlungen H_{eff} :*

- PSF: Polysulfonfilm 26 μm (Dermatologie, TU Dresden)

- VioSpor: Sporendosimeter mit Diffusor/Filter (BioSense GmbH, Bornheim)

2. *UV-Personendosimeter zur Messung biologisch-effektiver Bestrahlungsstärken E_{eff} :*

- UVDAN: elektronischer Datenlogger mit einem UV-Sensor (ESYS GmbH Berlin / AWI Bremerhaven)

- X2000: elektronischer Datenlogger mit einem bzw. zwei UV-Sensoren wahlweiser spektraler Empfindlichkeitsanpassung (UV-Erythem, ICNIRP, UVA)

bzw. als Weiterentwicklung: Einsatz von zwei UV-Sensoren mit UVA- und UVB/C-optimierter Anpassung an das gefragte Aktionsspektrum.

Aufgrund ihrer Spezifika hat jedes dieser Systeme Vorzüge, die in einer Übersicht gezeigt werden.

Unter diesem Gesichtswinkel wurden die verschiedenen UV-Personendosimeter ergänzend zum Polysulfonfilm - als dem UV-Personendosimeter für den Einsatz in großen Probandengruppen - in vier Forschungsprojekten an der Dermatologie/TU Dresden genutzt, die vom Bundesforschungsministerium sowie von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin initiiert und gefördert wurden.

In einer Übersicht werden die Ergebnisse von Interkalibrierungen der UV-Personendosimetersysteme zu hochauflösenden Spektroradiometern und aktinischen Breitbandradiometern an Solarstrahlung verschiedener Mittagssonnenhöhen im Jahresverlauf und weiterhin die Ergebnisse von Feldversuchen beim simultanen Einsatz der Systeme in ihrer originären Bestimmung, als aktinische

UV-Personendosimeter, an UV-exponierten Arbeitsplätzen gezeigt.

Das hochauflösende miniaturisierte UV-Personenspektroradiometer gibt es noch nicht. Keines der verfügbaren Personendosimeter ist universell einsetzbar. Sie sind als sich ergänzende Systeme in der UV-Personendosimetrie zu betrachten.

Wirkungsspektren und ihre Schlüsselrolle in der Biologie

Prof. Dr. Manfred Tevini, Botanisches Institut II Universität Karlsruhe

Ein Wirkungsspektrum - auch Aktionsspektrum genannt- beschreibt die photonenbezogene und wellenlängenabhängige Wirkung auf eine Reaktionsgröße, eine photochemische Reaktion oder einen photobiologischen Prozess wie z.B. die Sauerstoffentwicklung bei der Photosynthese. Das erste Wirkungsspektrum mit einer Schlüsselrolle für die Botanik hat Engelmann 1881 entwickelt, indem er unter dem Mikroskop den Faden einer Grünalge mit den Spektralfarben, die über ein Prisma erzeugt wurden, bestrahlte. Die sich im Rot- und Blaubereich ansammelnden aerotaktische Bakterien und die damit koinzidierende Chlorophyllabsorption führten zu dem Schluss, dass alle absorbierten Photonen für die photosynthetische Sauerstoffentwicklung genutzt werden (Engelmanns law). Heute wissen wir, dass akzessorische Pigmente wie z. B. die Carotinoide eine geringere Effizienz der Energieübertragung haben und somit das Wirkungsspektrum d.h. die Quantenausbeute in diesem Bereich verringern (Tevini und Häder 1982).

Eine weitere Schlüsselrolle spielten Wirkungsspektren von Emerson et al., die vor ca. 60 Jahren einen steilen Abfall der Quantenausbeute ab ca.680 nm fanden (red drop), obwohl dort noch Chlorophyll gut absorbiert. Spätere Experimente zeigten dann, dass eine gleichzeitige Einstrahlung von 700nm und 650 nm zu einer Steigerung der O₂-Entwicklung führten, woraus Emerson u.a. auf die Existenz von zwei Lichtreaktionen bei der Photosynthese schlossen.

Einen weiteren Meilenstein setzten 1954 Borthwick und Hendricks, die mittels eines riesigen Spektrographen erstmals ein Wirkungsspektrum für einen entwicklungsphysiologischen Vorgang entwarfen. Sie zeigten, dass im hellroten Spektralbereich die Keimung der Salatsorte *Lactuca sativa* „grand rapids“ gefördert, im dunkelroten jedoch gehemmt wird. Durch Reversionsexperimente konnte schließlich gezeigt werden, dass das Hellrot-Dunkelrot reversible Phytochromsystem, dessen Absorptionipfeln mit den Wirkungsgipfeln übereinstimmen, die Steuerung der Salatkeimung übernehmen.

Einen langen Disput verursachten die Wirkungsspektren für den Phototropismus im blauen Spektralbereich, die sowohl den wässrigen Absorptionskurven von Carotinoiden wie den Flavinen ähnelten. Kürzlich hat man die als Phototropine bezeichneten Pigmente als Flavinproteine identifiziert. Andere blaulichtabhängige Wirkungsspektren wie z.B. für die Carotinoidsynthese bei dem Pilz *Fusarium* oder die Blühinduktion deuten auf Cryptochrome hin, die Flavine und Pterine als Chromophore binden.

Besondere Beachtung fanden Wirkungsspektren im UV-Bereich, insbesondere im Zusammenhang mit der Ozonschichtzerstörung durch FCKWs und ihre Auswirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Materialien. Da das Solarspektrum nur unter großem finanziellem Aufwand simuliert werden kann (siehe Vortrag Dr. Seidlitz) benutzt man UV-Strahlungsquellen mit entsprechenden cut-off Filtern oder größere Monochromatoren für die Aufnahme von Wirkungsspektren. Um die Solarkante im UV-B-Bereich mit den künstlichen Strahlungsquellen -gleichgültig ob für botanische, medizinische oder kosmetische Zwecke- vergleichen zu können, werden eine Reihe von Wirkungsspektren zur Wichtung benutzt wie z.B. das allgemeine Pflanzenwirkungsspektrum nach Caldwell, das DNA- oder das Erythemwirkungsspektrum. Auch polychromatische Wirkungsspektren mit einem Weißlicht-Hintergrund wie z.B. für das Pflanzenwachstum, das den natürlichen Verhältnissen aufgrund der bekannten Reparaturmechanismen im Blaulicht eher entspricht, sind von Bedeutung. Die Problematik bei der Verwendung solcher Wirkungsspektren für die biologische Bewertung von Strahlungsquellen oder für reelle und zukünftige Ozonschichtdicken wird diskutiert.

Tevini M. und D.-P. Häder: *Allgemeine Photobiologie. Thieme 1985*

Die Bedeutung biologischer Photorezeptoren für die Entwicklung von Pflanzen

Prof. Dr. Wolfgang Gärtner, Max-Planck-Institut für bioanorganische Chemie Mülheim a. d. Ruhr

Pflanzen sind im allgemeinen standortfest und damit in besonderem Maße davon abhängig, die Qualität des einfallenden Lichts zu messen. Dies betrifft sowohl die Richtung, die Intensität, die Dauer, die spektrale Zusammensetzung und z.T. sogar die Polarisierung. Für diese Aufgaben wurden mehrere hochspezialisierte Photorezeptoren entwickelt, die das Licht sowohl des Ultraviolett-Blaubereichs als auch des grünen, des roten und sogar des nahe infraroten Teil des Spektrums detektieren. Für viele dieser Photorezeptorarten wurde bereits früh phänomenologisch ihre Existenz und auch ihre physiologische Auswirkung beschrieben, aber erst in neuerer Zeit konnten molekulare Struktur und detaillierte Wirkungsweise identifiziert werden.

In der Präsentation wird beispielhaft dargestellt, welche Bedeutung die im Roten absorbierenden Phytochrome für die Keimung und die Entwicklung von Pflanzen haben. Darüber hinaus werden die Strukturen und die Wirkungsweise der im blauen Spektralbereich absorbierenden Rezeptoren vorgestellt. Diese weisen eine andersartige Photochemie als die Phytochrome auf und können auch Licht des grünen Spektralbereichs detektieren. Die Wirkungsweise von pflanzlichen Photorezeptoren wird als Grundlage gewählt, um ein allgemeines Wirkungsschema eines biologischen Rezeptors zu entwickeln.

Die Simulation von Solarstrahlung für Pflanzenexperimente

Dr. Harald K. Seidlitz, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg,
Institut für Bodenökologie, Abt. Exp. Umweltsimulation

Anthropogene Einflüsse ändern die Lebensbedingungen für Mensch, Tier und Pflanze; Stichwort 'Global Change'. Als Folge vermehrter FCKW-Emissionen nimmt die stratosphärische Ozonschicht seit einigen Jahren ab, eine entsprechende Zunahme der kurzwelligen UV-B Strahlung wird prognostiziert; CO₂ -Emissionen als Folge der Nutzung fossiler Brennstoffe sind für den Treibhauseffekt verantwortlich; bodennahes Ozon, gebildet durch photochemische Reaktionen aus Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen sowohl anthropogenen als auch natürlichen Ursprungs ist während der Sommermonate eine dominierende Umweltbelastung. Pflanzen reagieren auf solche Umweltfaktoren mit Änderungen von Ertrag und Wachstum, von Farb- und Geschmackstoffen und anderen Inhaltsstoffen. Insgesamt kann sich die Konkurrenzfähigkeit der Pflanzen im Ökosystem und dessen Stabilität ändern.

Die Mechanismen der pflanzlichen Reaktion auf die einzelnen Streßfaktoren bzw. die Interaktion mehrerer Faktoren sind - insbesondere in ökologisch relevanten Mengen - immer noch zu wenig bekannt. Sie lassen sich nur in gut kontrollierten Experimenten unter möglichst naturnahen Bedingungen aufklären, wo aber auch störende Einflüsse ausgeschlossen, die Versuchsbedingungen frei bestimmt und jederzeit wiederholt werden können. Dafür entwickelte und betreibt das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit eine Phytotronanlage Sonnensimulatoren, Expositions-kammern und einem Forschungsgewächshaus, wo eine Vielzahl von Umweltbedingungen erzeugt wird, wie sie in Mitteleuropa auftreten.

Pflanzen nutzen Sonnenlicht nicht nur als Energiequelle für die Photosynthese, sondern 'orientieren' sich mit einer Vielzahl von Licht und Strahlungsrezeptoren, um sich den unterschiedlichen Umgebungsbedingungen anzupassen. Experimentelle Studien müssen daher einer möglichst naturnahen Simulation der solaren Globalstrahlung besondere Aufmerksamkeit schenken. Wichtig ist hier neben der Intensität vor allem ein realistisches Verhältnis der spektralen Strahlungskomponenten im UV- und im photosynthetisch aktiven Bereich. Da dieses Verhältnis vom Sonnenstand abhängt, muß die Lichtanlage nicht nur den täglichen Intensitätsverlauf sondern auch das sich ändernde Spektrum berücksichtigen.

Experimente die in einer artifiziellen Umgebung durchgeführt werden, können ihre ökologische Relevanz nur dann unter Beweis stellen, wenn immer wieder die Korrelation zur Freilandsituation herbeigeführt wird. Die Untersuchungen in den GSF-Expositions-kammern werden daher interdisziplinär in entsprechende Kooperationen mit nationalen und internationalen Institutionen eingebunden.

UV-Wirkungen auf Entwicklung und Wachstum von Makroalgen

Prof. Dr. Christian Wiencke, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung,
Bremerhaven

UVB-Strahlung bewirkt molekulare Schäden an der DNA und an Proteinen von land- und wasserlebenden Organismen, so auch bei marinen benthischen Makroalgen, die an Felsküsten bis in fast 300 m Wassertiefe wachsen. Einzelne Makroalgenarten können bis zu 50 m groß werden und sind wesentliche Strukturelemente in bedeutenden Unterwasserwäldern, die als Wohnstätte und Nahrungsquelle für zahlreiche Organismen dienen. Im Einzelnen bewirkt UV-Exposition Photoinhibition und sogar irreversible Schäden am Photosyntheseapparat. Thymin-Dimere werden in der DNA gebildet, wodurch die Genom-Replikation und die Genexpression inhibiert werden. Darüber hinaus führt UV-Strahlung zur Bildung von Sauerstoff-Radikalen, die besonders die Membranlipide angreifen. Die UV-Empfindlichkeit der Makroalgen hängt ab von der Tiefenverbreitung an der Küste. Algenarten, die ausschließlich im Tiefwasser vorkommen, sind praktisch nie hoher UV-Strahlung ausgesetzt und reagieren dementsprechend empfindlich. Arten, die mehr im Flachwasser oder in der Gezeitenzone vorkommen, können sich andererseits meist relativ gut an die UV-Strahlung anpassen. Die Akklimation an UV-Strahlung basiert auf verschiedenen Reparatur- und Schutzmechanismen. So können z. B. Schäden im Photosyntheseapparat, wie sie am D1 Protein von Photosystem II entstehen, repariert werden. DNA-Schäden können durch Lichtabhängige Photolyasen und Licht-unabhängige Excisions-Reparatur ausgebessert werden. Oxidativer Stress kann durch enzymatische Abwehrmechanismen und Antioxidantien gemildert werden. Außerdem können UV-Schäden vor ihrer Entstehung durch Schutzmechanismen verhindert werden. In Rotalgen können die UV-absorbierenden Mykospurinähnlichen Aminosäuren Schäden verhindern. In Braunalgen spielen wahrscheinlich phenolische Substanzen (Braunalgenphlorotannine) eine Rolle, die besonders im UVB- und UVC-Bereich des Spektrums absorbieren.

Die Balance zwischen den negativen Effekten der UV-Strahlung und den verschiedenen Schutz- und Reparaturmechanismen zeigt sich an den integrativen Parametern Wachstum und Reproduktion. So ist das Wachstum von Gezeitenalgen zwar anfänglich inhibiert, kann sich aber bald an UV-Strahlung akklimatisieren. Bei Algen, die immer untergetaucht leben, ist das Akklimationspotential deutlich geringer oder sogar nicht vorhanden.

Am empfindlichsten reagieren die einzelligen Fortpflanzungsstadien der Makroalgen. Aber auch hier findet sich, wie bei den makroskopischen Entwicklungsstadien, eine Abstufung in ihrer UV-Empfindlichkeit. Sporen von Tiefwasserarten reagieren sehr empfindlich und verlieren ihre Keimfähigkeit, während Sporen von Flachwasserarten UV-resistenter sind. Die Resistenz beruht in diesen Fällen vermutlich auf der Akkumulation von Braunalgenphlorotanninen und einer effizienten Reparatur der DNA. Dies wurde sowohl in Laborexperimenten wie auch in Freilandversuchen verifiziert. Die UV-Toleranz der Sporen ist wahrscheinlich ein sehr wichtiger, wenn nicht der wichtigste Faktor für die Bestimmung der oberen Vorkommengrenze einer Algenart an der Küste. So kann die UV-Strahlung auch auf Algengemeinschaften einwirken und z. B. die Sukzession der Makroalgen beeinflussen.

In den vergangenen 10 Jahren konnte eine Vielzahl von Effekten auf physiologischer Ebene gezeigt werden. Die Forschung konzentriert sich nun einerseits auf die UV-Empfindlichkeit von Algengemeinschaften und andererseits auf die Beeinflussung der Genexpression durch die UV-Strahlung.

Inaktivierungs- und Abtötungsmechanismen bei Mikroorganismen

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kreysig, Franke Aquarotter

Optische Strahlung wird überall dort, wo sie absorbiert wird, entsprechend ihrer Energie (Frequenz ν , Wellenlänge λ), Intensität (I), und des Absorptionsgrades (α_λ) physikalisch und / oder chemisch wirksam. Resultierende derartige Wirkungen können an Zellen und Zellverbänden Vitalfunktionen auslösen bzw. stimulieren, aber auch Stressfaktoren darstellen.

Die Stresswirkung optischer Strahlung führt bei Mikroorganismen zur Beeinträchtigung ihrer Lebensfunktionen, im Extremfall zu ihrer Inhibierung (Verlust der Vermehrungsfähigkeit) bzw. ihrem Absterben.

Verantwortlich für diese Folgen der Einwirkung von den jeweiligen Mikroorganismen absorbierter optischer Strahlung sind im Allgemeinen photoinitierte chemische Reaktionen an strukturbildenden, stoffwechselrelevanten und anderweitig Vitalfunktionen ausübenden Zellkompartimenten und Zellinhaltsstoffen mit photoreaktiven Strukturelementen.

Diese Photoreaktionen können irreversibel ablaufen, unter bestimmten Bedingungen jedoch auch reversiblen Charakter haben. Ein wesentlicher Faktor für die Art der finalen Folgen einer solchen Photoschädigung ist die Fähigkeit von Mikroorganismen, sich zu schützen.

Solche – in der Regel „evolutionär erlernte“ – Schutzmechanismen beruhen im Wesentlichen auf einer gezielten Desaktivierung der absorbierten Strahlungsenergie (bevor sie photochemisch wirksam werden kann) bzw. der mikroorganismischen Fähigkeit, eingetretene Photodestruktionen mittels zelleigener Prozesse und Stoffe zu reparieren.

Die Kenntnis der mikrobentypischen Sensibilität und ihr zugrunde liegenden Mechanismen gegenüber optischer Strahlung ist unter applikativen Aspekten in zweierlei Hinsicht von besonderem Interesse: Zum einen kann das Interesse darauf gerichtet sein, „nützliche“ Spezies vor schädlichem Stress zu bewahren, andererseits kann es auch darin bestehen, schädliche, z. B. pathogene Mikroorganismen durch optische Strahlung zu inhibieren bzw. abzutöten.

Letzteres ist das Grundprinzip der Desinfektion von Stoffen und Medien mittels optischer Strahlung, allgemein bekannt als UV-Desinfektion – insbesondere von Trinkwasser.

Neben der exemplarischen Vermittlung eines Einblicks in die Wirkungsweise und Wirkungsfolgen optischer Strahlung auf Mikroorganismen werden auch solche Fragen gestreift wie welche Photosensitivität haben Mikroorganismen, die in 70 m Tiefe unter Wüstensand vegetieren? oder

welche Überlebenschancen haben irdische Mikroorganismen unter dem Einfluss der auf dem Mars herrschenden optischen Strahlung?

Messung und Anwendung mikrobizider Wirkungsfunktionen

Alexander Cabaj¹ und Regina Sommer²

¹Institut für Medizinische Physik und Biostatistik, Department für Naturwissenschaften, Veterinärmedizinische Universität Wien, Österreich. ²Klinisches Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene, Medizinische Universität Wien, Österreich.

Im Bereich der Desinfektion von Trinkwasser mittels UV-Strahlung hat sich die Methode der biosimetrischen Typprüfung bereits fest etabliert. Dabei werden Mikroorganismen (zB Sporen von *Bacillus subtilis* oder MS2 Phagen) zur Bestimmung der Reduktionsäquivalenten Fluenz, die von der geprüften UV-Anlage geliefert wird, verwendet. Bei Anlagen, die mit Hg-Niederdruckstrahlern ausgerüstet sind, spielt, wegen der Quasi-Monochromasie der abgegebenen Strahlung, die spektrale Empfindlichkeit der Mikroorganismen nur eine geringe Rolle. Werden jedoch Hg-Mitteldruckstrahler verwendet, ist die Polychromasie der abgegebenen UV-Strahlung zu berücksichtigen.

Die UV-Empfindlichkeit von Mikroorganismen wird meist unter Verwendung ihrer Überlebensfunktion definiert. Ein Beispiel für gemessene Überlebensfunktionen von *Bacillus subtilis* bei monochromatischer Bestrahlung mit unterschiedlichen Wellenlängen zeigt die Abbildung 1. Wird der Anstieg k des linearen Teils der einzelnen Funktionen als die UV-Empfindlichkeit (Einheit m^2/J) definiert, kann daraus die zugehörige Wirkungsfunktion gewonnen werden (Abbildung 2). Diese Funktion wird in der österreichischen ÖNORM M5873-2:2003 sowie auch im deutschen Arbeitsblatt der DVGW W294-3:2006 verwendet.

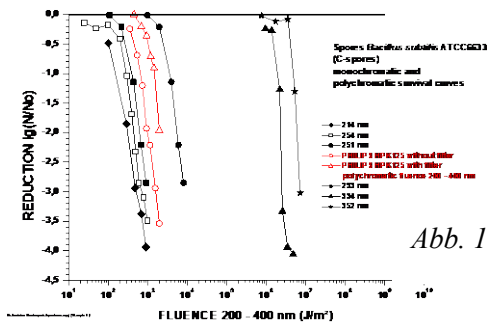


Abb. 1

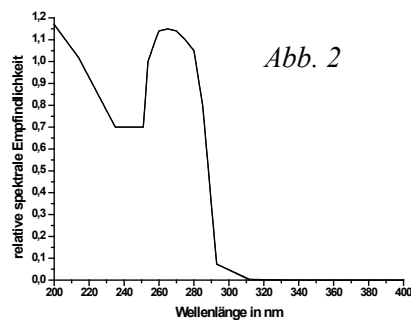


Abb. 2

Die mikrobizide Wirkungsfunktion der Abbildung 2 wird in diesen beiden Standards für die spektrale Empfindlichkeit der Überwachungssensoren bei UV-Anlagen mit Mitteldruckstrahlern vorgeschrieben.

Allgemein kann man jedoch nicht von einer einzigen mikrobiziden Wirkungsfunktion sprechen, es ist eher so, dass jeder Mikroorganismus seine eigene spezielle Wirkungsfunktion besitzt. Die Abbildung 3 zeigt eine aus der Literatur zusammengestellte Sammlung verschiedener mikrobizider Wirkungsfunktionen.

Die Größe k besitzt für die biosimetrische Messung eine sehr hohe Bedeutung, da die Unsicherheit der Messung von k einen sehr großen Einfluss auf die Unsicherheit der Messung der von einer UV-Anlage erzeugten REF besitzt. Dies gilt für quasi-monochromatische Anwendung bei Hg-Niederdrucklampen und noch viel mehr bei Geräten mit Hg-Mitteldruckstrahlern.

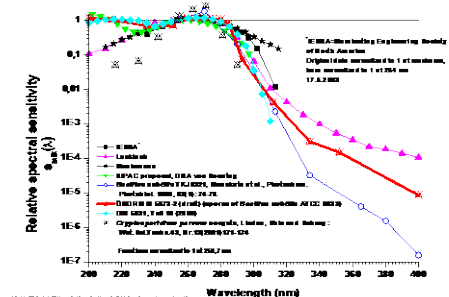


Abb. 3

Phototaxis und photophobische Reaktionen bei Flagellaten

PD Dr. Michael Lebert, Universität Erlangen, Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen

Flagellaten sind einzellige, bewegliche, im Wasser lebende Organismen. Insbesondere die photosynthetisch aktiven Spezies in dieser Gruppe nutzen ganz unterschiedliche Umweltreize, um sich in ihrer Umwelt zu orientieren. Licht und Schwerkraft spielen dabei eine besondere Rolle. Beide Stimuli werden von photosynthetische Organismen genutzt, um Positionen in der Wassersäule zu erreichen, die optimal für Wachstum und Reproduktion sind. Eine in diesem Zusammenhang besonders gut untersuchte Flagellatenart ist *Euglena gracilis*.

In der Nacht bewegen sich die Zellen nach oben in Richtung der Wasseroberfläche. Sie nutzen dazu eine so genannte negative Gravitaxis, d.h. sie schwimmen vom Zentrum der Schwerkraft weg. Am frühen Morgen wird die Präzision dieser Orientierungsbewegung durch eine positive Phototaxis, d.h. die Zellen bewegen sich auf die Lichtquelle (Sonne) zu, verbessert. Im Laufe des Tages steigt die Lichtintensität. Als Folge wird die bisher positive Phototaxis in eine negative Phototaxis umgestimmt. Die Zellen schwimmen dann so lange von der Lichtquelle weg, bis sich die negative Gravitaxis und die negative Phototaxis gerade kompensieren. In dieser Wassertiefe können die Zellen optimal Photosynthese betreiben, ohne dass zu starke (zu nah an der Wasseroberfläche) oder zu schwache Solarstrahlung die Photosyntheserate beeinträchtigt. Ökologisch ist dieses Verhalten wichtig, da es ein Modell für viele andere Organismengruppen darstellt, die wichtig für die globale Sauerstoffproduktion und Kohlendioxidaufnahme sind.

Diese Kombination mehrerer Orientierungsreaktionen ist schon lange bekannt. Doch erst in den letzten Jahren konnten diese Reaktionen molekular näher charakterisiert werden. Im Beitrag werden diese neuen Erkenntnisse diskutiert werden.

Unsicherheiten beim Referenz-Wirkungsspektrum für das UV-Erythem

Dr. Peter Bocionek, JW Holding GmbH, Stuttgart

Das Wirkungsspektrum für das UV-Erythem findet seit Jahrzehnten reges experimentelles und theoretisches Interesse. Obwohl zahlreiche Studien sich damit beschäftigten, wurde offenbar aufgrund der Diversifikation der publizierten Daten lange Zeit kein allgemein gültiges Wirkungsspektrum festgelegt. Die CIE (Commission Internationale L'Éclairage) empfahl 1935 die Anwendung einer sogenannten Standard-Erythemkurve [1], die auf den Ergebnissen von Coblentz (1934 [2]) basiert und später in leicht modifizierter Form in die DIN 5031-10 von 1978 [3] aufgenommen wurde. Sowohl das CIE- als auch das DIN-Wirkungsspektrum wurde in der Folge vielfach für Vergleichsuntersuchungen zur Erythemwirksamkeit verschiedener Strahlungsquellen verwendet.

Ab Mitte der 60er Jahre publizierte Daten verschiedener Autoren weisen auf deutliche Unterschiede im spektralen Verlauf der Erythemwirksamkeit hin, die auf die Verwendung unterschiedlicher Strahlungsquellen, anatomische Unterschiede der bestrahlten Hautareale, wodurch wesentliche Abweichungen in der Reaktion zu erwarten sind, sowie Unterschiede in Bezug auf die Intensität der Hautrötung als wahrgenommener Endpunkt für das Erythem zurückzuführen sind. Die unterschiedliche spektrale Wirksamkeit betrifft insbesondere den kurzwelligen Bereich; das ausgeprägte Minimum um 280 nm wird von den späteren Studien nicht bestätigt.

Im Auftrag der Division 6 der CIE erarbeiteten 1987 A.F. McKinlay und B.L. Diffey ein Referenz-Wirkungsspektrum für das UV-induzierte Erythem in der menschlichen Haut [4], das auf acht Studien zur Erythemwirksamkeit basiert, die zwischen 1964 und 1982 publiziert wurden. Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Anzahl von Werten für die eine MED (minimale erythemwirksame Dosis) pro untersuchter Wellenlänge, deren Standardabweichung und der Anzahl von Versuchspersonen wurden die mittleren MED-Werte berechnet und auf die relative Erythemwirksamkeit gleich 1,0 bei 300 nm normiert. Aus der resultierenden spektralen Abhängigkeit der relativen Erythemwirksamkeit wurde dann das Referenz-Wirkungsspektrum entwickelt, indem durch nochmalige Normierung die Daten der relativen Wirksamkeit zu drei mathematisch einfach beschreibbaren Funktionen zusammengefasst wurden. Da insbesondere unterhalb 280 nm die erhaltenen MED-Werte sehr stark variieren, wurde im Sinne der Vereinfachung und als Referenz für Vergleichszwecke eine einheitliche erythemale Empfindlichkeit im Bereich von 250 bis 298 nm angenommen.

Für das Referenz-Wirkungsspektrum im Spektralbereich oberhalb 320 nm stand lediglich die Studie von Parrish et al. (1982 [5]) zur Verfügung. Sowohl die relativ geringe Zahl von Versuchspersonen als auch die zum Teil sehr lange erforderliche Bestrahlungsdauer bis zum erkennbaren Erythem hinterlässt einige Unsicherheiten in Bezug auf den Verlauf im UVA und somit auf die Frage, ob es sich beim Referenz-Wirkungsspektrum tatsächlich um ein gemitteltes Aktionsspektrum für das UV-Erythem handelt.

[1] CIE Comptes Rendus 9 (Berlin: Tagung), 596-625 (1935)

[2] Coblentz, W.W., Bur. Stand. J. Res. 12, 13-14 (1934)

[3] Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung: Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren (1978)

[4] CIE Research Note, CIE-Journal Vol. 6 (no. 1), 17-22 (1987)

[5] Parrish, J.A., Jaenicke, K.F. und Anderson, R.R., Photochem. Photobiol. 36, 187-191 (1982)

Quantitative Beschreibung der Wirkungen von chronischen UV-Expositionen

Prof. Dr. Jürgen Kleinschmidt, Ludwig-Maximilians-Universität München

Wenn das FAZIT der Darstellungen lautet „**Datenlage sehr dünn und nicht belastungs-fähig**“, liegt dies an den prinzipiellen (theoretischen) Schwierigkeiten von Risiko(Steigerungs- oder Senkungs-)Abschätzungen zum publizierten **Gefährdungspotenzial** von UV-Strahlung wie auch von Ozon, Feinstaub, Aufenthalt in Radonbädern, Chlor in Thermalbädern, Arsen in Trinkwässern, Platinabgaben aus Katalysatoren, Aerosol aus Gädierwerken, klimatisch hohen Temperaturen, niedrigen Temperaturen, großer Luftfeuchte, geringer Luftfeuchte, Spurenmengen von Konservierungsmitteln in Obstschalen, Handystrahlung u. s. w. Verkompliziert wird das Beurteilungssystem mit einer – ursprünglich nur in der (klinischen!) Medizin realisierten, sich dabei aber verselbständigenden - Aufteilung in

- vernunftsbasierte Medizin (**EBM**) und – per Labelung evident im Sinne des humanistischen „offensichtlich“ –
- nicht vernunftsbasierte Medizin,

was bei Positiv-Wirkungen zu weiteren diskussionswürdigen Auswüchsen führt, dann aber bei Risiko-Abschätzungen auf einmal keine Rolle mehr spielt.

Nachdem vor allem in Deutschland eine typisch deutsche **Zielvorstellung nach Vollkasko-Absicherung** besteht (oder entwickelt wurde oder geschürt wird), überschlagen sich Verlautbarungen von **statistischen Schein-Profis** und – gefährlicher! – Halb-Profis, die sich von diesbezüglichen Voll-Profis (= grundständige Mathematiker mit Spezialisierung auf Statistik) nicht nur von der Ausbildung her, sondern vor allem vom Vermarktungs-Potenzial berechneter RR- oder OR- oder sonstiger Quotienten für diesen oder jenen mehr oder weniger sinnvollen Vergleich. Von der Auswirkung her leben wir de facto im **Mittelalter**: der tumbe Bürger lauscht andächtig denjenigen, die (und wer denn sonst?) es – wegen beanspruchter Kompetenz – zu wissen meinen, wenn – damals - diese oder jene Hexe zu identifizieren (und anschließend auch zu verbrennen) ist oder – heute - Handy-Masten oder Castor-Behälter angesägt oder **UV-Bestrahlungsanlagen** verboten werden.

Heute wie damals sollte eigentlich die **unmittelbare Erfahrung** mit diesem oder jenem in der Diskussion befindlichen Gefährdungspotenzial zu einer vernünftigen Gelassenheit führen, und darum werden ersatzweise vorsorglich **in die Zukunft projizierte Szenarien** in den Vordergrund geschoben, so auch die **Wirkung chronischer UV-Bestrahlungen**. Damit ist Tür und Tor geöffnet für *Grimm's Märchen „des Kaisers neue Kleider“*. Dabei ist nur zu hoffen, dass aufgeklärte Endnutzer von diesen oder jenen heutigen Gebrauchsgegenständen die Rolle des Kindes einnehmen, sich im übertragenen Sinne nicht einreden ließ „unter klugen Bürgern gilt dieses oder jenes unsichtbare Gefährdungspotenzial als unbestritten“, sondern feststellte: „der Kaiser ist ja nackt“!

In diesen Kontext sind die Beurteilungsansätze zu stellen, die zu **Standard-Wirkungskurven für chronische UV-Belastungen** führen:

- als orientierende Quantifizierungsbasis zur Diskussion innerhalb von Experten wohl nützlich,
- aber nicht darüber hinaus!

Dabei ist bereits die Grundlage der Wirkungskurven diskussionswürdig: gezielte prospektive Experimente nach den EBM-Kriterien der Kategorie I oder II verbieten sich aus ethischen Gründen, und die übrig bleibenden **historischen Vergleiche nach EBM III** bergen eben die Unsicherheit über Confounder in sich. So liegen allen Kurvenverläufen letztlich – als Expertenmeinungen, sprich EBM IV - **ALARA-Richtlinien** für Bevölkerungskollektive zugrunde, aber nicht auf das Individuum beziehbare Umrechnungen.

Dermatologisch relevante Wirkungsspektren

Prof. Dr. med. Joachim Barth, Hautarztpraxis Borna

Wirkungsspektren für UV-Strahlung und für sichtbare Strahlung sind in der Dermatologie sowohl aus diagnostischen wie auch therapeutischen Erwägungen von zunehmendem Interesse.

Für immunologisch determinierte Krankheitsbilder wie die polymorphe Lichtdermatose und die Lichturtikaria ist die Identifikation des auslösenden Wellenlängenbereiches zugleich eine wichtige Voraussetzung für die Einleitung der Therapie in Form der Photoabhärtung. Die Wirkungsmaxima der sogenannten Photosensibilisatoren liegen überwiegend im UVA-Bereich.

Sowohl von diagnostischem als auch therapeutischem Interesse sind die Wirkungsspektren der Porphyrinderivate, die im Rahmen der photodynamischen Therapie mit sichtbarem Licht gegenwärtig eine Renaissance erleben. Der im Ansteigen begriffene "weiße Hautkrebs" kann durch UVB-Strahlung aber auch UVA-Strahlung ausgelöst werden.

Das Wirkungsmaximum der UV-Therapie der Schuppenflechte liegt bei 313 nm während es für die andere dermatologische Volkskrankheit Neurodermitis offenbar im UVA 1-Bereich angesiedelt ist.

Die Ermittlung der Wirkungsspektren bei anderen, auf eine Bestrahlungstherapie ansprechenden Hautkrankheiten dürfte zu einer effizienteren und rationelleren Therapie auch dieser Erkrankungen führen.

Vor- und Nachteile einer Normung bei der Ermittlung der circadianen Lichtwirkung

Prof. i. R. Dr.-Ing. habil. Gall, Dietrich, Technische Universität Ilmenau

Wenn gegenwärtig Fragen der Normung anstehen, muss dies nach Möglichkeit im internationalen Rahmen erfolgen. Deshalb wird der internationalen Vereinheitlichung von Normen von Politik und Wirtschaft ein hoher Stellenwert eingeräumt.

So gibt es auch auf dem Gebiet der Lichttechnik und damit auch der Beleuchtungs- und Strahlungstechnik eine Vielzahl von Aktivitäten zur Internationalisierung der Normen. Insbesondere hat sich weltweit die Internationale Beleuchtungskommission CIE auf diesem Gebiet seit langen verdient gemacht.

Im EU-Rahmen liegen nun auch die ersten Resultate bei den Beleuchtungsnormen vor, die aber nur halbherzig von einigen EU-Ländern übernommen werden. Die Gründe dafür sind vielfältig. Auf der einen Seite muss man sich von national bewährten Normen verabschieden und auf der anderen Seite ist man von den neuen Festlegungen noch nicht restlos überzeugt. Auch Beleuchtungsgewohnheiten und -traditionen sind damit betroffen. Dazu kommt ein generelles Unbehagen gegenüber Beleuchtungsvorschriften von Seiten der Lichtgestalter und Beleuchtungstechniker, da sie ihre Gestaltungsmöglichkeiten eingegrenzt sehen. Konnte man sich diesbezüglich mit den nationalen Einrichtungen (z. B. DIN) noch in den entsprechenden Gremien (Fachausschüssen) auseinandersetzen, wird dies auf europäischer und internationaler Ebene immer anonymer möglich.

Neben den o.g. Beleuchtungsnormen gibt es auch die Notwendigkeit, Normen oder Gesetze und Regelwerke bzgl. der Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen zu schaffen. Sofern sich die Sicherheitsanforderungen auf die Funktion eines Produktes oder Verfahrens bezieht, ist die Normung aus technischen Gründen notwendig. Das bezieht sich auch auf die Messvorschriften und -verfahren.

Bei der Beschreibung der circadianen Wirkung der Strahlung ist bei der Messung die Wirkungskurve ($c(\lambda)$) heranzuziehen, die aber noch Gegenstand vieler Untersuchungen ist. Auf der einen Seite benötigt man zum Vergleich der Ergebnisse schon einen gewissen Grundkonsens, auf der anderen Seite sind aber Modifikationen der Wirkungskurve noch zu erwarten. Deshalb stellt sich gegenwärtig die Frage, wie man in diesem Falle vorgehen sollte.

Sofern die Wirkungskurve zunächst erst nur für vergleichende Bewertungen herangezogen werden soll, könnte sich auf eine vorläufige Festlegung (außerhalb von Normen) verständigen. Da die erforderlichen Werte für die Bestrahlung (Dosis) noch mit großen Unsicherheiten angegeben werden, sollte mit einer Festlegung der notwendigen Bestrahlung gewartet werden. Wenn dann die Normung erfolgt, müssen auf jeden Fall auch alle anderen Aspekte der Lichtwirkung mit berücksichtigt werden. Eine verbindliche Festlegung würde dann auch nicht in den Kompetenzbereich der Normung fallen, das müsste von staatlichen Stellen unter Einbeziehung anderer Stellen (z. B. Berufsgenossenschaften) bewerkstelligt werden.

Erythemwirksamkeit langwelliger UV-Strahlung

Dr. Helmut Piazena, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Charité
H. Meffert, Dermatologisches Zentrum Berlin

Die erythemwirksame Bestrahlungsstärke ist eine wichtige Basisgröße zur Dosierung von UV-Hautbestrahlungen des Menschen wie auch zur Beurteilung der biologischen Relevanz der Solarstrahlung oder künstlicher UV-Strahlungsquellen. Sie geht aus der Gewichtung der spektralen Bestrahlungsstärke mit dem Aktionsspektrum des UV-Hauterythems und anschließender Integration über den Wellenlängenbereich erythemwirksamer UV-Strahlung hervor. Zur Berechnung der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke werden gegenwärtig das Aktionsspektrum in der Definition der CIE nach Mc Kinley and Diffey (1987) oder das auf LASER-gestützten Messungen basierende Aktionsspektrum nach Anders et al. (1995) herangezogen. Die Anwendung beider Aktionsspektren resultiert insbesondere im Bereich langwelliger UV-Strahlung (UV-A) in wesentlichen Unterschieden der berechneten erythemwirksamen Bestrahlungsstärke, die mit entsprechenden Unsicherheiten und Fehlern bei der Bewertung und bei der Dosierung von UV-Hautexpositionen mit UV-A-Bestrahlungsgeräten verbunden sind. Zur Überprüfung der Relevanz beider Aktionsspektren wurden experimentelle Untersuchungen vorgenommen, deren Ergebnisse im Beitrag vorgestellt und diskutiert werden.

Postervortrag 1

Messung circadian wirksamer Bestrahlungsstärken mit einem integral messenden Radiometer

Dr. Dieter Kockott, DK UV-Technik, Dr. Helmut Piazena, Hautklinik der Charité
R. Sippel MSS Elektronik GmbH, Fröndenberg

Viele biologische Prozesse werden durch optische Strahlung beeinflusst. Vor wenigen Jahren wurden spezielle Rezeptoren in der Retina des Auges entdeckt, die für die Steuerung der Melatoninproduktion verantwortlich sind. Die Wirkungsfunktion dieser circadian wirksamen Strahlung wurde bestimmt.

In dem Poster wird ein integral messendes Radiometer vorgestellt, das die circadian wirksame Bestrahlungsstärke misst. Es werden gezeigt:

- spektrale Empfindlichkeit des Empfängers im Vergleich zur circadianen Wirkungsfunktion
- cos-Anpassung des Empfängers
- Vergleich der Messwerte mit der Messung der spektralen Bestrahlungsstärke mit einem Doppel-Monochromator und anschließender Wichtung mit der Wirkungsfunktion für eine Reihe von Strahlenquellen
- Bewertung der Messung mit einem Faktor, der die abnehmende spektrale Transmission der Augenlinse mit zunehmendem Alter berücksichtigt.

Das Messgerät ist für den Gebrauch in der Praxis insbesondere in der Arbeitsmedizin, beim Arbeitsschutz, zur Dosierung und Bewertung in der Lichttherapie, wie auch für die optimale Auslegung von Beleuchtungsanlagen im industriellen und im privaten Bereich geeignet.

Postervortrag 2

Begrenzungen der UV-A1 Hochdosistherapie

Dr. Helmut Piazena, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Charité Berlin

UV-A1-Strahlung bezeichnet den Teilbereich ultravioletter Strahlung mit Wellenlängen zwischen 340 nm und 400 nm. Die therapeutische Nutzung der UV-A1-Strahlung erfolgt nach den Leitlinien der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) zur UV-Phototherapie als niedrig dosierte Therapie mit Dosen im Bereich UV-A1 ($H_{UV-A1} \leq 20 \text{ J cm}^{-2}$), als mitteldosierte Therapie mit $H_{UV-A1} \approx 30 - 50 \text{ J cm}^{-2}$ und als Hochdosistherapie mit $H_{UV-A1} \geq 130 \text{ J cm}^{-2}$, wobei die Schwellendosis des UV-Hauterythems $H_{er} = 250 \text{ J m}^{-2}$ während der Expositionsdauer nicht überschritten werden darf. Berechnungen auf der Grundlage spektralradiometrischer Vermessungen von Mustern aller in Anwendung stehenden Gerätetypen zur UV-A1-Therapie zeigten, daß alle Geräte die Kriterien der niedrig dosierten und der mitteldosierten UV-A1-Therapie erreichen, keines aber die Kriterien zur Hochdosistherapie. Diese Berechnungen wurden durch experimentelle Untersuchungen an Probanden mit einem UV-A1-Hochdosisgerät bestätigt, bei denen Erytheme nach Bestrahlungen beobachtet wurden, die den vorausberechneten Maximaldosen im UV-A1-Bereich entsprachen und Beträge $H_{UV-A1} \leq 90 \text{ J cm}^{-2}$ aufwiesen. Weitere Berechnungen zeigten, daß die *cut-off* Wellenlänge zur Filterung des Emissionsspektrums der Bestrahlungsgeräte Beträge oberhalb von 375 nm aufweisen muß, um Dosen $H_{UV-A1} \geq 130 \text{ J cm}^{-2}$ bis zum Erreichen der Erythemschwellendosis $H_{er} = 250 \text{ J m}^{-2}$ überhaupt zu ermöglichen. Die vermessenen Bestrahlungsgeräte zur UV-A1-Hochdosistherapie emittierten dagegen auch UV-Strahlung unterhalb dieser Wellenlänge, so daß das Erreichen der Erythemschwellendosis je nach Art der Strahlungserzeugung und Filterung die maximal möglichen Dosen im Spektralbereich UV-A1 auf Beträge im Intervall $68 \text{ J cm}^{-2} \leq H_{UV-A1} \leq 91 \text{ J cm}^{-2}$ prinzipiell beschränkte. Andererseits zeigen die Berechnungen, daß die zur Einhaltung der Kriterien der Hochdosisfähigkeit erforderliche Filterung der Geräte mit Verminderungen der Bestrahlungsstärke im Spektralbereich UV-A1 zwischen 51% und 81 % verbunden wäre, die einerseits den therapeutischen Effekt auf Grund einer möglichen Verletzung des *Bunsen-Roscoe* -Gesetzes in Frage stellen und andererseits entsprechende Vergrößerungen der erforderlichen Bestrahlungsdauer bedingen. Aus den vorliegenden Daten ist zu schlußfolgern, daß die an UV-A1-Hochdosisgeräte gestellte Forderung $H_{UV-A1} \geq 130 \text{ J cm}^{-2}$ prinzipiell nicht erfüllbar ist. Ferner erscheint eine kritische Revision der vorliegenden Dosis-Wirkungsbeziehungen in der Literatur wie auch eine Neudefinition der Anforderungen an die Dosierung in der UV-A1-Hochdosistherapie und zur Klassifizierung der Bestrahlungsgeräte als notwendig. Vorgeschlagen wird der Betrag $H_{UV-A1} \geq 80 \text{ J cm}^{-2}$ als Kriterium zur Charakterisierung der UV-A1-Hochdosistherapie wie auch zur Einschätzung der „Hochdosisfähigkeit“ der Bestrahlungsgeräte.

Postervortrag 3

Altersabhängige Änderungen der Linsentransparenz und die circadiane Wirksamkeit der Solarstrahlung an der Oberfläche von Lampen

Helmut Piazena, R. Uebelhack, Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Charité

Dr. Dieter Kockott, DK UV-Technik Hanau

Objectives: The circadian action spectrum and the effective threshold irradiance for melatonin suppression were measured for young adults of about 25 years with dilated pupils. However, the spectral transmittance of the human eye-lenses shows typical age dependent decreases and shifts to longer wavelengths. Thus, the incident circadian effective irradiance has to be increased with age and depending on incident luminance to generate equivalent stimuli on the retina. Furthermore, the ratio between circadian irradiance and illuminance on the retina changes with age due to the age-dependent long-wavelength shift of lens transmittance. The aim of the investigation was to estimate the effect of age-dependent changes of lens transmittance upon the circadian effectiveness of solar irradiance at the Earth's surface and of lamps with different emission spectra.

Methods: Based on data of spectral eye transmittance and of spectral irradiance calculations were performed to extrapolate the threshold values of melatonin suppression to persons of different age which were experimentally determined only for young adults.

Results: The calculations show that both the incident (corneal) circadian irradiance as well as the incident illuminance have to be increased nearly similarly for persons with age above about 25 years to receive equivalent irradiance on the retina. In contrast, for youth and for children the ratio between the incident illuminance and the illuminance on the retina is nearly constant, whereas the required incident circadian irradiance to get equivalent retinal stimuli strongly decreases with decreasing age due to high lens transmittance in the short wavelength range.

Conclusions: The results show the need to consider ageing effects of the eyes for the evaluation of circadian effectiveness and effects of lighting as well as to develop optimised lamps and illumination conditions in order to stimulate or to prevent melatonin suppression. Whereas outdoor sun light exposures between sunrise and sunset during cloudless sky cause sufficient melatonin suppression in persons of all age steps, the suitable daily times are limited in the case of cloud covered sky and depend on latitude, season, age, type of cloudiness and degree of cover. Thus, artificial lighting of sufficient circadian effectiveness is required in these cases to prevent disorders of light stimulated chronobiological rhythms and psychological states.

Keywords: circadian effective radiation, eye transmittance, aging effects.

Postervortrag 4

Aktueller Stand der Arbeiten an Aquahab

Sebastian M. Strauch, Donat-P. Häder, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen

OMEGAHAB (für *Oreochromis-mossambicus-Euglena-gracilis*-aquatisches-Habitat) wird am 14. September 2007 mit dem russischen Satelliten FOTON-M3 ins All starten und nach ca. zwei Wochen zurückkehren. Das Experiment ist ein Gemeinschaftsprojekt der Universitäten Hohenheim und Erlangen und besteht aus einem geschlossenen System mit *Euglena gracilis*, einem einzelligen Süßwasserflagellaten als Sauerstoffproduzenten, und *Oreochromis mossambicus*, einer afrikanischen Buntbarschart. Die Fischlarven werden mithilfe des von *Euglena* produzierten Sauerstoffs am Leben erhalten; ihre Entwicklung in der Schwerelosigkeit und besonders die Entwicklung der Schwerewahrnehmungsorgane ist von zentralem Interesse für die zoologische Komponente des Experiments. Außerdem soll *Euglena* ihre Eignung als Primärproduzent in einem bioregenerativen Lebenserhaltungssystem unter Beweis stellen, und auch ihr Verhalten selbst wird Gegenstand von wissenschaftlichem Interesse sein: *Euglena* orientiert sich normalerweise am Schwerkraftvektor und schwimmt im Dunkeln nach oben; in Schwerelosigkeit fehlt diese Information.

Eine speziell entwickelte, vollautomatische Hard- und Software ermittelt während des Fluges zahlreiche Parameter (Temperaturen in verschiedenen Bereichen des Reaktors, Sauerstoffgehalt, ...) und zeichnet Videosequenzen sowohl der Fische als auch der Einzeller auf. Anhand der gewonnenen Daten werden automatisch die Beleuchtung und die Temperatur so reguliert, dass eine ausreichende Sauerstoffproduktion ebenso gewährleistet ist wie eine optimale Umgebung für die Fischlarven. Diese werden durch ein Fütterungssystem nach einigen Tagen im All mit Futter versorgt, denn unmittelbar nach dem Schlüpfen sind sie wegen ihres Dottersackes noch nicht auf Futter angewiesen. Den Zeitpunkt der ersten Fütterung bestimmt die Experimentsoftware aus der Zeit seit dem Schlüpfen und dem Temperaturprofil in dieser Zeit, da durch höhere oder tiefere Temperaturen die reguläre Entwicklung beschleunigt oder verlangsamt wird.

Anschriften der Autoren und Sitzungsleiter I. und II. Block

Name	Anschrift	Telefon Fax E-Mail
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Heering	Universität Karlsruhe Lichttechnisches Institut Kaiserstr. 12 76131 Karlsruhe	0721 6082538 0721 6082590 wolfgang.heering@lti.uni-karlsruhe.de
Dr. Peter Sperfeld	Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig Bundesallee 100 38116 Braunschweig	0531 5924144 0531 592694144 peter.sperfeld@ptb.de
Dipl.-Ing. Anton Gugg-Helminger	Gigahertz-Optik GmbH Fischerstr. 4 82178 Puchheim	089 80001920 089 80001960 a.gugg-helminger@gigahertz-optik.de
Dipl.-Physiker Peter Knuschke	Uniklinik der TU Dresden Klinik für Hautkrankheiten Fetscher Str. 74 01307 Dresden	0351 4583552 0351 4584338 Knuschke@rcs.urz.tu-dresden.de
Prof. Dr. rer. nat. Manfred Tevini	Universität Karlsruhe Botanisches Institut, Botanik II Kaiserstr. 12 76131 Karlsruhe	0721 6083841 0721 6084878 Manfred.Tevini@bio-geo.uni-karlsruhe.de
Priv. Doz. Prof. Dr. Wolfgang Gärtner	Max-Planck-Institut Mühlheim -Bioanorganische Chemie- Stiftstr. 34-36 45470 Mühlheim a.d. Ruhr	0208 3063693 0208 3063951 gaertner@mpi-muehlheim.mpg.de
Dr. Harald Seidlitz	GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit Exp. Umweltsimulation Ingolstädter Landstr. 1 85764 Neuherberg	089 31872413 harald.seidlitz@gsf.de
Prof. Dr. Christian Wiencke	Stiftung Alfred Wegener Institut Am Handelshafen 12 27570 Bremerhaven	0471 48311338 0471 48311425 cwiencke@awi-bremerhaven.de

Anschriften der Autoren und Sitzungsleiter III. und IV. Block

Name	Anschrift	Telefon Fax E-Mail
Prof. Dr.-Ing. Dieter Kreysig	AQUAROTTER-a Franke Company Parkstr. 1-5 14974 Ludwigsfelde	03378 818345 03378 818433 dieter.kreysig@franke.com
Dipl.-Ing Alexander Cabaj Regine Sommer	Veterinärmedizinische Universität Wien Veterinärplatz 1 A-1210 Wien	+43 1-220774322 +43 1-250774390 alexander.cabaj@vu-wien.ac.at
PD Dr. Michael Lebert	Friedrich Alexander Universität Erlangen Institut für Biologie Standstr. 5 91058 Erlangen	09131 8528217 09131 8528215 mlebert@biologie.uni-erlangen.de
Dr. Peter Bocionek	JW Holding GmbH Kölner Str. 8 70376 Stuttgart	0711-5400480 0711-5400424 peter.bocionek@jw-holding.de
Prof. Dr. Dr. Jürgen Kleinschmidt	LMU München Institut f. med. Balneologie u. Klimatologie Marchionistr. 15 81377 München	089 70954281 089 70958829 juergen.kleinschmidt@uni-muenchen.de
Prof. Dr. med. Joachim Barth	Dermatologiepraxis Borna Rudolf Virchow-Straße 4 04552 Borna	03433 27630 03433 276330 JoBarth@t-online.de
Prof. Dr. Dietrich Gall	Technische Universität Ilmenau Postfach 100565 98684 Ilmenau	03677 894316 (priv.) 03677 842463 dietrich.gall@tu-ilmenau.de
Dr. Helmut Piazena	Charité-Campus Mitte, Klinik f. Psychatrie Bonnhöferweg 3, Charitéplatz 1 10117 Berlin	030 450517216 030 450517909 helmut.piazena@charite.de

Anschriften der Autoren Poster

Name	Anschrift	Telefon Fax E-Mail
Dr. Kockott Dieter	DK UV-Technik Vogelsberger Str. 27 63456 Hanau	06181 659162 06181 659175 kockott@t-online.de
Dr. Helmut Piazena	Charité-Campus Mitte, Klinik f. Psychatrie Bonnhöferweg 3, Charitéplatz 1 10117 Berlin	030 450517216 030 450517909 helmut.piazena@charite.de
Sebastian M. Strauch Donat-P. Häder	Friedrich-Alexander-Universität Ökophysiologie d. Pflanzen, Institut f. Biologie Staudtstr. 5 91058 Erlangen	09131 8528218 09131 8528215 sstrauch@biologie.uni-erlangen.de



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

Telefon: 03677 846922
Telefax: 03677 842463
e-mail: matthias.menz@tu-ilmenau.de