



**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

# 99423 Weimar

## Inhalt

Prof. Dr. Michael Kneissl, Universität Berlin <b>Halbleiter-basierte UV LEDs: Anwendungen und Herausforderungen</b>	<b>4</b>
Dr. Alex Voronov, Heraeus Noblelight GmbH, Hanau <b>Hochbelastete Hg-Niederdruckstrahler</b>	<b>5</b>
Dr. Rainer Kling, KIT, LIT und Dr. Klaus Stockwald, OSRAM GmbH <b>Quecksilberfreie Plasmastrahlungsquellen</b>	<b>6</b>
Dr. Mark Paravia , KIT, LTI <b>Excimer-Strahler für technische Anwendungen</b>	<b>7</b>
Dipl. -Phys. Peter Knuschke, Universität Dresden <b>Prävention durch Vitamin D</b>	<b>8</b>
Prof. Dr. Wolfgang Heering, KIT, LTI <b>Aktionsspektren – Begründung, Messung und Anwendungen</b>	<b>10</b>
Dr. Martin Sörensen, a.c.k. aqua concept GmbH <b>Behandlung von Abwasser mittels Enviolet® - UV-Oxidation</b>	<b>12</b>
Dr. Martin Sörensen, a.c.k. aqua concept GmbH <b>Synthetische Photochemie</b>	<b>13</b>
Dr. Jörg Heerlein, OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Regensburg <b>LED/Laser-Bauelemente – Technologie, Bauelemente und deren Anwendungen</b>	<b>14</b>
Dr. Sven Linow, Heraeus Noblelight GmbH, Hanau <b>Temperaturstrahler für nahes, mittleres und fernes IR</b>	<b>15</b>
R. Breternitz, Mesela, Rudolstadt <b>Berührungslose Temperaturmessung in der Glasindustrie</b>	<b>17</b>
Prof. Dr. Dr. Urs Schwab, Buchs <b>Wärmetransport in menschlichem Gewebe</b>	<b>18</b>
Rolf Wirth, Adophos, Bruckmühl <b>Sekundenschnelle Erwärmung von PET-Preformen mittels kurzwelliger IR-Strahlung</b>	<b>20</b>
Dr. Helmut Piazena, H. Meffert Charité Berlin <b>Anwendung infraroter Strahlung für Therapie und Wellness</b>	<b>21</b>
Dr. Ing. Hartmut Müller, ifw Günter-Köhler-Institut, Jena <b>Einsatz von IR- Laserstrahlen für die Fertigung im Bereich der Glasanwendungen</b>	<b>22</b>

Dr. Liane Vogel, Zittau <b>Wärmehaushalt von Gebäuden</b>	<b>23</b>
<b>Postervortrag 1</b>	
Marko Hofmann <b>Modular aufgebaute UV-LED Einheit mit integrierter Optik</b>	<b>24</b>
<b>Postervortrag 2</b>	
Martin Fricke <b>Funktionalisierung von Implantatoberflächen durch Photoanregung</b>	<b>25</b>
<b>Anschriften der Autoren</b>	<b>26</b>

# Halbleiter-basierte UV LEDs: Anwendungen und Herausforderungen

Michael Kneissl

Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Berlin

Lichtquellen im ultravioletten (UV) Spektralbereich finden bereits heute breiten Einsatz in einer Anzahl von wichtigen Anwendungen. Quecksilberdampf Lampen stellen dabei immer noch die gebräuchlichste UV-Lichtquelle dar. Sie finden beispielsweise Verwendung bei der Reinigung von Trinkwasser, der Sterilisation von Lebensmitteln, in der Phototherapie oder bei der UV-Härtung von Farben und Epoxydharzen. Allerdings ist die Nutzung dieser konventionellen UV-Lichtquellen auch mit einer Reihe von Nachteilen verbunden, wie Probleme der Umweltbelastung durch das Schwermetall Quecksilber, die relativ kurzen Lebensdauern und aufwändige Alterungsüberwachung sowie die langen Aufwärmzeiten und der ungünstige Formfaktor. Getrieben durch die rasante Entwicklung Galliumnitrid-basierter blauer und weißer Leuchtdioden (LEDs) haben sich in den letzten Jahren die Forschungsaktivitäten im Bereich Halbleiter-basierter LEDs, die im ultravioletten Spektralbereich emittieren, weltweit intensiviert. UV-LEDs sind kompakt, äußerst robust, lassen sich sehr schnell ein- und ausschalten und können bei moderaten Spannungen betrieben werden, was z.B. den Batterie- oder Solarbetrieb ermöglichen würde. Erste UV-LEDs basierend auf dem Materialsystem InN-GaN-AlN wurden bereits realisiert [1]. Durch Variation der Zusammensetzung lassen sich maßgeschneiderte LEDs erzielen, die wahlweise im UV-A, UV-B und sogar in großen Teilen des UV-C Spektralbereiches emittieren. Allerdings ist die Leistung dieser Nitrid-basierten UV-LEDs immer noch relativ bescheiden. Die externen Quantenausbeuten liegen bei UV-LEDs typischerweise noch bei wenigen Prozent und die Ausgangsleistungen im Milliwatt-Bereich. In dem Vortrag werden die jüngsten Fortschritte in der Entwicklung von effizienten UV-Leuchtdioden erörtert und einige der leistungslimitierenden Faktoren diskutiert. Dazu gehören neue Ansätze zur Verringerung der relativ hohen Defektdichten in AlGaN-Materialien und innovative LED Chip-Designs für eine verbesserte Lichtextraktion. Erste Experimente zur Anwendungen von UV-LEDs zur Desinfektion von Wasser werden ebenfalls vorgestellt [2].

- [1] M. Kneissl, T. Kolbe, C. Chua, V. Kueller, N. Lobo, J. Stellmach, A. Knauer, H. Rodriguez, S. Einfeldt, Z. Yang, N. M. Johnson, M. Weyers, *Advances in group III-nitride based deep UV light emitting diode technology*, *Semiconductor Science & Technology* **26**, 014036 (2011)
- [2] M.A. Würtele, T. Kolbe, A. Külberg, M. Lipsz, M. Weyers, M. Kneissl, M. Jekel, *Application of GaN-based deep ultraviolet light emitting diodes – UV-LEDs – for Water disinfection*, *Water Research* **45**, 1481 (2011).

## Hochbelastete Hg-Niederdruckstrahler

Alex Voronov  
Heraeus Noblelight GmbH

Ein Hg-Niederdruckstrahler ist seit ca. 80 Jahren als hoch effizienter UV-Emitter bekannt. Die Effizienz im UVC Bereich liegt bei ca. 40% und im VUV Bereich bei ca. 7%. Neben der Hauptanwendung in allgemeiner Beleuchtung als Fluoreszenzlampe ist in letzten 25 Jahren eine neue industrielle Anwendung entstanden: Desinfektion von Wasser, Luft, Oberflächen usw. , die sich die Resonanzlinie der Hg-Niederdruckentladung 254 nm zu Nutze machen. Diese industriellen Anwendungen brauchen eine deutlich höhere Leistungsdichte als eine der Fluoreszenzlampe. Aus diesem Grund wurden bei den führenden Herstellern der UV-Lampen die intensiven Entwicklungsarbeiten betrieben, mit dem Ergebnis, daß sich die Leistungsdichte der Lampen verzehnfacht hat und mittlerweile bei 5 W/cm der Lampenlänge liegt. Dies wurde durch die Verwendung der neuen Konzepte, Materialien und Technologien ermöglicht. Im Vortrag werden diese Aspekte beleuchtet.

Der Übergang von reinem Hg-Strahler zu einem Amalgamstrahler ermöglichte eine drastische Steigerung der Leistungsdichte. Dies führte aber zu einer schnellen Alterung des Strahlers – Verlust der UV-Emission im Laufe der Brenndauer. Der physikalische Grund dieser Alterung liegt in der Implantation der Hg-Ionen in die Quarzwand der Lampe, was zu einer deutlichen Verringerung der Transmission vom Quarzkolben im UV-Bereich führt. Die Implantation der Hg-Ionen in Quarz kann durch die transparenten Schutzschichten verhindert werden. Im Vortrag werden unterschiedliche Beschichtungstechnologien vom Quarz mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt. Die Beschichtungen verlängern die Lebensdauer der Strahler bis auf 20.000 h mit einem minimalen Verlust in der UV-Emission.

Die andere Resonanzlinie von der Hg-Entladung 185 nm findet heute auch breite Anwendung in den photochemischen Technologien für Luft- und Oberflächenbehandlung. Die Energie dieser Photonen ist ausreichend, um fast alle organischen Bindungen aufzubrechen. Dies wird effektiv für die Beseitigung der organischen Stoffe in Luft (Fettpartikelchen, Gerüche) und für die Reinigung der Oberflächen auf dem Molekularniveau benutzt.

So sind die modernen Hg-Hochleistungslampen zu einem wichtigen Bestandteil der industriellen photochemischen Technologien geworden. Die Hauptanwendungen der Hg-Lampen werden vorgestellt.

## **Quecksilberfreie Plasmastrahlungsquellen**

Dr. Rainer Kling, KIT, LIT  
und  
Dr. Klaus Stockwald, OSRAM GmbH

Abstract lag bis zur Veröffentlichung der Vortragsmappe nicht vor.

## Excimer-Strahler für technische Anwendungen

Mark Paravia, KIT, LTI

Der Einsatz optischer Technologien ermöglicht eine Vielzahl von Anwendungen wie die ressourcenschonende Fertigung industrieller Produkte, neuartige medizinische Phototherapien und reicht weiter bis hin zur Wasserdesinfektion. Hochleistungsstrahler im UV-Spektralbereich ermöglichen allgemein hohe Prozessgeschwindigkeiten bei geringen Betriebskosten. Optimalerweise ist das Emissionsspektrum der Strahler auf das Wirkspektrum des Bestrahlungsgutes angepasst.

Für die UV-Polymerisation ist der Hg-Mitteldruckstrahler daher am weitesten verbreitet. Die UV-Strahlungsausbeute beträgt circa 25 - 30 % der elektrischen Leistung. Für die Wasserdesinfektion werden auf Grund der besseren Effizienz von bis zu 40% vorrangig Hg-Niederdruckstrahler eingesetzt.

Als weitere Alternative zu Hg-Entladungslampen sind Excimerstrahler auf Basis der dielektrisch behinderten Entladung (DBE) wieder verstärkt Forschungs- und Entwicklungsgegenstand. Vorteil der Excimerstrahler ist die Anpassungsmöglichkeit der Emission an das Wirkungsspektrum des Bestrahlungsgutes. Dies erfolgt durch Einsatz von Leuchtstoffen und minimiert damit Nebenwirkungen durch eine schmalbandige Emission. Nötig ist hierfür eine effiziente Excimerentladung bei möglichst hoher Leistungsdichte.

Excimerstrahler können weiter als einzige Gasentladungslampe flächig mit nahezu beliebiger Elektrodenform realisiert werden. Die Flachlampe »Planilum« der Firma Saint Gobain Glass France hat beispielsweise eine Fläche von 60 x 60 cm<sup>2</sup> und ist als dekorative Beleuchtung verfügbar. Jedoch ist die elektrische Leistungsdichte zur Vermeidung von Blendung gering.

In dem Vortrag werden die heute verfügbaren Xenon-Excimerstrahler aufgezeigt und die erreichbaren Leistungsdichten abgeschätzt. Weiter wird der technische Einsatz durch Phosphore und die Konversionsverluste diskutiert. Hierzu werden Excimerstrahler goniometrisch vermessen. Die Messergebnisse zeigen eine heute erreichte elektrische Leistungsdichte von 800 mW/cm<sup>2</sup> bei einer Plasma-Effizienz von 33 % für Xenon-Excimerstrahler. Wird die Leistungsdichte auf 300 mW/cm<sup>2</sup> verringert, so sind auch Plasma-Effizienzen von 45 % möglich.

## Prävention durch Vitamin D

Peter Knuschke, Universität Dresden

Vitamin D ist derzeit ein sehr populärer Forschungs- und Diskussionsgegenstand – hat sich doch gerade in den letzten 20 Jahren eine Fülle neuer Erkenntnisse auf dem Gebiet ergeben.

Vitamin D in seiner Hormonfunktion spielt nicht nur beim Knochenstoffwechsel eine entscheidende Rolle. Es war 1921 im Zusammenhang der antirachitischen Wirkung von Leberöl entdeckt worden. Und man hatte festgestellt, dass dessen antirachitische Wirkung vergleichbar war zu der antirachitischen Wirkung die Sonnenstrahlung, sowie die künstliche Höhensonne erzielten.

Vitamin D kann über die Nahrung, am effizientesten über fetten Seefisch, aufgenommen werden. Eine zweite Versorgungsschiene ist die Einleitung des Vitamin-D-Stoffwechsels über die Umbildung des in der Oberhaut (Epidermis) vorhandenen Provitamin D<sub>3</sub> unter solarer UV-B-Strahlung in Prävitamin D<sub>3</sub>. Es kann vom Menschen selbst synthetisiert werden und ist deshalb kein Vitamin im engeren Sinn.

Eigentlich sollte doch die Evolution dafür gesorgt haben, dass die jetzt lebende Spezies ausreichend mit Vitamin D versorgt ist.

Dann sollte es doch gar kein Thema „Prävention durch Vitamin D“ geben.

Sprich, dann sollten mehrheitlich Vitamin-D-Zufuhr und Vitamin-D-Status gar keine bedeutsame Rolle mit Präventionseinfluss auf den Gesundheitsstatus haben.

Der momentan gültige Normbereich für das 25OH-VitaminD<sub>3</sub>, an dem der Vitamin-D-Status festgemacht wird, liegt bei 20 – 80 ng/ml.

Eine Studie des Robert-Koch-Institutes an 2267 Frauen und 1763 Männer in Deutschland wies als Jahresmittel 17,9 ng/ml bzw. 18.1 ng/ml aus.

Eine Reihe Faktoren, oft von unserem heutigen Verhalten geprägt, spielen eine Rolle bezüglich des individuellen Vitamin-D-Status. Der Trend relativ niedrige Serumwerte für das 25OH-VitaminD<sub>3</sub> ist weit verbreitet zu verzeichnen, sogar in südlicheren, sonnenreicheren Ländern.

Der bisher gültige Normwertbereich für den Vitamin-D-Status wurde an einer ausreichenden Level für den Knochenstoffwechsel festgemacht.

Insbesondere in den letzten 20 Jahren wurden aber eine Reihe weiterer Vitamin-D-basierter organischer Wechselwirkungen vermutet bzw. nachgewiesen. Voraussetzung für die diskutierten gesundheitsförderlichen Aspekte ist ein durchgängig höherer Vitamin-D-Status:

- Senkung des Risikos für verschiedene Tumoren
- Erniedrigung des Risikos für kardiovaskuläre Erkrankungen
- Verbesserung des Status der Skelettmuskulatur
  - Erhöhte Gang- und Standsicherheit insbesondere bei älteren Menschen
- Erhöhte Lebensdauer bei Dialysepatienten
- Prävention gegen neurologische Erkrankungen (u. a. Demenz, MS)

In den letzten 10 Jahren wurden bereits eine Reihe Studien aufgelegt, um die bis dahin explorativen Daten evidenzbasiert zu untermauern.

Teilweise ist das bereits gelungen. Hier besteht nicht mehr die Fragestellung, ob Vitamin D einen gewissen gesundheitspräventiven Einfluss hat.

Die große, teilweise sehr konträr geführte Diskussion derzeit ist vor allem, aus den Studien einen evidenzbasierten Normbereich zur Absicherung präventiver Effekte auf den Organismus durch Vitamin D zu erzielen. Mehrheitlich sieht man einen 25OH-VitaminD<sub>3</sub>-Serumspiegel > 30 ng/ml als „optimalen Vitamin-D-Status“ an. Das würden auch einzelne Studienergebnisse stützen. Jedoch beim Weg dahin scheiden sich die Geister: 200, 400, 600, 1000, 2000, 4000, 10000 oder gar 300000 IE, alle diese anzustrebenden Tagesdosen für Vitamin D stehen im Raum.

Weiterhin zu prüfen ist, ob ein derartiger optimaler Vitamin-D-Status für die Mehrheit der Bevölkerung ganzjährig, auch über den Winter, durch die natürliche UV-Strahlung im Alltag realisierbar ist, oder wegen der steigenden Lebenserwartung nur zum Preis eines deutlich steigenden Hautkrebsrisikos.

## Aktionsspektren – Begründung, Messung und Anwendungen

Wolfgang Heering

Lichttechnisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie

Optische Strahlung erzeugt eine Vielzahl von photobiologischen und photomedizinischen Wirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen [1]. Aber auch Materialien wie Farben, Lacke und Kunststoffe können unter Strahlungsexposition in ihren physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften verändert werden. Um die Strahlungswirkungen quantitativ zu beschreiben, zu erfassen, zu überwachen und zu dosieren, wurden aktinische Strahlungsgrößen wie wirksame Bestrahlungsstärken und Schwellenbestrahlungen eingeführt. Das Konzept aktinischer Strahlungsgrößen basiert auf Aktionsspektren, die die Abhängigkeit physikalischer, chemischer, biologischer und therapeutischer Effekte von der Wellenlänge der Strahlung beschreiben.

Zur Vorhersage photobiologischer Wirkungen wird nach Kiefer [2] 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)  $n$  generierter Photoprodukte bestimmt, so wird angenommen, funktional eindeutig die Wirkung. In diesem Modell ergibt sich  $n$  proportional der aktinischen Bestrahlung

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

wobei  $H$  hier die physikalische Bestrahlung mit der Wellenlänge  $\lambda$  bezeichnet.  $s_{akt}(\lambda)$  ist die relative spektrale Empfindlichkeit des biologischen Empfängers und erweist sich als proportional dem Absorptionsquerschnitt des Chromophors und der Quantenausbeute des Effekts. Sie wird auf diejenige bei der Wellenlänge  $\lambda_0$  bezogen und **Wirkungsfunktion oder Aktionsspektrum** genannt. Die Proportionalität von  $n$  und der aktinischen Bestrahlung  $H_{akt}$  impliziert das Gesetz von **Bunsen-Roscoe**.

Zur Bestimmung eines Wirkungsspektrums misst man bei verschiedenen Wellenlängen die physikalischen quasimonochromatischen Bestrahlungen  $H_s(\lambda, x)$ , die erforderlich sind, um dieselbe Wirkung  $A_s$  zu erzielen. 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  $\lambda$  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  $s_{\text{akt}}(\lambda)$  relativ groß.

In einigen Fällen ist das Aktionsspektrum gleich dem oder einfach zurückführbar auf das Absorptionsspektrum eines Chromophors. Z. B. haben Parrish et al. [3] gezeigt, dass das Aktionsspektrum für die UV-Erythembildung, bei der die UV-Absorption temporäre oder permanente Zellschädigungen bewirkt, sehr ähnlich ist dem DNA-Absorptionsspektrum der Basalschicht, multipliziert mit dem spektralen Transmissionsgrad der schützenden Hornhaut in der oberen Schicht der Epidermis. Die Absorber in der DNA sind die Basen, die Purin-Abkömmlinge Adenin und Guanin, und die Pyrimidin-Derivate Thymin und Cytosin. Ihnen ist gemeinsam das Absorptionsmaximum bei 260 nm und der schnelle Abfall zu längeren Wellenlängen. Die Absorption der Proteine zwischen 240 und 300 nm ist viel kleiner als jene der Nukleinsäuren bei gleicher Konzentration. Da in den Zellen die meisten Proteine in einer großen Anzahl identischer Kopien vorhanden sind, stören photochemische Reaktionen in nur einem Teil von ihnen die photobiologische Funktion nur geringfügig. Eine Übersicht über die Spektralbereiche der Absorption unterschiedlicher chromophorer Gruppen biologischer Systeme wird präsentiert [4]. Die Strahlungsnorm DIN 5031-10 [5] gibt für den Bereich photobiologischer Wirkungen auf das menschliche Auge, die menschliche Haut, auf Pflanzen und Mikroorganismen eine Vielzahl von Wirkungsfunktionen und aktinischen Schwellenbestrahlungen wieder.

- [1] W. Heering, *Aktinische Radiometrie*, Wirkung des Lichts auf Menschen, DIN-Expertenforum, Berlin 25.06.2008
- [2] J. Kiefer, *Methodik und Möglichkeiten der biologischen Aktionsspektroskopie*, S. 194-206 aus PTB-Opt-24, Braunschweig 1986
- [3] J.A. Parrish et al., *Photochemistry and Photobiology* **36**, 187 (1982)
- [4] M. Tevini, D.-P. Häder, *Allgemeine Photobiologie*, Thieme Verlag, Stuttgart 1985
- [5] DIN 5031 – 10, *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren*, Beuth Verlag, Berlin 2011

## **Behandlung von Abwasser mittels Enviolet® - UV-Oxidation**

Dr.-Ing. Martin Sörensen, a.c.k. aqua concept GmbH

Die UV-Oxidation ist ein Verfahren welches zur Entfernung von toxischen oder biologisch schwer abbaubaren Stoffe geeignet ist. Der wenig verbreitet technische Einsatz der UV-Oxidation liegt an den ungeeigneten Reaktoren und Verfahren zu Behandlung optisch dichter Medien.

Durch die a.c.k. aqua concept GmbH wurden bereits in den späten 90er Jahren Reaktoren entwickelt und im industriellen Maßstab eingesetzt, die allen Ansprüchen zur industriellen Abwasseraufbereitung genügen.

Im Vortrag soll anhand von ausgewählten Beispielen aufgezeigt werden, wie chemische Verbindungen erfolgreich oxidiert werden und wie zugehörige Anlagen beschaffen sind.

## **Synthetische Photochemie**

Dr.-Ing. Martin Sörensen, a.c.k. aqua concept GmbH

Am Beispiel einer neuartigen Synthese wird beschrieben, wie eine chemische Synthese mit einem stark verunreinigten Produkt durch eine neuartige photochemische Synthese ersetzt wurde. Dabei konnte ein 7-stufiges klassisches Verfahren durch ein 3-stufiges Verfahren ersetzt werden.

Das Fotoverfahren führt nicht nur zu einer wesentlich höheren Gesamtausbeute, sondern liefert das Endprodukt in einer fast schon kommerziellen Reinheit. Damit vereinfacht sich die spätere Produktreinigung erheblich.

## Infrarot LED/LASER: Technologie, Bauelemente und deren Anwendungen

Dr. Jörg Heerlein, Opto Semiconductors GmbH

IRED (Infrarot LED) und Laser für den nah-infraroten Spektralbereich werden aus dem quaternären Materialsystem InAlGaAs hergestellt. Quantenfilmstrukturen sorgen hier für eine sehr effiziente Lichterzeugung. Durch geeignete Zusammensetzung und Dicke der Quantenfilme kann ein Spektralbereich von ca. 780 – 1100 nm kontinuierlich abgedeckt werden. Lange war die Effizienz bei klassischen IRED begrenzt durch die Reflektion an den seitlichen Grenzflächen und entsprechend hoher Absorption im Halbleiter. Konsequenz war vor einigen Jahren die Entwicklung von Dünnschichtstrukturen für IRED, durch deren Hilfe das Licht vornehmlich an der Oberseite emittiert und eine elektro-optische Gesamteffizienz von über 30% erreicht wird. Gleichzeitig kann über die Chipfläche die Ausgangsleistung skaliert werden, und eine Ausgangsleistung von bis zu 1 W (DC) aus einem einzigen 1mm<sup>2</sup> großen Chip ist möglich.

Anwendungen für IRED und Laserdioden finden sich heute in der Industrie, in der Medizin und im Automobil genauso wie in Consumer-Anwendungen (TV, Computer, Handy, etc). IRED werden im Wesentlichen für Sensorik (z.B. Lichtschranken, Rauchmelder, Geldscheinerkennung, geometrische Messtechnik), IR Beleuchtung (z.B. Nachtsicht, Überwachungskameras, Machine Vision) und zur optischen Datenübertragung eingesetzt (z.B. 3D Fernseher, Fernbedienung, kabellose Kopfhörer, etc.). GaAs-Laser verwendet man in optischen Sensoren (LIDAR, ToF, 3D, Stereometrie, Spektrale Messungen), in medizinischen Anwendungen wie Haarentfernung und auch der industriellen Materialbearbeitung (z.B. Schneiden, Schweißen, Härten).

Aufgrund der Vielzahl der heutigen Applikationen gibt es die unterschiedlichsten Anforderungen an die Bauelemente. Die wichtigsten Parameter sind Wellenlänge, optische Leistung, Baugröße und Abstrahlwinkel. Typische IRED Wellenlängen sind 850 nm und 950 nm, da sie im Wesentlichen an die spektrale Empfindlichkeit von Empfängern auf Si-Basis optimiert sind, wie CMOS Kameras, Fotodioden oder Fototransistoren. GaAs-Laserdioden werden hingegen häufig zum Pumpen von Festkörperlaser verwendet. Hier bestimmen die Absorptionsbänder im Festkörperkristall die Wellenlänge. 808nm für Nd-YAG ist heute die bedeutendste Wellenlänge. Je nach Anforderung und Pulsleistung bzw. mittlerer Leistung ist sowohl die Chipfläche als auch der thermische Widerstand des Gehäuses von hoher Bedeutung. Letzterer bestimmt wesentlich die Verlustwärme und Effizienz des Bauelements. Daher kommt auch der externen Kühlung oftmals eine besondere Bedeutung zu. Bei Industrielasern wird deshalb häufig Wasserkühlung verwendet. Solche Diodenlaser erzielen heute Leistungen bis in den kW-Bereich bei Effizienzen von > 60%. Auf der anderen Seite der Palette, in Anwendungen bei denen der Bauraum knapp ist und der Leistungsbedarf moderat, werden heute Mini-Bauformen (ChipLED) von nur 1.7 x 0.8 mm (50 mW) eingesetzt. Eine andere wichtige Eigenschaft ist die Strahlverteilung oder der Abstrahlwinkel, der oftmals über interne oder externe Optiken geformt wird. Hier lassen sich mit Lasern aufgrund ihrer Kohärenzeigenschaften deutlich engere Strahlwinkel einstellen und auch wesentlich höhere Leistungsdichten erzielen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass es für die meisten Anwendungen viele spezialisierte Bauelemente gibt, deren jeweilige Vorteile man gezielt einsetzen kann. Damit man hier nicht den Überblick verliert, werden wir die wesentlichen Eigenschaften erläutern und verschiedene Beispiele von Anwendungen und dafür geeignete Bauelemente vorstellen.



## Temperaturstrahler für nahes, mittleres und fernes IR

Dr.-Ing. Sven Linow  
Heraeus Noblelight GmbH

Die Vielzahl von am Markt erhältlichen technischen Lösungen für thermische Infrarotstrahler lassen sich auf wenige Grundprinzipien zurückführen. Alle diese Prinzipien sind schon seit langem bekannt, trotzdem finden sie immer neue Anwendungen und sie werden stetig weiter entwickelt. Allen ist zu Eigen, dass elektrische Leistung in einem Widerstandselement in Wärme umgewandelt wird, die dann von diesem Element direkt (Filament) oder von indirekt beheiztem Material als thermische Strahlung abgegeben wird. Die emittierte Strahlung ist breitbandig.

Die wesentlichen Prinzipien sind:

- Carbon-Filamente in einem Hüllkolben aus Glas angeordnet wurden ursprünglich für die Beleuchtung entwickelt (Edison 1879) und stellen diese heute die technisch beste Lösung für Strahlung mit Emissionsmaximum im kurzwelligen IR-B dar.
- Wolfram Wendeln in einem Hüllkolben aus Glas angeordnet wurden ursprünglich für die Beleuchtung entwickelt (Coolidge 1913) und stellen heute die technisch beste Lösung für Strahlung mit Emissionsmaximum im IR-A dar.
- Eine wesentliche Weiterentwicklung hin zu sehr kurzwelliger Strahlung des IR-A bietet der Einsatz eines Halogen-Kreislaufes (ca. ab 1970).
- Die AlCrFe Heizlegierung (Kanthal AB, ca. 1930) kann sehr vielseitig eingesetzt werden. Neben dem Einbau in ein Quarzglas Hüllrohr kann dieses Material auch in eine Keramik eingegossen werden (Elstein-Prinzip), in Stahlrohre mittels Steatit o.ä. isoliert eingelegt werden (Heizpatrone, Heizstab, ...), oder direkt als Heizelement eingesetzt werden. Auf dieser Basis sind die allermeisten technischen Lösungen für Emission im langwelligen Teil des IR-B aufgebaut.
- Molybdändisilizid, Siliziumkarbid, Grafit, CFC-Composite werden immer dann eingesetzt, wenn die technisch einfacheren oder günstigeren Varianten für die spezielle Anwendung nicht in Frage kommen. Sie decken den Bereich IR-A und IR-B ab.

Strahler die vorrangig im IR-C abstrahlen können auf eine wesentlich breitere Materialbasis zurückgreifen, jedoch ist hier meist der Wärmetransport über Infrarotstrahlung nur ein Teilbeitrag, zumeist dominiert konvektiver Wärmetransport.

Beim Design einer Anlage für einen effizienten und kostengünstigen Infrarot Prozess stellt die Festlegung der spektralen Emission der Strahlenquelle nur einen von vielen Punkten bei der Auswahl des geeigneten Strahlers dar. Hier sind zudem z.B. die Produkt-Qualität, der benötigte Durchsatz, die benötigte Regelung, die Energieeffizienz der gesamten Anlage, der Preis, die Verfügbarkeit, die Interaktion mit dem Prozess, der Platzbedarf, die Kühlung von gleichwertigem Gewicht.

Die wesentlichen spektralen Eigenschaften thermischer Strahler sind festgelegt durch

- die Oberflächentemperatur - diese definiert das Maximum und die Verteilung der spektralen Emission fest;
- etwa 25 % der gesamten Strahlungsleistung werden in einem schmalen Bereich auf der kurzwelligeren Seite des Abstrahlungsmaximums abgegeben;
- 75 % der abgegebenen Strahlungsleistung werden im langwelligeren Bereich und über einen weiten spektralen Bereich abgegeben;
- Bei Strahlern mit einem Hüllkolben aus Quarzglas wird elektrische Leistung über konvektiven und konduktiven Transport an das Hüllrohr abgegeben, dazu absorbiert das Hüllrohr je nach Filament und Temperatur 5 % bis 50 % der Strahlungsleistung. Diese Wärme kann bei heißen Hüllrohren als zusätzliche IR-C Strahlung abgegeben werden, oder als konvektive Wärme.

Verlangt der Prozess eine homogene Durchwärmung des Volumens des Substrates, so ist es besonders vorteilhaft, das Maximum der abgestrahlten spektralen Leistung so zu legen, dass diese Strahlung tief in das Material eindringt, bzw. sogar im wesentlichen transmittiert wird – dieser Ansatz wird z.B. beim Einsatz von Halogen IR-A Strahlern für die PET Erwärmung für Blow Mould Maschinen genutzt.

Soll jedoch semitransparentes Material, wie Kunststoff oder Glas schnell und effizient erwärmt werden, so ist es wesentlich, möglichst hohe Anteile der Strahlung direkt absorbieren zu lassen, dann bieten sich IR-B Strahler an. Zur Vermeidung von thermischen Spannungen kann dann das Substrat z.B. beidseitig erwärmt werden.

Beim Trocknen von Druckstoffen auf Papier ist es vorteilhaft, IR-B Strahlung einzusetzen, da dann alle Farbstoffe ähnliches Absorptionsverhalten zeigen.

Halbleitermaterialien weisen meist im Bereich ihrer Bandlücke eine stark temperaturabhängige Absorption auf, die eine Bestrahlung in diesem Bereich ermöglichen.

Diese wenigen Beispiele sollen verdeutlichen, dass allein aus der Kenntnis des Absorptionsspektrums des zu erwärmenden Substrates noch keine stringente Regel abgeleitet werden kann, welcher Strahler eingesetzt werden muss. Vielmehr ergeben sich gute technische Lösungen erst aus einer intensiven technischen Auseinandersetzung zwischen Prozesseigner, Anlagenbauer und Infrarot Lieferant. Hierbei ist es vorteilhaft, wenn alle drei frühzeitig in die Diskussion einsteigen und wenn der Lieferant der Infrarot Lösung auf ein breites Produktportfolio zurückgreifen kann.

## Berührungslose Temperaturmessung in der Glasindustrie

R. Breternitz, MESELA Mess- und Sensortechnik GmbH

Berührungslose Temperaturmessung in der Glasindustrie

Es werden die physikalischen Grundlagen der Infrarot-Temperaturmessung (Strahlungsthermometrie) vorgestellt.

Warum werden in der Glasindustrie Temperaturen oft berührungslos gemessen?

Die Besonderheiten beim Einsatz von Strahlungsthermometern am Werkstoff Glas werden erläutert.

Einen breiten Raum nimmt die Darstellung der messtechnischen Daten der Strahlungsthermometer für den Einsatz in der Glasindustrie ein.

Am Beispiel typischer Applikationen werden die Einsatzbedingungen näher untersucht, um dem Anwender hilfreiches Basiswissen über diese Messtechnik zu vermitteln.

Anhand der Temperaturmessung dünner Gläser wird die Fülle der einzuhaltenden Randbedingungen erläutert. Dabei werden nicht zuletzt auch die Vorteile und die Grenzen dieser Messtechnik dargestellt.

Fragen der Überprüfung und Kalibrierung solcher Messmittel werden beantwortet.

Eine Übersicht über häufig eingesetzte messtechnische

Lösungen im Industriezweig rundet das Bild ab.

# Wärmetransport in menschlichem Gewebe

U. Schwab, Buchs

## Modellgleichung aus der Energiebilanz über lebendes Gewebe

In einem homogenen Körper gilt für den Wärmetransport die Wärmeleitungsgleichung

$$pc \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \text{grad} T) + \dot{w}(T) p_B c_B (T_a - T) + \dot{q}_{\text{met}}(T) + \dot{q}_{\text{dep}}(\vec{x}, t)$$

Der erste Term auf der rechten Seite bilanziert den konduktiven Wärmestrom bei lokalem Temperaturgefälle. Im lebenden Gewebe führt die Durchblutung (Perfusion) zu einem konvektiven Wärmetransport (2. Term). Es addiert sich der mit dem Leben verknüpfte Stoffwechsel als metabolischer Energiequellterm (3. Term) hinzu. Der letzte Term (Deposition) soll die im Gewebeinnern therapeutisch induzierte Wärmegenerierung, wie durch IR-Absorption, beschreiben. Alle Terme werden als volumenspezifische Grössen angegeben. Index B ist Blut. Dichte  $\rho$ , Leitfähigkeit  $\lambda$ , spez. Wärmekapazität  $c$ , Durchblutung  $\dot{w}$ .

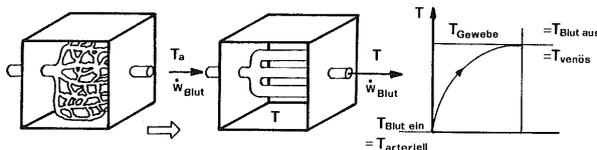


Abb. 1: Konvektiver Wärmetransport durch das Blut

### Blut als Wärmeträgermedium

Die grosse Austauschfläche des kapillaren Blutnetzes stellt einen perfekten Wärmeaustauscher dar. Filtration und Resorption zwischen Blutgefässen und Gewebe verstärken zusätzlich den Wärmeaustausch. Das arterielle Blut tritt mit der Temperatur  $T_a$ , die der Körperkerntemperatur entspricht, in das Vaskulernetz der Endstrombahnen ein und nimmt beim venösen Austritt die aktuelle Gewebetemperatur  $T$  an. Ist das angrenzende

Gewebe wärmer als das eintretende arterielle Blut, so bewirkt die Perfusion eine Kühlung; ist die betrachtete Körperregion kälter, so wird dieser Gewebereich durch den Blutfluss aufgeheizt.

### Modellaufbau zur Temperaturverlaufsberechnung bei lokaler Applikation

Wird eine Körperregion einer flächenmässig begrenzten Wärmequelle ausgesetzt, so genügt ein eindimensionales Gewebeschichtenmodell mit dem Aufbau Oberhaut, Dermis, Unterhautfettgewebe und Muskel.

### Lokale thermoregulatorische Mechanismen

In dem der Wärmebeaufschlagung ausgesetzten Hautabschnitt erweitern sich mit zunehmender Gewebetemperatur die venösen Gefässe; durch den geringeren Strömungswiderstand steigt die Hautdurchblutung. Die temperaturabhängige Durchblutung  $\dot{w} = \dot{w}(T)$  kann sich in bestimmten Hautschichten bis zum über zehnfachen Wert der Basaldurchblutung steigern. Rechenbeispiel. Die Exposition eines Körperteils erfolgt an eine flächenmässig begrenzte IR Quelle mit Nennleistung 10 Watt pro Quadratdezimeter. Verlust durch Strahlungsabsorption bei Luftpassage 10%. Ein Drittel der Energiedeposition (Wärmequelle  $\dot{q}_{\text{dep}}$ ) für den nahen Infrarotbereich erfolgt in der Oberhautschicht und zu zwei Drittel in der Dermis mit Eindringtiefen bis zu 3mm Tiefe. Temperaturprofil zu Beginn ist der basale Temperaturverlauf mit Hauttemperatur  $32^\circ\text{C}$  und Muskeltemperatur  $36^\circ\text{C}$ . Als Randbedingung ist die konvektive Wärmeabfuhr von der Haut an die Umgebungstemperatur bei  $22^\circ\text{C}$  berücksichtigt. Ergebnis. Die höchste Erwärmung erfolgt in 2 bis 3mm Gewebetiefe und nicht an der Hautoberfläche.

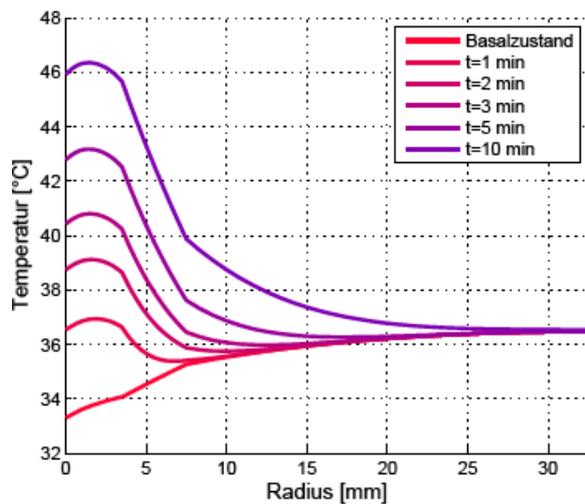
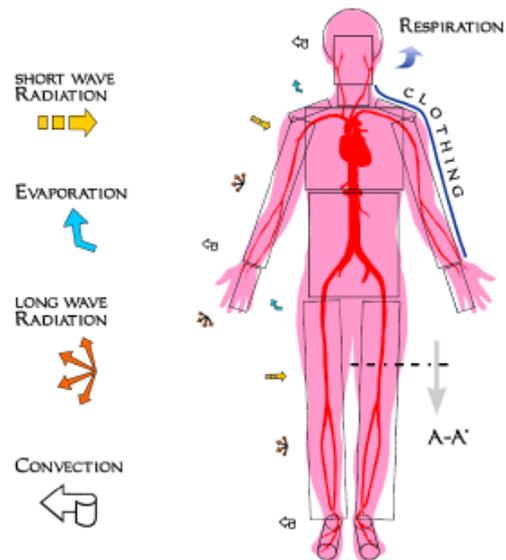


Abb. 2: Temperaturverlauf im Gewebe bei Bestrahlung mit IR A Lampe nach Modellrechnung (ICE, CH-Buchs)

Die thermische Wirkung der Behandlung bleibt auf eine Gewebetiefe bis zu 2 bis 3 cm beschränkt. Nach 10 Minuten ist die Verträglichkeit aufgrund der steigenden Hauttemperatur erreicht.

### Ganzkörpermodell

Bei grossflächiger Bestrahlung mit IR oder beim Einbezug der ganzen Körperoberfläche (Infrarotkabine) ist die Wärmeaufnahme des Organismus so gross, dass systemische thermophysiologische Reaktionen zur Aufrechterhaltung der Homöothermie in Gang gesetzt werden. Vasodilatation oberflächennaher Venen. Die Anpassung des regionalen peripheren Blutstromes in der Haut erfolgt nun durch das Zusammenwirken der lokalen Gewebetemperatur  $T$ , der mittleren Hauttemperatur und der hypothalamischen Temperatur (Körperkerntemperatur). Aus empirischen Werten lassen sich numerische Stützfunktionen für die Hautperfusion als Funktion der aktuellen Gewebetemperatur und der Körperkerntemperatur aufstellen. Aktivierung der Schweißsekretion. Das an die Hautoberfläche gelangende Wasser führt zur vermehrten Wärmeabgabe durch Verdunstung über die ganze Körperoberfläche. Die zusätzliche Kühlung der Hautoberfläche wird als Randbedingung an die Umgebung berücksichtigt. Der Wärmeverlust durch Atmung steigt durch Erhöhung des Wasserdampfpartialdruckes leicht an. Dieser Wärmefluss wird in der Gesamtenergiebilanz berücksichtigt. Der lokale



Temperaturverlauf wird während einer Ganzkörperwärmebehandlung

Abb. 3: Systemische Modellbildung (Fiola)

von der steigenden Körperkerntemperatur mitbestimmt. Die Temperatur des arteriell eintretenden Blutes  $T_a$  muss für die Modellgleichung für jeden Zeitschritt neu berechnet werden. Die Berechnung erfolgt über eine Energiebilanz über den ganzen Körper. Aus den der Wärmebehandlung ausgesetztem Gewebeabschnitten fließt das venöse Blut mit den dort herrschenden Gewebetemperaturen ab und mischt sich im rechten Herzen mit dem venösen Rückstrom aus kühleren Körperorganen. Die resultierende Mischtemperatur für die gesamte Blutmenge ergibt die neue arterielle Bluttemperatur  $T_a$  für den nächsten Rechenzyklus bei  $t + \Delta t$ . Ausführung der systemischen Modellbildung. Um die Aufstellung eines hochauflösenden Ganzkörpermodells zu umgehen, kann das für lokale Anwendungen vorgestellte Gewebemodell an ein vorhandenes Energiebilanzmodell für den ganzen Körper angekoppelt werden, welches nach jedem Zeitschritt eine Gesamtwärmebilanz ausführt und die neue aktuelle Bluttemperatur  $T_a$  an das lokale Modell wieder übergibt.

# Sekundenschnelle Erwärmung von PET-Preformen mittels kurzwelliger IR-Strahlung – die NIR-Technologie –

Dipl.-Phys. Rolf E. Wirth  
adphos Innovative Technologie GmbH

Der Kunststoff Polyethylenterephthalat (PET) ist ein teilkristalliner Thermoplast, der in den letzten Jahrzehnten einen regelrechten Siegeszug als Verpackungsmaterial angetreten hat und speziell im Bereich von Getränkeverpackungen für Kaltgetränke heute den gleichen -wenn nicht sogar einen höheren- Stellenwert wie Glas erreicht hat. PET-Flaschen hatten im Jahr 2009 in Europa einen Marktanteil von 37%; bei nicht alkoholischen Getränken sogar 73%.

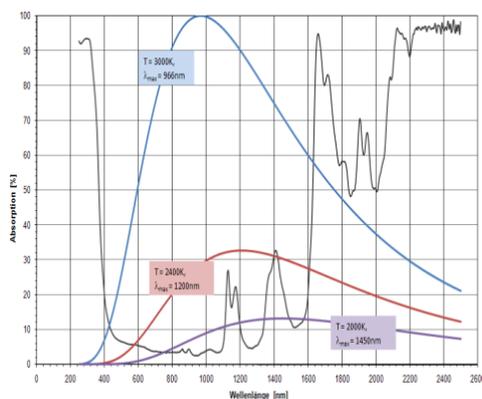
Die PET-Flaschen werden mit Hilfe des Streckblasverfahren (Stretch Blow Moulding) hergestellt. Der dazu notwendige Energieaufwand ist mit einem Anteil von 7% an den Gesamtproduktionskosten mehr als doppelt so hoch, wie bei der Kunststoffverarbeitung sonst üblich; 30% des Energieaufwandes entfallen dabei alleine auf das Beheizen der PET-Vorformlinge.

Moderne Streckblasmaschinen produzieren bis zu 70.000 Flaschen in der Stunde.

Bei einer mittleren Maschinenleistung von 44.000 Flaschen/h und einer typischen 33 g Preform für eine 1,5 Liter Wasserflasche, werden in der Stunde 1,4 Tonnen PET-Material verarbeitet. Das erfordert eine elektrische Wirkleistung der Heizung von ca. 275 kW bei konventioneller Infrarot Beheizung.

Neu entwickelte Heizungssysteme auf der Basis der NIR (Near-InfraRed)-Technologie können diese Wirkleistung, wegen ihres deutlich verbesserten Wirkungsgrades, im Schnitt um 30% reduzieren.

Bei konventionellen IR-Heizzeiten von etwa 30 Sekunden müssen dem Preform-Körper Wärmeleistungen von 18 bis 20 kW/m<sup>2</sup> zugeführt werden, was nur durch eine mittels Strahlung erzeugter Volumenerwärmung geschehen kann. Die Erwärmung durch Konvektion oder über Kontakterwärmung scheidet daher aus.

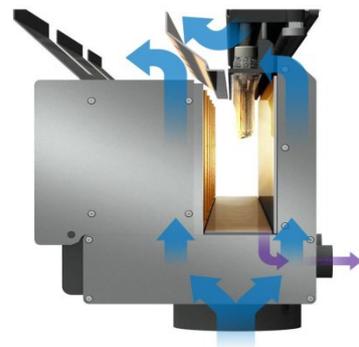


Durch eine geeignete Wahl von NIR-Emitter mit Farbtemperaturen von 3.000 K, konnte der Wärmeeintrag in das PET-Material verdoppelt werden. Dadurch wurden die NIR-Heizzeit und die damit verbundene Ofenbaulänge um 50% reduziert.

**Bild 1.** Absorptionsspektrum von klarem PET, überlagert mit drei Planck-Isothermen der Farbtemperaturen 2.000 K, 2.500 K und 3.000 K.

**Bild 2** ist ein NIR-Heizkasten der neuesten Generation zu sehen, der serienmäßig in modernen Hochleistungs-PET Streckblasmaschinen eingesetzt wird.

Dargestellt sind kleine Preformen, die hängend und drehend durch den Strahlungsraum transportiert werden. Zusätzlich ist die Luftverteilung für die Modulkühlung und Prozessraumventilation dargestellt.



## Anwendung infraroter Strahlung für Therapie und Wellness

H. Piazena und H. Meffert, Charité Berlin

Anwendungen infraroter (IR) Strahlung auf den Menschen gehören zu den ältesten Therapieverfahren und erfahren seit der Entwicklung selektiver Strahlungsfiltertechniken wie auch der *low level laser*- und LED-Techniken eine wachsende Bedeutung. Letztere gestatten bei Emission im Teilbereich IR-A (0,78 – 1,40  $\mu\text{m}$ ) sowie bei genügend kleiner Bestrahlungsstärke und -fläche, athermische therapeutische Wirkungen ohne wesentliche Gewebeerwärmung zu stimulieren. Hiervon zu unterscheiden sind thermisch verursachte Wirkungen, die nach Strahlungsabsorption und lokaler Erwärmung des Gewebes stimuliert und für Therapie und Wellness genutzt werden. Erwärmungen von Haut und Gewebe finden statt, wenn der lokale Wärmeeintrag die Effektivität der Wärmetransportprozesse (Konduktion über molekulare Schwingungen und Konvektion über periphere Blutgefäße) im Gewebe übersteigt. Da beide Wärmetransportprozesse in ihrer Effektivität begrenzt sind, hängt der resultierende thermische Effekt nicht nur von der Dosis, sondern auch von der Bestrahlungsstärke und von der Größe der exponierten Fläche ab. Das *Bunsen-Roscoe*’sche Proportionalitätsgesetz ist daher weder zur Dosierung noch zur Extrapolation von Dosis-Wirkungs-Beziehungen anwendbar. Auf Grund der Wellenlängenabhängigkeit der Wechselwirkungsprozesse Reflexion, Streuung und Absorption hängt die auch die Eindringtiefe der IR-Strahlung in das Gewebe von der Wellenlänge ab, so dass sich die resultierenden thermischen Effekte von IR-Strahlung aus den Teilbereichen IR-A, IR-B (1,4 – 3,0  $\mu\text{m}$ ) und IR-C (3,0  $\mu\text{m}$  – 1,0 mm) bei gegebener inzidenter Bestrahlungsstärke wesentlich voneinander unterscheiden und in die Planung der IR-Bestrahlung einbezogen werden müssen. Zu berücksichtigen sind ferner die Wärmebilanz zwischen Organismus und Umgebung und regulative Prozesse des Organismus.

Den für Therapie und Wellness erwünschten Wirkungen stehen akute Schädwirkungen (wie Hitzeschmerz, Verbrennungen, *urticaria thermalis*, kardiovaskulärer Kollaps) und chronische Schädwirkungen bei zu häufiger Überwärmung (wie *erythema ab igne* und Plattenepithelkarzinom) gegenüber, die zur Begrenzung von IR-Expositionen auf die Haut bezüglich der Bestrahlungsstärke, der Expositionsdauer und der Bestrahlungshäufigkeit Anlass geben. Allerdings zeigte eine Analyse verfügbarer Grenzwerte, dass diese für Anwendung von IR-Strahlung zur erwünschten Gewebeerwärmung ungeeignet sind.

Aufbauend auf einer experimentellen Analyse der optischen Eigenschaften von Haut und Gewebe im sichtbaren und im IR-Bereich unter *in vitro*- und unter *in vivo*-Bedingungen wurden daher die thermische Effekte bei Anwendung unterschiedlicher IR-Strahlungsspektren und Expositionsbedingungen an Probanden gemessen und Vorschläge für spektral abhängige Grenzwerte der Bestrahlungsstärke für zum Einsatz von IR-Strahlung in Therapie und Wellness abgeleitet.

Der Beitrag gibt ferner eine Übersicht über Anwendungsempfehlungen und -perspektiven des Einsatzes von IR-Strahlung für therapeutische Zwecke und Wellness.

# Einsatz von IR- Laserstrahlen für die Fertigung im Bereich der Glasanwendungen

Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH Jena

J. Bliedtner\*, S. Kasch, H. Müller, A. Petrich, S. Wächter, Th. Schmidt  
Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH, \*Fachhochschule Jena

Für die industrielle Glasbearbeitung mit Laserstrahlung gibt es ein sehr weites Anwendungsfeld. Neben den Glaseigenschaften wird die jeweilige technische Anwendung durch die Laserstrahleigenschaften wie Wellenlänge, Leistung, Pulsenergie, Wechselwirkungsdauer und Pulsfrequenz bestimmt.

Der CO<sub>2</sub> - Laser und der Nd:YAG - Laser nutzen die Erwärmung des Werkstoffes und damit Effekte, wie thermische Spannungen, Schmelzen und Verdampfen. Entscheidend für die Wechselwirkung ist die Absorption des Glases gegenüber der Wellenlänge des verwendeten Lasers. Die wichtigsten verfahrenstechnischen Anwendungen sind:

- Trennen durch thermisch induzierte Spannungen
- Trennen durch Werkstoffschmelzen und Werkstoffabtragen - Schneiden
- Schweißen, Löten und Umformen zum Fügen
- Beschriften und Markieren.

Zu einigen Anwendungsfeldern werden verfahrenstechnische Ergebnisse zum Schneiden/ Bohren, Schweißen, Löten und Umformen sowie einer Glasbeschriftung mit Nd:YAG - Laser vorgestellt. Die Anwendungen orientieren sich an den Forderungen der Mikro- bzw. Feinbearbeitung.

## **Feinschneiden**

Der Einsatz eines CO<sub>2</sub>-Lasers im cw- Betrieb oder einem gepulsten Regime mit einer entsprechenden hohen Strahlqualität ermöglicht ein spannungsarmes Feinschneiden von Quarzglas. Die Bearbeitung von Gläsern mit höheren Ausdehnungskoeffizienten ist nur begrenzt möglich. Hier ist das Trennen durch thermisch induzierte Spannungen anwendbar.

## **Bohren**

Durch das Laserstrahlbohren lassen sich in Quarzglas Bohrungen mit Toleranzen von wenigen Mikrometern erzeugen. In der Regel wird ein stationäres Bohren angewendet.

## **Schweißen**

Das Laserstrahlschweißen beruht prinzipiell auf der Umsetzung der Energie des Laserstrahles in das Aufschmelzen des Werkstoffes.

Der CO<sub>2</sub>-Laserstrahl lässt sich in seinen Parametern und in seiner Zuordnung zum Werkstück so einstellen, dass in einem begrenzten Bereich ein Aufschmelzen des Werkstoffes und damit eine Stoffverbindung durch Schweißen erzielt werden kann.

## **Löten**

Die Verbindung Glas-Glas wird mit einem angepassten Glaslot möglich gemacht, indem das Glaslot aufgebracht und in einem Temperaturprozess vorverglast wird. Anschließend kann durch eine Lasererwärmung die Verbindung erreicht werden.

## **Beschriften**

Eine Glasbeschriftung durch CO<sub>2</sub>-Laserstrahlung ist durch einen abtragenden Prozess gekennzeichnet und damit spannungsbehaftet. Mit dem Nd:YAG - Laser und durch Verwendung von speziellen glasangepassten Zusatzwerkstoffen ist eine Beschriftung berührungslos möglich.

## **Polieren**

Die Erwärmung der Glasoberfläche mit CO<sub>2</sub> Laserstrahlen führt zu einem örtlichen Anschmelzen und damit zu einer Feuerpolitur der Glasoberfläche. Es können Rauheitswerte von ca. 5nm erzielt werden.

Die Anwendung der Laser führt in der Regel zu automatisierten Prozessen und es kann zur Herstellung von vollständig neuartigen Bauteilen und Baugruppen führen.

## Wärmehaushalt von Gebäuden

Dr.-Ing. Liane Vogel, Hochschule Zittau/Görlitz

Das Interesse am „Wärmehaushalt von Gebäuden“ fügt sich ein in die Bemühungen zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen und zur Reduzierung von Energieverbrauch und Schadstoffausstoß. Um diese Ziele zu erreichen werden zunehmend Gebäude mit hoher Energieeffizienz geplant und neu errichtet bzw. saniert.

Außerdem existieren Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, die die Behaglichkeit der Nutzer sichern und die Konstruktionen vor Schimmel- oder Tauwasserbildung bewahren sollen.

Nicht zuletzt stellt sich immer die Frage nach der Bezahlbarkeit bestimmter Maßnahmen, nach der ökonomischen Motivation.

Mit der Infrarotthermografie werden Oberflächentemperaturen als farbige Flächen abgebildet. Es werden „Schwachstellen“ in der Dämmung von Gebäuden, Durchfeuchtungen und Leckagen in der Gebäudehülle aufgespürt. Diese Informationen unterstützen bei der Beurteilung des Wärmeschutzes und bei der Erarbeitung notwendiger Sanierungslösungen.

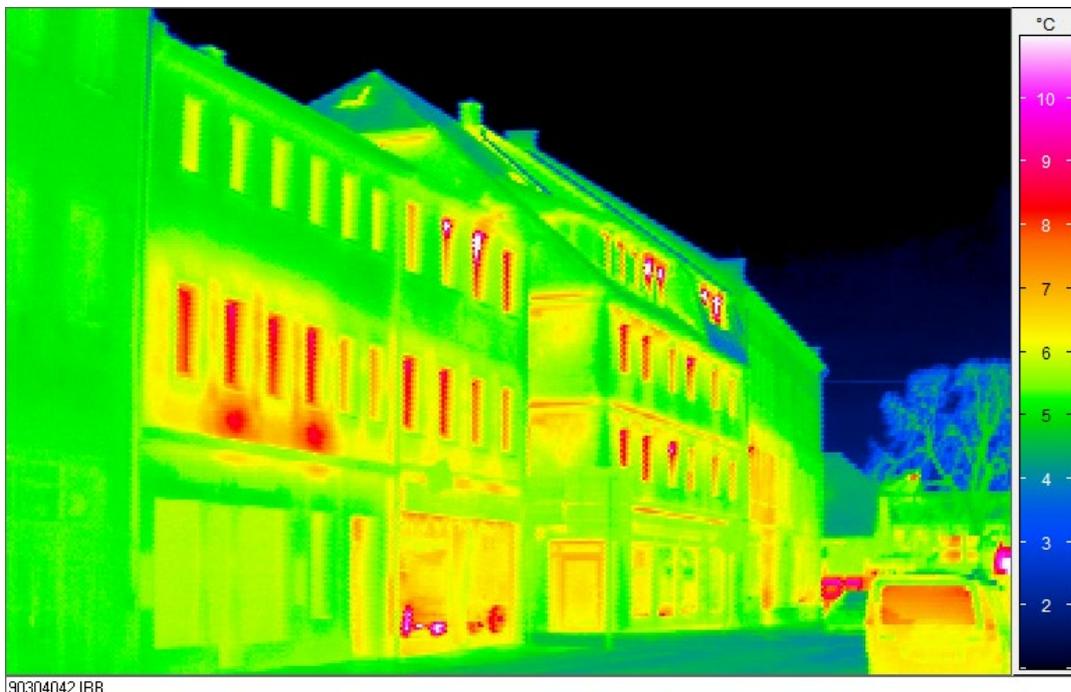
Außerdem werden an Hand thermografischer Aufnahmen verdeckte Konstruktionen (z.B. Fachwerk oder Fußbodenheizungen) sichtbar gemacht.

Im Vortrag wird an Hand ausgewählter Beispiele der Einsatz der Infrarotthermografie im Bauwesen erläutert. Im Einzelnen werden thermografische Untersuchungen zu folgenden Themen vorgestellt:

- erhöhte Transmissionswärmeverluste auf Grund von Wärmebrückenwirkungen
- Luftdichtheit von Gebäuden, Leckagesuche
- Schimmelbildung an inneren Oberflächen von Außenbauteilen
- Funktion von Flächenheizungen
- Suche nach verdeckten Konstruktionen

Dabei werden die für die Aufnahmen notwendigen Randbedingungen erwähnt.

Außerdem werden Möglichkeiten der Kombination der Infrarotthermografie mit anderen Messgeräten erläutert.



## **Modular aufgebaute UV-LED Einheit mit integrierter Optik**

### **Postervortrag - 16. Symposium der DAfP**

Marko Hofmann

Heraeus Noblelight GmbH stellt die erste serienmäßige UV-LED Härtingsanwendung mit integrierter Optik vor. Sie basiert auf der sogenannten „Chip-on-Board“-Technologie. Diese wassergekühlten Hochleistungs-UV-LED-Module decken ein breites Spektrum an Wellenlängen und Bestrahlungsstärken, z.B. 395nm 8W/cm<sup>2</sup> und 385nm 7W/cm<sup>2</sup> bei einem Arbeitsabstand von 10mm, ab. Spezielle Mikrolinsen erlauben eine einzigartige Flexibilität der Strahleigenschaften und ermöglichen somit eine homogene Bestrahlung auch bei Arbeitsabständen von mehr als 20mm. Die modulare Bauweise erlaubt nahezu jede gewünschte Dimension der UV-LED Einheit zu realisieren, wovon Anwendungen mit speziellen Anforderungen bezüglich Leistungsdichte, Bestrahlungsfläche und Arbeitsabstand besonders profitieren.

## **Funktionalisierung von Implantatoberflächen durch Photoanregung**

### **Postervortrag - 16. Symposium der DAfP**

Martin Fricke

Postervortrag lag bis zur Veröffentlichung der Vortragsmappe nicht vor.

## Anschriften der Autoren und Sitzungsleiter I. und II. Block

Name	Anschrift	Telefon Fax E-Mail
<b>Prof. Dr. –Ing. Wolfgang Heering</b>	<b>Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Engesser Straße 13 76131 Karlsruhe</b>	<b>+49 7216 0842 538 +49 7216 0842 590</b>  <a href="mailto:wolfgang.heering@lti.uni-karlsruhe.de">wolfgang.heering@lti.uni-karlsruhe.de</a>
Prof. Dr. Michael Kneissl	Technische Universität Berlin Hardenbergstr. 36, EW 6-1 10623 Berlin	+49 030 314 225 63  <a href="mailto:kneissl@physik.tu-berlin.de">kneissl@physik.tu-berlin.de</a>
Dr. Alex Voronov	Heraeus Noblelight GmbH Heraeusstr. 12-14 63450 Hanau	+49 6181 353 164 +49 6181 354 098  <a href="mailto:alex.voronov@heraeus.com">alex.voronov@heraeus.com</a>
Dr. Rainer Kling	Universität Karlsruhe Engesserstraße 12 76131 Karlsruhe	+49 721 60826 37 +49 721 60825 90  <a href="mailto:rainer.kling@lti.uni-karlsruhe.de">rainer.kling@lti.uni-karlsruhe.de</a>
Dr. Klaus Stockwald	OSRAM GmbH Werner-von-Siemens-Strasse 6 86159 Augsburg	+49 151 180 37 837  <a href="mailto:K.Stockwald@osram.com">K.Stockwald@osram.com</a>
Dr. Mark Paravia	OpSyTec GmbH Haid-und-Neu-Str. 7 76131 Karlsruhe	+49 721 754087 11 +49 721 754087 19  <a href="mailto:Mark.paravia@opsytec.de">Mark.paravia@opsytec.de</a>
<b>Dr. rer. nat. Peter Bocionek</b>	<b>JW Holding GmbH Kölner Str. 8 70376 Stuttgart</b>	<b>+49 711 5400 480 +49 711-5400424</b>  <a href="mailto:peter.bocionek@jw-holding.de">peter.bocionek@jw-holding.de</a>
Dr.–Phys. Peter Knuschke	Technische Universität Dresden Fetscherstraße 74 01307 Dresden	+49 351 458 3552 +49 351 458 8474  <a href="mailto:knuschke@rcs.urz.tu-dresden.de">knuschke@rcs.urz.tu-dresden.de</a>
Prof. Dr. Wolfgang Heering	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Engesser Straße 13 76131 Karlsruhe	+49 7216 0842 538 +49 7216 0842 590  <a href="mailto:wolfgang.heering@lti.uni-karlsruhe.de">wolfgang.heering@lti.uni-karlsruhe.de</a>
Dr. –Ing. Martin Sörensen	a.c.k. aqua concept GmbH Wikingerstr. 94 76189 Karlsruhe	+49 721 59 721 0 +49 721 59 721 21  <a href="mailto:Martin.soerensen@aquaconcept.de">Martin.soerensen@aquaconcept.de</a>

## Anschriften der Autoren und Sitzungsleiter III. und IV. Block

Name	Anschrift	Telefon, Fax, E-Mail
<b>Prof. Dr. Dr. Jürgen Kleinschmidt</b>	<b>Ludwig Maximilian Universität Schäßburger Str. 12 81829 München</b>	<b>+49 171-7745937 +493212-1025018 <a href="mailto:info@prof-kleinschmidt.de">info@prof-kleinschmidt.de</a></b>
Dr. Jörg Heerlein	Osram Opto Semiconductors GmbH Leibnitzstrasse 4 93055 Regensburg	+49 941 850 1098 +49 941 444 1098 <a href="mailto:joerg.heerlein@osram-os.com">joerg.heerlein@osram-os.com</a>
Dr. Sven Linow	Heraeus Noblelight GmbH Reinhard Heraeus Ring 7 63801 Kleinostheim	<a href="mailto:sven.linow@heraeus.com">sven.linow@heraeus.com</a>
R. Breternitz	MELSELA Mess- und Sensortechnik GmbH Professor-Hermann-Str. 25 07407 Rudolstadt	+49 3672 82941 42 +49 3672 82941 49 <a href="mailto:vertrieb@mesela.de">vertrieb@mesela.de</a>
Prof. Dr. Dr. Urs Schwab	Hochschule für Technik Buchs Parkstrasse 4 CH-9470 Buchs, Schweiz	+41 817 567 037 <a href="mailto:urs.schwab@catv.rol.ch">urs.schwab@catv.rol.ch</a>
<b>Prof. Dr. Dr. h.c. Donat-P. Häder</b>	<b>Charité – Universitätsmedizin Berlin Weissenseer Weg 110 10369 Berlin</b>	<b>+49 304 5051 7216 +49 304 5051 7909 <a href="mailto:helmut.piazena@charite.de">helmut.piazena@charite.de</a></b>
Dipl.-Phys. Rolf Wirth	adophos Innovative Technologies GmbH Bruckmühler Strasse 27 83052 Bruckmühl/Heufeld	+49 8061 395 310 +49 8061 395 395 <a href="mailto:rolf.wirth@adophos.de">rolf.wirth@adophos.de</a>
Dr. Helmut Piazena	Universität Berlin Charitéplatz 5 10369 Berlin	+49 30 450517 216 +49 30 450517 909 <a href="mailto:Helmut.piazena@charite.com">Helmut.piazena@charite.com</a>
Dr.-Ing. Hartmut Müller	ifw Günter-Köhler-Institut Otto-Schott-Str.13 07745 Jena	+49 3641 204 136 +49 3641 204 110 <a href="mailto:hmueller@ifw-jena.de">hmueller@ifw-jena.de</a>
Dr. Liane Vogel	Hochschule Zittau/Görlitz Bahnhofsiedlung 16 02788 Hirschfelde	+49 3583 611 689 +49 3583 611 627 <a href="mailto:L.vogel@hs-zigr.de">L.vogel@hs-zigr.de</a>
Marko Hofmann	Heraeus Noblelight GmbH Heraeusstrasse 12-14 63450 Hanau	+49 6181 35 4627 +49 6181 35 164627 <a href="mailto:m.hofmann@heraeus.com">m.hofmann@heraeus.com</a>
Dipl.-Ing. Martin Fricke	ANACER (TM) -Consulting Berliner Straße 126 99091 Erfurt	+493617922693 +49 3212 7922693 <a href="mailto:martin.fricke@email.de">martin.fricke@email.de</a>



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](mailto:matthias.menz@tu-ilmenau.de)