

Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben

- Reg.-Nr.: **MF100004**
- Titel: Entwicklung eines Hochleistungs-UV-Strahlers – HL – UV – Strahler für lichtinduzierte Reaktionen
- Projektlaufzeit: 01.06.2010 bis 31.03.2012
- Berichtszeitraum: 01.06.2010 bis 31.03.2012

Telefon: +49 30 6576 2671 Telefax: +49 30 6576 2672 e-mail: <u>info@out-ev.de</u> www.out-ev.de



1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel ist die Entwicklung eines Hochleistungs-UV-Strahlers auf LED-Basis. Es sollen sowohl eine homogene Bestrahlung planarer Flächen als auch die räumlich und zeitlich diskontinuierliche, punktuelle und lokale Belichtung von Formkörpern realisiert werden. Dafür sollen zwei Grundtypen des HL-UV-LED-Strahlers entwickelt werden. Am Beispiel der gezielten photochemisch induzierten Oberflächenfunktionalisierung sollen Leistungsdaten der neuen Lichtquellen ermittelt werden, die mit denen von kommerziell erhältlichen Excimerstrahlern zu vergleichen sind.

Zielstellungen an die neue Lichtquelle:

- Entwicklung und Bau von innovativen Lichtquellen auf LED-Basis für den UV-Bereich, die "makrostrukturiertes", jedoch homogenes Bestrahlen ermöglichen. Diese hohe Strahlungshomogenität soll von Kompartiment zu Kompartiment (well zu well) erreicht werden.
- Belichtung und Funktionalisierung von Slides, Mikrotiterplatten und anderen planaren Formkörpern mit den neuen Lichtquellen.
- Vergleich zu etablierten Lichtquellen auf Excimerbasis, die derzeit den aktuellen Stand der Technik repräsentieren.
- Lichtquellen auf Excimerbasis besitzen nur bestimmte diskrete Emissionswellenlängen. LED dagegen sind mit nahezu jeder Emissionswellenlänge erhältlich. Dieser Vorteil soll bei der Anpassung auf den Reaktionstyp (Initiatortyp) ausgenutzt werden.
- Verschiedene Photoreaktortypen (LED für kontinuierliche Belichtung = Typ 1; LED für Belichten von "Strukturen" = Typ 2) sollen konzipiert, gebaut und erprobt werden. Es ist zu untersuchen, welcher Typ für bestimmte Applikationen geeignet ist.
- Das anwendungsseitige Ziel ist die Verbesserung der Effizienz und Qualität verschiedener photochemisch induzierter Prozesse durch Einsatz der neuen Lichtquellen auf LED-Basis, wodurch sich neue Anwendungsbereiche erschließen lassen.

Wichtige Anwendungen der zu entwickelnden Lichtquellen sind photochemische Oberflächenfunktionalisierungen von Materialien, die in der Medizin, Diagnostik und im Bereich Life Science angewendet werden. Ein wesentlicher Reaktionstyp ist dabei die photochemisch initiierte Pfropfcopolymerisation, die ein nahezu degradationsfreies und gezieltes Funktionalisieren von Oberflächen erlaubt.

2. Darstellung der erzielten Vorhabensergebnisse

AP 1: Pflichtenheft für die HL-UV-LED

Zur Charakterisierung des Referenzstrahlers wurde ein Excimerstrahler von der Firma Heraeus Noblelight GmbH vermessen. Dieser Excimerstrahler wurde ausgewählt, da dies das am weitesten verbreitete Modell auf dem UV-Strahler Markt ist. Die technischen Daten von Heraeus Noblelight für den Excimerstrahler sind:

- Bestrahlungslänge 60 cm
- Bestrahlungsbreite 5 cm



- Bestrahlungszeit 5 min
- Wellenlänge 308 nm
- Strahlungsleistung 3 KW
- Wasserkühlung für den Strahler als auch für das Netzteil

Bei der Erstellung des Lastenhefts wurde der Schwerpunkt bei der Charakterisierung des Strahlers auf dessen Homogenität und die optische Leistung gelegt. Dieses sind die Beiden bedeutenden Kenngrößen für die Bestrahlung der Pfropfcopolymere. Wodurch eine notwendige Aushärtung und Anordnung der Polymere gewährleistet ist. Außerdem war es notwendig den Absorptionskoeffizienten für das Pfropfcopolymer zu bestimmen. Bei den von Heraeus Noblelight angebotenen Strahlern stehen drei Wellenlängen zu Verfügung (172 nm/ 222 nm / 308 nm).

Umso wenig wie möglich an Leistung zu verlieren wurde für das Lastenheft ein Bestrahlungsabstand zwischen Strahler und dem Substrat von 5 cm festgelegt. Die optische Leistung beträgt bei dem Heraeus Noblelight Excimer 0,529 W/cm². Der Wert wurde mit einer Ulbrichtkugel (Durchmesser vom offenem Port 3,18 cm) und einem UV-VIS Spektrometer errechnet.



Abbildung 1: Messung der optischen Leistung (W/cm²) mittels einer Ulbrichtkugel und einem UV-Spektrometers

Um die Stabilität des Strahlers zu überprüfen, wurden über einen Zeitraum von 10 Minuten Messungen durchgeführt. Dabei wurden die Messwerte alle 10 Sekunden abgelesen.

Durch die beim Strahler eingestellte Frequenz von 60 kHz war eine gewisse Schwankung zu erwarten. Diese fiel mit ≈200 mW deutlich höher aus als erwartet. Für das Lastenheft wird noch zu klären sein, ob dieser

Effekt für die photochemisch initiierten Pfropfcopolymerisation förderlich ist oder nicht. Bei einer Bestrahlungszeit von 5 min liegt die Abweichung noch bei ≈ 20 mW. Wenn man beachtet, dass die zu erwartende Leistung [Popt.] bei den UV-Dioden bei 200 μ W liegt, könnten diese Schwankungen einen gewünschten Effekt bei der Polymerisation auslösen. Deshalb sollte bei der Gestaltung des Designs für das UV-LED- Modul die Möglichkeit der gepulsten Anregung berücksichtigt werden.





Abbildung 2: Intensitätsverteilung des UV-Excimer

Abbildung 3: Messung Popt. [W] von 10 min.

Bei der Charakterisierung der Homogenität wurde ähnlich verfahren wie bei der Leistungserfassung. Der Excimerstrahler wurde mit einer BPX 63 Silizium-Fotodiode vermessen. Dazu wurden drei Messungen am Strahler vorgenommen. Die Messungen wurden in der Mitte des Strahlers auf der X-Achse und jeweils 2 cm drüber und darunter gemessen. Durch dieses Verfahren konnte eine flächenaufgelöste Auswertung durchgeführt werden. Wie zu erwarten war gab es auch hier Inhomogenitäten im Bezug auf die Leistung (Popt. [W]). Für das Lastenheft resultiert daraus, dass die emittierende Fläche optimal ausgenutzt werden muss, um die im Polymer gewünschten photochemischen Prozesse gleichmäßig auszuführen und das bei gleicher abstrahlender Fläche mehr Polymermaterial gleichzeitig bestrahlt werden kann. Wodurch ein besseres Nutzverhältnis zwischen emittierender Fläche und bestrahltem Gut erreicht wird.



Abbildung 4: Intensitätsverteilung beim UV Excimer

Abbildung 5: Intensitätsmessung mit einer Fotodiode

Lastenheft:

- Bestrahlungsabstand <10 mm
- Bestrahlungszeit 2-5 min.
- Homogene Bestrahlung der Probe
- Überprüfung ob ein gepulster Betrieb einen qualitative bessere photochemische Reaktion ausführt als ein nicht gepulster Ansteuerung



• Reduktion des Energieverbrauchs auf unter 2 KW

AP 2: Optimierung der Anregungswellenlänge

Um die Anregungswellenlänge optimieren zu können, wurden durch Literaturrecherchen die theoretischen Angaben für den Absorptionskoeffizienten für unser Polymer analysiert. Hierbei wurde für das Polymer Wasser, Methanol oder Isopropanol als Trägerflüssigkeit berücksichtigt. Diese Angaben wurden mit der Wellenlänge unseres Excimerstrahlers abgeglichen. Dabei wurde festgestellt, dass die optimale Wellenlänge für die photochemische Reaktion bei 255 nm in Wasser liegt. In der Literatur wird leider die Bestrahlungszeit vernachlässigt. Wodurch die Energieeffizienz der Reaktionen schwer bis gar nicht zu vergleichen ist.



Abbildung 6: Vergleich der Bestrahlungsstärke der LEDs bei deren einzelnen Wellenlängen

Das AP 2 sah ursprünglich vor, dass das Polymer von 240 nm bis 375 nm in 10 nm Schritten mit Hilfe eines Monochromators bestrahlt wird. Leider genügte die Strahlungsleistung des Monochromators im tiefen UV nicht, um eine photochemische Reaktion des Polymers zu starten. Deshalb wurde mit Hilfe von UV-LED ein ähnlicher Versuchsaufbau realisiert. Dabei musste die unterschiedliche Bestrahlungsstärke der LEDs bei deren einzelnen Wellenlängen berücksichtigt werden. Es stellte sich heraus, dass die UV-Dioden bei einer Wellenlänge von 345 - 365 nm den besten Energie- / Absorptionskoeffizienten erreichten und die Bestrahlungszeit auf ca. 2 min. reduziert werden konnte.





Abbildung 7: Monochromator Messaufbau

AP 3: Aufbau eines SMD-Demonstrators

- Anhand der in AP 1 und 2 ermittelten Parameter sollte ein Demonstrator auf SMD-UVED-Basis bei optimaler Wellenlänge - bezogen auf eine gegebene chemische Reaktion- aufgebaut und getestet werden.
- Bei der durch AP 2 gegebenen Wellenlänge wurden für den ersten Demonstrator Bauelemente mit größtmöglichem absolutem Strahlungsfluss gewählt. Im Zusammenhang mit dem Raster der durch AP 1 vorgegebenen Mikrotiterplatten definiert dies die Anforderungen an das thermische Management.
- Die einzelnen Emissionspunkte der UVED werden geometrisch im Raster einer durch AP 1 vorgegebenen Mikrotiterplatten auf einer Fläche von 2 × 2 bis 5 × 5 cm² angeordnet.
- Die UVED sollen in Gruppen und komplett in ihrer Leistung regelbar sein. Zusätzlich soll mit dem Aufbau der Trägerleiterplatte eine matrizenartige Ansteuerung also der Betrieb einzelner Bauelemente vorbereitet werden.





Abbildung 8: Bestrahlungstest mit Nichia UV-LED 365nm - Aufbau in Betrieb

AP 4: Entwicklung einer Ansteuerelektronik für SMD-UVED-Demonstrator

Für die Entwärmung des Moduls wurde eine Wasserkühlung vorgesehen und aufgebaut. Die maximale Entwärmungsleistung muss mit entsprechender Sicherheit ausgelegt sein, damit die Kabel und Verbindungstück unter der hohen Hitze nicht zerstört werden, deshalb wurde auf eine schnelle Abfuhr der Wärme geachtet.

Bei der Ansteuerelektronik musste für alle UVED der korrekte Flussstrom konstant und temperaturunabhängig bereitgestellt sein. Die Einzelstromquellen mussten synchronisierbar und schnell schaltbar sein. Aufgrund der potentiell großen Zahl von UVED und Bauelemente-Gruppen werden parallel zu Schaltreglern mit einem höheren Wirkungsgrad auch Linearregler untersucht, da hier die gegenseitigen Störungen geringer sind.

Für die Ansteuerungselektronik wurden drei verschiedene Leiterplattenlayouts designt und auch entwickelt. Schwerpunkte waren:

- 1. Geringe Baugröße (nicht viel größer als eine Eurokarte)
- 2. Konstanter und einstellbarer Flussstrom
- 3. Einstellbarer Überhitzungsschutz für den Strahler
- 4. Über einen Mikrokontroller sollen die Zeit als auch die Temperaturobergrenze gesteuert bzw. eingestellt werden

Die drei Leiterplatten haben folgende Aufgaben:

- 1. LED-Board
 - a. Aufnahme der 66 UVLED von Nichia (NC4U133)
 - b. Temperaturfühler
 - c. Steckleisten für die Verbindung mit den anderen Elektronikkomponenten
 - d. Metallkernleiterplatte für einen hohen Wärmeübergang
 - e. Goldkontakte und Goldentwärmungspads
 - f. Weißer Lötstoplack für eine zusätzliche Reflexion





Abbildung 9: UVED-Trägerplatine(unbestückt)

Abbildung 10: UVED-Trägerplatine (bestückt)

- 2. Aufgaben des Steuermoduls
 - a. Mikrokontroller zur Temperaturüberwachung und Ansteuerung des Zeitgebers
 - b. Bereitstellung der vorgegebenen Leistung vom externen Netzteil an das Wandlerboard
 - c. Schnittstelle für den Taster, Drehregler (Zeitgeber) und die Funktionsdioden



Abbildung 11: Steuermodul mit Anschlüssen (unverbaut)

Das Steuermodul besteht im wesentlichen aus den Einheiten :

- Schaltnetzteil 12V Geräteversorgung
- Linearnetzteil 5V
- Analogkomparator (Temperaturbewertung UV-Modul)
- CPU (Atmel) und Logigteil

Das 12V-Schaltnetzteil wird mit IC101 einem LT3434 mit wenig externer Beschaltung realisiert und ist für eine Ausgangslast von maximal 3A konzipiert. Besonderes Augenmerk musste hier auf die Entwärmung des IC101 gelegt werden.

Durch den Einsatz einer zweiseitigen Leiterplatte mit vielen sehr feinen Durchkontaktierungen unter dem IC und entsprechend großen Entwärmungsflächen auf beiden Platinenseiten konnten hier sehr gute Werte erreicht werden. Der Schaltregler mit



seinem Eingangsfilter umfasst die Bauelemente F101, R101-R104, C101-C110, L101/ 102 sowie die Dioden D101 und D102.

Für die Versorgung der eingesetzten CPU sowie des Komparators findet ein einfacher 5V-Linearregler (IC102 mit C119-C122) Verwendung.

Er bezieht, um seine Verlustleistung niedriger zu halten, seine Versorgungsspannung aus der 12V-Schaltung.

Mit IC103 einer Atmel-CPU aus der Tiny-Reihe wird der Timer, die Start/Stop – Steuerung sowie die Geräteinnentemperaturüberwachung realisiert.

Zur Programmierung der CPU ist auf dem Board ein ISP-Interface realisiert worden, über welches, mittels eines Nadeladapters, die Kommunikation mit der CPU realisiert werden kann.

Die Innentemperatur des Gerätes wird durch den Thermistor R105 erfasst und über einen prozessorinternen Komparator bewertet. Mit Hilfe des Jumpers JP101 kann die Temperatur gewählt werden (ca. 37 bzw. ca. 45 °C) bei der der Strahler deaktiviert wird, wenn diese Temperatur im Geräteinneren erreicht wird. Die Voreinstellung ist 37°C.

Die Temperaturbewertung des UV-Moduls wurde mit dem OPV IC104 und den zugehörigen Bauelementen R113-R117, C126-C128 sowie der Diode D103 ebenfalls in Form eines Komparators realisiert. Hier wurde bewusst auf eine hardwarenahe Realisierung gesetzt, damit der Strahler auf jeden Fall bei Übertemperatur deaktiviert wird, auch bei Ausfall der CPU. Der Einstellbereich, mit dem Regler R116, für die Auslösung und Abschaltung, liegt etwa zwischen 40 und 60°C.

Die Transistoren T101-T105 dienen z.T. zur Ansteuerung der Status-LED als auch zur Ansteuerung der Wandlermodule.

Um das UV-Board in seiner Konzeption anzusteuern sind insgesamt drei Stromquellenboards mit jeweils 11 Stromquellen erforderlich.

Diese wurden jeweils mit Schaltreglern erstellt um die Verlustleistung der Baugruppen gering zu halten. Benötigt wird eine Ausgangsspannung, jeder Quelle, von ca. 30V und einem Ausgangsstrom von maximal 600mA.

Damit eine homogene Ausleuchtung durch den Strahler erreicht wird, ist es erforderlich die Bauelemente des Strahlers mit unterschiedlichen Strömen anzusteuern. Daher ist jedes der 3 Boards für jeweils 2 einstellbare Ausgangsströme, in 2 Gruppen, konzipiert. Insgesamt kann so eine Ausgangsleistung bis etwa 600W zur Verfügung gestellt werden.

Der Wirkungsgrad der Wandlermodule liegt bei über 94%; daher sind keine Kühlkörper für die Wandlerbaugruppen erforderlich. Durch eine entsprechende Montage ist eine ausreichende Kühlung der Baugruppen im Gerät gewährleistet.

Um im Fehlerfall einer Konstantstromquelle die LED des UV-Strahlers zu schützen wurde jede Stromquelle, ausgangsseitig, mit einer superflinken Sicherung versehen.

Auf der Baugruppe bilden die Bauelemente IC201, D202, C203, C204 sowie R202 bis R206 einen präzisen Linearregler zur Gewinnung einer Referenzspannung, welche weiter zur Einstellung der einzelnen 11 Stromquellen genutzt wird.

R205 und R 206 ermöglichen es die Baugruppe mit zwei Ausgangsströmen zu betreiben, wobei R205 zum Abgleich der Quellen mit den Schaltkreisen IC202, IC203, IC204, IC205, IC206, IC207 und R206 zum Abgleich der Quellen mit den Schaltkreisen IC207, IC208, IC209, IC210, IC211 und IC212 dient.

Zum Zeitpunkt der Entwicklung des Layouts der Leiterplatte sollten ursprünglich für die genannten IC, IC mit einem maximalem Ausgangsstrom von 600mA zum Einsatz kommen, diese waren aber in einem erträglichem Zeitrahmen nicht beschaffbar, daher wurden nun baugleiche 700mA-Typen des selben Herstellers verwendet.

Das zieht allerdings eine gewisse Vorsicht beim Abgleich der Baugruppen nach sich, da der Einstellbereich nun bis 700mA reicht, anstatt bis maximal 600mA.

Der Dauergrenzstrom der verwendeten UV-Dioden beträgt 700mA, aber jede einzelne Quelle ist zum Schutz der UV-Dioden mit superflinken Sicherungen im Wert von 630mA abgesichert. Die gesamte Baugruppe ist ebenfalls mit einer Sicherung in SMD-Bauform mit einem Wert von 8A ff abgesichert. Der Aufbau der 11 Schaltregler ist identisch und wird folgend am Beispiel des IC202 beschrieben.

Die Konstantstromquellen werden mit dem IC RCD-24-0.70 des Herstellers RECOM als Schaltregler realisiert. Diese Schaltkreise sind sowohl mit einer analogen Spannung, als auch per Pulsweitenmodulation (PWM) dimmbar, d.h. in Ihrem Ausgangsstrom einstellbar.

In der Baugruppe werden beide Möglichkeiten der Schaltkreise genutzt. Die analoge Dimmfunktion (über Pin 2 des jeweiligen Schaltkreises) wird genutzt um die Ausgangsströme der Wandler abzugleichen. Der PWM-Eingang (jeweils Pin 3) kommt zur Anwendung um die Stromquellen ein- und auszuschalten. Diese Variante wurde gewählt, da die Wandlerschaltkreise bei einer Eingangsspannung von 0V am 'DIM'-Pin, den höchst möglichen Ausgangsstrom liefern, in diesem Fall 700mA. Damit dies beim Einschalten der Anlage nicht geschieht, da die Stellspannung einige Millisekunden benötigt, bevor sie ihren Nennwert erreicht, werden die Wandler über das 'PWM-ON/OFF'-Pin bis zum eigentlichen Startereignis deaktiviert.

R211 und C207 dienen als Unterdrückung unerwünschter HF-Störungen die rückwirkend von den Wandler-IC an dem Eingang erzeugt werden. Weiterhin hat R211 eine Entkoppelfunktion der Wandler untereinander sofern ein Wandler-IC mit Eingangskurzschluss ausfallen würde. In Verbindung mit R212, der als Abgleichwert ausgelegt ist, dient R211 als Spannungsteiler, für den Fall das einzelne Wandler auf dem Board im Strom genauer anzupassen sind, sollte dies durch Bauelementestreuungen hinsichtlich der verwendeten IC, oder auch der anzusteuernden UV-Dioden notwendig sein.

C205, L201 und C206 dienen hier als Eingangsfilter, um die bei dieser Wandlerart auftretenden recht hohen HF-Störungen und Strompeaks am Eingang stark zu minimieren. C208 dient ebenfalls der Störungsunterdrückung, mit C209 wird der Ausgangsstrom geglättet und ebenfalls ein großer Anteil an Störungen reduziert.

Mit R208, R209, R210 und D201 werden die 'PWM-ON/OFF'-Eingänge der Schaltreglerschaltkreise auf definiertem High-Pegel gehalten, so dass diese vorerst ausgeschaltet sind. Aktivieren lassen sich die Wandler durch High-Pegel am Eingang 'ON' der Baugruppe. Dazu werden mit Hilfe des Transistors T201 alle 'PWM-ON/OFF'-Eingänge der Schaltkreise IC202-IC212 auf Low-Potential gezogen.

Die Leuchtdioden LED201 und LED202 dienen der Anzeige des Betriebszustandes (Versorgungsspannung liegt an) der Baugruppe und des Schaltzustandes der Wandler.





Abbildung 12: Schaltung und Leiterplattendesign

AP 5: Aufbau eines Demonstrators in COB-Technik

Der Demonstrator wurde auf der Grundlage des COB-Moduls von Nichia aufgebaut und vermessen. Die Leistungsdichte der COB-Module, war wie zu erwarten, höher als die der SMD-Variante. Die vom Nichia verbauten COB-Module haben bei 24 A folgende Leistungsgrößen:

		Symbol	Bedingung	Min.	Typisch	Max.	Einheit
Flussspannung		VF	IFP=21 [A]	-	(4)	4,7	V
Radiant Flux	Rank PW6	Фе	IFP=21 [A]	9,50	-	14,5	W
Peakwellenlänge		λР	IFP=21 [A]	360	(365)	370	nm





Abbildung 13: Technische Zeichnung für das COB-Modul

AP 6: Entwicklung der Ansteuerelektronik für UVED-Chip-Modul

Das Konzept der Ansteuerungselektronik basiert auf den bekannten Problemen der Entwärmung und der kontinuierlichen Bereitstellung von konstanten und einstellbaren Flussströmen. Dies wurde durch das Ansteuerungskonzept mit der Aufteilung auf drei getrennte Leiterplatten realisiert. Vergleiche AP 4.

Die Problematik mit der Entwärmung wurde mit einem Entwärmungskonzept realisiert, das bei der Metallkernleiterplatte (98% Alu) beginnt und über eine Graphitschicht als Wärmespreizer die Wärme über eine Kühlplatte bis zum Gegenkühler bringt. Am Gegenkühler sorgen zwei 119x119x38 mm Lüfter mit je 205 m³/h für die Abkühlung des Wasserkreislaufes.



Abbildung 14: Wärmetest mit Widerständen um die UV-Belastung gering zu halten



Abbildung 15: Entwärmungskonzept für den 2. Demonstrator

AP 7: Belichtungsexperimente für eine homogene kontinuierliche Belichtung

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die Untersuchung der Photoreaktion, die erstmals mit der in AP 3 und AP 5 aufgebauten LED-Belichtungsquelle initiiert wurde. Die Ergebnisse wurden mit denen der Excimer-Strahlungsquelle verglichen. Es wurden sowohl verschiedene Monomere als auch verschiedene Trägermaterialien in die Untersuchungen einbezogen.

Untersuchungen zu Zeitabhängigkeit der Polymerisationsreaktion

Gemäß Arbeitsplan wurde die Pfropfpolymerisation verschiedener Monomere, die zu unterschiedlichen funktionellen Nanoschichten führt, untersucht. Die wichtigsten Monomere waren: Amino-Monomer, Epoxy-Monomer und Carboxy-Monomer.

Mit dem Amin-Monomeransatz wurden bei verschiedenen Abständen, bestrahlte Flächen-Lichtquelle, zeitabhängige Bestrahlungsreihen durchgeführt.





Abbildung 16: Bestrahlungsreihe eines Amin-Monomers. Der Kontaktwinkel, ein Maß für die Hydrophilie der Oberfläche, wurde in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdauer gemessen und dargestellt. Bei gleicher funktioneller Gruppe und gleicher Polymerstruktur ist er ebenfalls ein Maß des Funktionalisierungsgrades.

Wie erwartet, fallen die Kontaktwinkel mit der Bestrahlungsdauer. Bei größerem Abstand ist dieser negative Anstieg geringer, was auf die entsprechend geringere Lichtintensität zurückgeführt wird. Nach 2 Minuten wird die gleiche Hydrophilie, die auch nach 2 min bei Bestrahlung mit der Excimerlichtquelle gemessen wurde, erreicht. Zudem wurde die gleiche "Performance" der so hergestellten oberflächenfunktionalisierten Slides nachgewiesen. Um reaktionskinetische Betrachtungen durchführen zu können, müssten beim Excimerstrahler kürzere Belichtungszeiten untersucht werden.



Abbildung 17: Bestrahlungsreihe eines Epoxy-Monomers. Der Kontaktwinkel, ein Maß für die Hydrophilie der Oberfläche, wurde in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdauer gemessen und dargestellt.

Mit dem Epoxy-Monomeransatz wurden ebenfalls bei verschiedenen Abständen zeitabhängige Bestrahlungsreihen durchgeführt.

Hier zeigt sich ein ähnlicher Befund. Wie erwartet, fallen die Kontaktwinkel mit der Bestrahlungsdauer. Beim größeren Abstand zur Strahlungsquelle ist dieser negative Anstieg geringer, was - analog zur Bestrahlung mit dem Amin-Monomer - auf eine geringere Intensität zurückgeführt wird. Nach 3 bis 5 Minuten Bestrahlungszeit wird ein Kontaktwinkel gemessen, der dem Winkel, der bei den Bestrahlungsexperimenten, die mit der Excimer-Lichtquelle durchgeführt wurden, entspricht. Weitere chemische Tests (Anfärbungen) zeigen eine ähnliche "Performance" der Slides, verglichen mit den Experimenten, die am Excimerstrahler durchgeführt wurden. Mit dem Carboxyverschiedenen Monomeransatz wurden ebenfalls bei Abständen zeitabhängige Bestrahlungsexperimente durchgeführt.



Abbildung 18: Bestrahlungsreihe eines Carboxy-Monomers. Der Kontaktwinkel, ein Maß für die Hydrophilie der Oberfläche, wurde in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdauer gemessen und dargestellt. Bei gleicher funktioneller Gruppe und gleicher Polymerstruktur.

Auch hier ergibt sich wieder der erwartete Verlauf. Bei 6-10 Minuten Bestrahlung wird mit beiden Lichtquellen einen sehr ähnlichen Kontaktwinkel erreicht. Der größere Bestrahlabstand wurde bei den LED-Modulen nicht untersucht, da bedingt durch den Prototypstatus, die bei zu langen Bestrahlungsdauern auftretenden Monomerdämpfe technische und gesundheitliche Probleme hätten auslösen können. Die "Performance" wurde ebenfalls untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass sich Slides, die vergleichsweise mit beiden Lichtquellen zur Oberflächenfunktionalisierung bestrahlt wurden, nur gering in ihren chemischen Eigenschaften unterscheiden.

Die Homogenität der funktionalisierten Flächen wurde in allen Fällen mittels Anfärbetechniken und räumlich aufgelösten Kontaktwinkelmessungen untersucht.

Untersuchungen zur Homogenität

Excimerstrahler

Die Glasslides wurden quer zum Strahler in einer Reihe angeordnet. Die mittleren Positionen wurden nicht bestückt, da vorausgesetzt werden kann, dass an dieser Stelle die Homogenität



besteht. Es wurde Aminmonomerlösung eingesetzt, nach der Bestrahlung entschützt und mit FITC angefärbt sowie anschließend gescannt.



Abbildung 19: Anordnung der Slides zur Bestrahlung am Excimerstrahler. Die Bestrahlungszeit betrug 2 min. Die nach erfolgter Funktionalisierung angefärbten (FITC-Test) Slides wurden in die Grafik eingefügt.

Für den Excimerstrahler wird für den gesamten Bestrahlungsbereich (600x75 mm) eine gute Homogenität gefunden.

LED-Strahler

Es wurden die HTA-1 zu einem Array aus 2x4 Slides angeordnet, mit Amin-Monomerlösung überschichtet und 3 Minuten mit 4 cm Abstand zur Strahlungsquelle bestrahlt. Die Slides wurden entschützt und in einem Fluoreszenzscanner einzeln gescannt. Vorher wurden die Kontaktwinkel mit 8 mm Randabstand bei 8 mm Raster ermittelt (im Bild als kleine Kreise erkennbar).

Das Bild zeigt die Zusammensetzung der einzelnen Scans in ihrer Anordnung unter dem Strahler (Zentrum = Strahlerzentrum)



Abbildung 20: Anordnung der Slides zur Bestrahlung am LED-Strahler. Die Bestrahlungszeit betrug 3 min. Die Slides wurden nach erfolgter Funktionalisierung im Fluoreszenzscanner gescannt (Ex.: 532 nm / Em. 560 nm). Es handelt sich bei der Fluoreszenz um eine Eigen- oder Autofluoreszenz des Polymermaterials. Dadurch kann sehr gut die Homogenität der Bestrahlung beurteilt werden. Die einzelnen Bilder (Slides) wurden zu einer Grafik zusammengefügt.



Die räumliche Verteilung (siehe "Raster" der Tropfen in Abb. 20) der Kontaktwinkel ergibt sich eine gute Homogenität, was aus Abb. 22 zu erkennen ist.



Homogenität der Kontaktwinkel über die Fläche

Abbildung 21: Räumliche Verteilung der gemessenen Kontaktwinkel gemäß Abb. 20, dargestellt als Balkendiagramm

Um eine Aussage zur räumlichen Verteilung des Funktionalisierungsgrades der Slides treffen zu können, wurden die funktionalisierten Slides mittels FITC (Fluoresceinisothiocyanat) angefärbt und wie bereits erfolgt, gescannt. Die Anfärbung wurde mit der gemäß Abb. 19 verglichen.



Abbildung 22: Anordnung der Slides zur Bestrahlung am LED-Strahler..

Die Bestrahlungszeit betrug 3 min. Die Slides wurden nach erfolgter Funktionalisierung und Umsetzung mit FITC im Fluoreszenzscanner gescannt (Ex.: 532 nm / Em. 560 nm). Es handelt sich bei der Fluore um eine typische Fluoreszenz des Markierungsfluorophors. Dadurch kann sehr gut die Homogenität der Funktionalisierungsschicht beurteilt werden. Die einzelnen Bilder der Slides wurden zu einer Grafik zusammengefügt um die Gesamtbestrahlungsfläche des Strahlers verdeutlichen zu können.

Wie schon bei der Eigenfluoreszenz zu erkennen ist, ergibt sich eine gute Homogenität, jedoch ist ein leichter Abfall der Intensität im unteren Bereich zu beobachten. Endbericht "HL-UV-Strahler" MF100004 / Heiko Rexin, Rodrigo Miguez Seite 17 von 34 Die Erklärung dafür ergibt sich daraus, dass Aufgrund einer konstruktiven Umstellung andere Bestrahlungsverhältnisse resultierten: durch den Einbau einer Aluminium-Schutzhülle für ein vor der UV-Strahlung zu schützendem Flachbandkabel ergab sich eine lokal erhöhte Intensität, welche in einer nachfolgenden Simulation bestätigt werden konnte.



Abbildung 23: Simulation einer Strahlungsquelle unter Berücksichtigung des senkrecht zur Bestrahlungsebene im "Norden" befindlichen "Reflektors (1 cm Höhe)"

Diese Simulation berücksichtigt zusätzlich zu vorangegangenen Simulationen einen konstruktionsbedingt eingebauten Aluminiumschutz für ein Flachbandkabel zur Stromversorgung an der "Nordseite". Aus diesen Ergebnissen folgt, dass eine ringförmige Einhausung der Strahlenquelle mit Aluminium – oder andern Spiegeln zu einer Erhöhung der Effizienz der Strahlenquelle führt. Eine Anbringung von Reflektoren an allen Rändern würde die Homogenität der Funktionalisierung weiter verbessern. Dies kann im Rahmen einer Pilotanlagenverbesserung noch untersucht werden.

AP 8: Belichtungsexperimente für eine lokale, strukturierte Belichtung

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Untersuchung strukturierter Objektträger (z. B HTA 12 von GBO) und strukturierter Mikrotiterplatten (96well-Platte) jeweils sowohl aus Kunststoff als auch aus Glas.

Mit dem im Projekt gebauten LED-Array war lediglich eine strukturierte Bestrahlung von Objektträgern möglich. Die entsprechenden Mikrotiterplatten wurden kontinuierlich bestrahlt. Die Homogenität der funktionalisierten Teilbereiche (Wells) wurde mittels Anfärbetechniken und Kontaktwinkelmessungen untersucht.

96well Mikrotiterplatten

Ein weiteres Ziel des Projekts war es, die Besonderheit der Arraystruktur des LED-Strahlers auszunutzen. Dazu wurden entsprechend dem Raster von 9 mm passende Slides (HTA-12



von GBO) so positioniert, dass die Zentren der Kavitäten der Slides mit den Zentren der HL-LED übereinstimmten. Auf diese Weise soll die Strahlung in den Kavitäten maximal werden, bei gleichzeitig guter Homogenität. Dies ist bei geringem Abstand von 1-2 cm zwischen der LED und der Oberfläche des Bestrahlungsgutes am effektivsten. Ab ca. 4 cm Abstand wird eine homogene Bestrahlung erreicht.

Zuerst wurden 96well Mikrotiterplatten bei einem Abstand von 2 bis 4 cm bestrahlt. Während der LED-Bestrahlung der Mikrotiterplatten führt die starke Erwärmung zum Sieden der Lösungen und sogar zur Deformation der Träger, was ab Bestrahlungszeiten von mehr als 4 min auftritt. Die Ursache liegt in der im Verhältnis zur Strahlungszufuhr ungenügenden Wärmeabfuhr. Daher wäre der LED-Strahler für diese Plattform nur geeignet, wenn zusätzlich durch spezielle Halterungen in Verbindung mit einer geeigneten Wärmeabfuhr eine Anpassung erfolgte. In Abb. 24 wurde eine solche, durch zu großen Energieeintrag deformierte Mikrotiterplatte fotografiert.



Abbildung 24: Foto einer 96well-Mikrotiterplatte nach 15 min Bestrahlung.

Das auch mit einer kontinuierlich strahlenden Lichtquelle, wie dem Excimerstrahler eine strukturierte Belichtung und somit eine Funktionalisierung einzelner Wells von Mikrotiterplatten möglich ist zeigt Abb. 25. Hier wurde mit Blenden gearbeitet. Die nicht zu funktionalisierenden Wells wurden abgedeckt.



Abbildung 25: Untersuchungen zur "reihenweisen" Funktionalisierung einer 96well Mikrotiterplatte am Excimerstrahler.



Für die Vergleichbarkeit wurde auch hier das Epoxy-Monomer verwendet. Jede zweite Reihe wurde abgedeckt. Die so funktionalisierten Platten wurden nach chemischer Umsetzung mit Coomassi-blue angefärbt und in einem Mikrotiterplatten-Reader vermessen.

Die im Folgenden dargestellten Experimente dienten zum Vergleich der Effizienz der Funktionalisierung von HTA 12 Slides. Da eine strukturierte Belichtung mit dem Excimerstrahler nicht möglich war, wurde hier vergleichsweise kontinuierlich bestrahlt. Ziel dieser Untersuchungen war es, herauszustellen, dass eine Bestrahlung mit einem auf das HTA12 Format angepassten LED-Arrays im Vergleich zur kontinuierlichen Bestrahlung mit dem Excimerstrahler überlegen ist. Diese Überlegenheit sollte sich besonders bei längeren Bestrahlungszeiten, wie sie beispielsweise beim Epoxy- oder Carboxy-Monomer benötigt werden, herausstellen.



Abbildung 26: Anordnung der HTA12 Slides zur Bestrahlung am Excimerstrahler.

Die HTA12 Slides wurden mit sehr kurzen Zeiten mit dem Excimerstrahler bestrahlt. Bei diesen kurzen Zeiten beginnt gerade die Pfropfpolymerisation. Die Homogenität ist ausreichend, jedoch in den Randbereichen schlechter.



Abbildung 27: Anordnung der HTA12 Slides zur Bestrahlung am Excimerstrahler.

Bei diesem Bestrahlungsversuch mit dem Amino-Monomer betrug die Bestrahlungszeit 2 min. Die nach erfolgter Funktionalisierung angefärbten (FITC-Test) Slides wurden in die Grafik eingefügt. Die Homogenität ist gut, jedoch im rechten Randbereich gerade noch ausreichend. Dies bedeutet für Produktionszwecke, dass Position 10 nicht genutzt werden kann, was die Brauchbarkeit des Excimerstrahlers leicht einschränkt.

Im Folgenden sind ausgewählte Ergebnisse der Belichtungsexperimente mit dem LED-Array dargestellt. Zum besseren Vergleich wurde hier auf das Amino-Monomer zurückgegriffen. Die funktionalisierten Slides wurden mit FITC angefärbt und im Fluoreszenzscanner vermessen.





Abbildung 28: Untersuchungen zur strukturierten Belichtung von HTA12 Slides

Die Homogenität der beiden linken Träger ist gut, jedoch befindet sich die Intensität nicht im erwarteten Bereich. Dies könnte auf einen Messfehler zurückzuführen sein, welcher an dieser Stelle unerheblich ist, da es um die Bewertung der Homogenität ging.



Abbildung 29: Untersuchungen zur strukturierten Belichtung von HTA12 Slides. Das Flächenintergral der Fluoreszenzintensität wurde gegen die Bestrahlungszeit aufgetragen.

HL-LED Strahler ist von den Betrahlungsergebnissen mit dem Excimerstrahler vergleichbar, unter Umständen sogar überlegen. Bei bestimmten Monomeren (Amin) könnte die vergleichsweise sehr hohe Intensität bei der Bestrahlung zu anderen Polymerstrukturen führen. Daher müssen einige dieser Daten besser noch reproduziert und ggf. überprüft werden. Eine Untersuchung etwaig geänderter Polymerstrukturen war im Rahmen dieses Projekts nicht vorgesehen.

Bei anderen Monomeren kann die Belichtungszeit beim jetzigen Entwicklungsstand des LED-Strahlers bereits jetzt um ca. 15 -20 % reduziert werden.

Im Fall der Mikrotiterplatten muss das Problem der Wärmeabfuhr wegen des hohen Energieeintrages (Wärme) gelöst werden.



Abbildung 30: Hömogänitätsmessung mit dem 100-Fachmesskopf beim LED-Array

Die Vorteile der LED-Arrays kommen besonders bei einer strukturierten Bestrahlung zum Tragen. Hier ist noch Optimierungspotential vorhanden, welches ausgenutzt einen deutlichen Vorteil bei der Funktionalisierung strukturierter Träger bietet.

<u>AP 9: Analyse des Vergleichs aus AP 7 und AP 8 und Festlegung des 2.</u> <u>Demonstrators</u>

Aufgrund der Erfahrungen aus den AP7 und AP8 wurde für den 2. Demonstrator die SMD-Variante gewählt, da diese für die Flächenbestrahlung, in der Homogenität, besser geeignet ist als das COB-Modul.

Kurzbeschreibung des Aufbaus des Hochleistungs-UV-Strahlers

Der Strahler setzt sich elektrisch und elektronisch aus 9 Funktionseinheiten zusammen.

- 1. Netzeingangsfilter mit Absicherung und Netzschalter
- 2. Schaltnetzteil zur Gesamtversorgung der Anlage
- 3. Steuermodul und Timer
- 4. Bedieneinheit und Anzeigen
- 5. Wandlerboard 1
- 6. Wandlerboard 2
- 7. Wandlerboard 3
- 8. UV-Modul
- 9. Lüfter- und Kühleinheit



Funktionsbeschreibung zu Punkt 1 und 2

Zur Stromversorgung der internen Baugruppen kommt das Schaltnetzteil vom Typ HRPG-600-36 der Firma Mean Well zum Einsatz. Seine Standardausgangsspannung ist auf 35V angepasst. Alle weiteren benötigten Spannungen (5V, 12V) werden auf dem Steuermodul erzeugt. Netzseitig kommt ein IEC-Filter zum Einsatz. Mit ihm werden breitbandig HF-Störungen minimiert, sowohl solche die durch die internen Baugruppen erzeugt werden als auch externe Störungen, die über das Versorgungsnetz auf das Gerät einwirken.

Desweiteren wird über dieses Filter zugleich die Geräteabsicherung und der Hauptschalter realisiert.

Funktionsbeschreibung zu Punkt 3 und 4

Das Steuermodul beinhaltet die Baugruppen für die Stromversorgung der Lüfter und der Kühleinheit sowie des eingesetzten Mikrokontrollers. Über das Steuermodul werden der Timer, die Bewertung der Geräteinnentemperatur und die Strahlertemperatur realisiert. Sollte die Innentemperatur des Gerätes den Wert von ca. 37°C überschreiten, wird der Strahler deaktiviert und lässt sich nur nach Abkühlen wieder per Starttaster aktivieren. Erreicht das eigentliche UV-Modul eine zu hohe Temperatur, schaltet der Strahler ebenfalls ab solange dessen Temperatur zu hoch liegt. Auf dem Board befindet sich ein ISP-Interface zur Programmierung des verwendeten Atmel-Kontrollers. Für die Bedienung des Gerätes stehen ein Stufenschalter für die Timerfunktion und ein Taster für die Start / Stop – Funktion zur Verfügung. Die Funktion des Tasters ist abhängig von der Position des Stufenschalters. (Es stehen die Funktionen "Ein dauerhaft" als auch 15 Timerstellungen zur Verfügung.)

Wird die Starttaste nach dem Start erneut betätigt, wird der Strahler sowohl im Timerbetrieb als auch im Start / Stop-Betrieb deaktiviert. Die vier in der Nähe der Bedienelemente angebrachten LEDs dienen der Anzeige der Betriebsbereitschaft (grün), Strahler ein (gelb), Gerät Übertemperatur (rot) sowie Strahler Übertemperatur (rot).

Funktionsbeschreibung zu Punkt 5, 6 und 7

Die drei Wandlerboards dienen zur Ansteuerung der einzelnen LED-Stränge des UV-Moduls und sind mit Schaltreglern als Konstantstromquellen realisiert.

Alle drei Boards sind identisch aufgebaut.





Abbildung 31: Wandlerboard mit Stromquellen

Funktionsbeschreibung zu Punkt 8

Das UV-Modul ist mit 66 Nichia – NC4U133- Dioden auf einer Aluminiummetallkernplatte realisiert. Die Verbindung mit den Ansteuermodulen erfolgt mittels drei 22-poligen Flachkabeln, sowie einem 6-poligen Flachkabel zum Steuermodul. Das Modul besitzt einen Thermistor zur Erfassung seiner Betriebstemperatur. Die Verkabelung des Moduls wird nach der Montage mittels lichtundurchlässigem Aluminiumband verdeckt, um die Kabel und Steckverbinder weitestgehend vor der hohen UV-Strahlungsbelastung zu schützen, die längerfristig zur Zerstörung der zum Einsatz kommenden Plastikmaterialien führen würde.





Abbildung 32: Homogenitätsmessung mit dem 100-fach-Messkopf

Funktionsbeschreibung zu Punkt 9

Die Lüfter- und Kühleinheit wird vom Steuermodul mit der Spannung von 12V versorgt. Sie besteht aus einem HT Fusion Dual Kühlsystem. Diese kompakte Wasserkühlung besteht aus einem Radiator, zwei schnelldrehenden Lüfter (12.000 U/min.), Pumpe und einem Ausgleichbehälter.



Abbildung 33: Hochleistungs-UV-LED-Strahler in Betrieb



3. Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Das Ziel der Entwicklung eines Hochleistungs-UV-Strahler auf Basis der LED, kann als gelungen tituliert werden. Die vorgenommen Eigenschaften des neuen Strahlungskonzepts (homogene, räumlich und zeitlich diskontinuierliche, punktuelle und lokale Bestrahlung) wurden mehr als Erfüllt. Die Stahlungsdichte liegt weit über dem was handelsübliche Excimerstrahler zur Zeit am Markt zur Verfügung stellen. Durch die schnellen Reaktionszeiten der LED können definierte Bestrahlungsmodell gefahren werden. Es kommt zu keiner Verzögerung durch Vorlaufzeiten oder Intensitätsrampen. Außerdem lässt sich durch die Timerfunktion eine zeitabhängige sichere Arbeitsumgebung generieren. Dies war eine der Grundlagen bei der Gehäusekonzeptentwicklung, es sollte keine bzw. geringe UV Strahlung nach außen dringen (siehe Abb. 33 UV-Strahler im Betrieb). Die austretende Strahlung ist unbedenklich gering und wir noch zusätzlich mehrfach gebrochen. Ein wirtschaftlicher Faktor war die Reduktion des Verbrauchs unter 2 KW, dieser Wert wurde mit 580 W (im Betrieb) und 36 W (im Standby) mehr als deutlich unterschritten. Diese deutliche Reduktion des Verbrauchs ist auf das ganzheitliche Strahlerkonzept zurückzuführen, welches die optimierte Ansteuerungselektronik mit einem inteligenten Lüftungs- und Kühlkonzept kombiniert. Dadurch ist der Strahler immer noch beweglich und kann durch die Einschübe mit verschiedenen Behälterformen bestückt werden.

Die Schwierigkeit der Umsetzung des UV-LED-Strahler in einen Massenmarkt liegt darin begründet, dass es nicht ausreicht bestehende Leuchtensysteme durch LEDs zu ersetzen. Das Ziel sollte immer sein, die Gesamtheit LED + Strahler für das Ergebnis zu optimieren. Dadurch kann das im Projekt gewonnene Wissen des UV-Strahlers optimiert in die einzelnen Branchen überführt werden.



Abbildung 34: Aktueller Verbrauch während des Betriebs



4. Wirtschaftliche Verwertung

DARSTELLUNG DER MARKTSITUATION UND DES MARKTES

Die Marktsituation hat sich seit der Antragstellung des Projektes nicht signifikant verändert.

Zielmärkte:

Die im Rahmen des Projektes zu entwickelnden Strahlungsquellen eignen sich grundsätzlich für die folgenden Anwendungsgebiete:

- Funktionalisierung von Polymer- und Glasoberflächen für Life-Science-Anwendungen.
- UV-LED in Geräten, die einen UV-Licht induzierten Schritt realisieren (z. B. Photo-crosslinking oder punktförmiges, photochemisch induziertes Immobilisieren von Biomolekülen).
- Lokale photochemisch induzierte Vernetzungen von Polymeren, z. B. bei contact printing oder spotting von Biomolekülen.
- Photoreaktive Klebungen, insbesondere hochtransparente Glas-Glas oder Glas-Metall-Verbindungen sowie photochemische Lackhärtung.
- "Kaltlichtsterilisation".

Für den Einsatz von Polymer- und Glasmaterialien für LifeScience Anwendungen (Diagnostik, biopharmazeutische Produktionsprozesse, Pharmascreening) ist die gezielte Einstellung der Oberflächeneigenschaften entscheidend. Die Gestaltung der Oberflächen für entsprechende Anwendungen (Microarray Slides, Mikrotiterplatten, Mikrofluidiksysteme, Membranen, Vliese, Formkörper) erfolgt daher häufig auf molekularer Ebene mit Hilfe photochemischer Verfahren. Durch die sehr geringe Größe der LED ist es möglich, diese Module in bereits existierende Geräte zu integrieren. Hier sind hauptsächlich Hersteller von Liquid handling Automaten und von Printern/Spottern zu nennen.

Zielkunden für die neuen Strahlungsquellen sind deshalb vor allem Hersteller der oben aufgelisteten Verbrauchsmaterialien (Applied Biosystems, Becton Dickinson, GE, Invitrogen, QIAGEN, Bio-Rad, Heidelberger Druck), aber auch Hersteller von Diagnostika (Roche, Siemens Diagnostics, GE, Philips, Bio-Rad).

Ein weiterer großer Zielmarkt sind Klebstoff- und Lackhersteller, die an neuen, robusten Systemen zum schnellen Aushärten photoreaktiver Klebungen interessiert sind. Neben einer Vielzahl mittelständischer Unternehmen in diesem Sektor gehören dabei vor allem die führenden Lack- und Klebstoffhersteller (AkzoNobel, PPG, Henkel, Sherwin-Williams, DuPont, BASF, RPM, Valspar, Sika, 3M, HB Fuller, Wacker) zu den Zielkunden entsprechender Strahlungsquellen.

CHARAKTERISIERUNG DER MARKTGRÖSSE UND DES ANGESTREBTEN ANTEILS

Der Weltmarkt für LifeScience-Instrumente ist in 2007 um 8,7% auf 9,2 Mrd. US\$ gewachsen. Davon ausgehend beläuft sich das Marktvolumen für die Verbrauchsmaterialien zu diesen Instrumenten auf ca. 4,5 Mrd. US\$ (Instrument Business Outlook, 15.01.2008). Insbesondere für die Herstellung von Microarrays, Sequenzierungssystemen und Kits für die Molekularbiologie sind photochemische Funktionalisierungen relevant (ca. 1/3 des Marktes), so dass schätzungsweise von einem Bedarf in Höhe von 20-40 Mio. US\$ für entsprechende Strahlungsquellen für die Oberflächenmodifizierung ausgegangen werden kann.

Dies beinhaltet die Funktionalisierung sowohl von Microarray Slides, Mikrotiterplattenböden oder ähnlichen Formaten. Nach Abschluss der Entwicklung der neuen Strahlungsquellen können relativ rasch erste Pilotkunden für die unterschiedlichen Formate gewonnen werden, die nach einer Testphase von ein bis zwei Jahren multipliziert werden können. Erste Pilotkunden sind bereits identifiziert und haben Interesse signalisiert. Innerhalb von drei bis vier Jahren wird ein Weltmarktanteil von 10 % angestrebt.

Der Weltmarkt für Dicht- und Klebstoffe wurde in 2007 auf 11,8 Mrd. t/a bzw. 41 Mrd. US\$ geschätzt. Davon liegt der Anteil reaktiver (polymerisierender) Systeme bei ca. 5 – 6 % bzw. 2,1 Mrd. US\$ (The Adhesive and Sealant Council, Int.: 2007-2010 North American Market Study). Ausgehend von diesen Daten und branchenüblichen Annahmen bzgl. der Kosten für die Aushärtesysteme liegt das Marktpotential für photochemisch indizierte Lackhärtungen bei ca. 100 Mio. US\$. Durch die üblicherweise langen Testzyklen vor einer breiten Markteinführung ist innerhalb der ersten fünf Jahre lediglich mit Verkäufen von Pilotsystemen zu rechnen. Erst nach fünf bis zehn Jahren werden ein starkes Wachstum auf ein Umsatzvolumen in Höhe von 2-5 Mio. € und ein entsprechender Weltmarktanteil erwartet.

EINSCHÄTZUNG DER WIRTSCHAFTLICHEN ERFOLGSAUSSICHTEN UND TRANSFERKONZEPTION

Die wirtschaftliche Verwertung der Forschungsergebnisse erfolgt:

- im Rahmen der satzungsgemäßen FuE-Tätigkeit im OUT e.V. selbst,
- im Rahmen des OUT e.V. durch Erzielung direkter Umsätze,
- durch Erzielung von Umsätzen in KMU, die die Forschungsergebnisse des FuE-Vorhabens nutzen (indirekte Umsätze).

Umsatzerwartungen:

Durch Dienstleistungen (Wirtschaftlicher Geschäftsbetrieb) in Form von Messungen, Analysen und Beratungen, die im Ergebnis des Vorhabens durchgeführt werden können, werden jährlich Einnahmen (Umsatzerlöse) im OUT e.V. in Höhe von ca. 15.000 bis 20.000 € erwartet.

Durch Forschungsaufträge (Zweckbetrieb), die im Ergebnis des Vorhabens vom OUT e.V. durchgeführt werden können, sowie durch Lizenzeinnahmen können weitere Einnahmen in Höhe von ca. 25.000 bis 35.000 € jährlich erzielt werden.

Indirekte Umsätze

Vor allem Unternehmen, die Hochleistungs-UV-Strahler zur photochemischen Funktionalisierung von speziellen Materialien benutzen und durch den zukünftigen Einsatz von LED-Strahlern durch effizientere Oberflächenfunktionalisierungen können erhebliche Kostensenkungen (ca. 30 bis 50 %) realisieren. Gleichzeitig können dadurch deutliche jährliche Umsatzsteigerungen (ca. 200 T€ bis 300 T€ je Unternehmen) erzielt werden.

Nach erfolgreichem Transfer der Forschungsergebnisse und Folgeentwicklung zu einer entsprechenden Herstellungstechnologie könnte sich der inkrementale Umsatz auf Grund von Produktivitätssteigerungen, für ein vermarktendes Unternehmen, wie in Tabelle 1 dargestellt, entwickeln.



2013	2014	2015	2016	2017
800	1.600	2000	2200	2400

Tabelle 1: Erwartete zusätzliche Umsatzerlöse (in tausend Euro)

Refinanzierung:

Unter Berücksichtigung von Umsätzen, die durch die Nutzung der Ergebnisse bei potentiellen Herstellern und Anwendern entstehen, refinanziert sich das Vorhaben ca. zwei bis drei Jahre nach Abschluss des Projektes.

Die Refinanzierung des Eigenanteils des OUT e.V. (s. a. Finanzierungskonzept) erfolgt im Wesentlichen bereits während der Laufzeit des Projektes.

5. Bewertung des aktualisierten Verwertungsplanes im Vergleich zum ursprünglichen Verwertungskonzept

Es sind keine Änderungen im Verwertungsplan vorgesehen. Es wurden mit Kooperationspartnern Forschungsaufgaben angestoßen die auf den gewonnen Ergebnissen beruhen bzw. aufbauen.

6. Angaben zu erworbenen bzw. angemeldeten Schutzrechten

Die Möglichkeit der Regelung von Schutzrechten in Form von Gebrauchsmusterschutz bzw. Patentrechte wird zurzeit noch eruiert.

7. Zusammenstellung aller erfolgten bzw. geplanten Veröffentlichungen

Weitere Maßnahmen zum Transfer:

- Aufnahme der Ergebnisse in den regelmäßig erscheinenden Forschungsbericht und in das Lizenzangebot des OUT e.V..
- Darstellung der FuE-Ergebnisse in der Internet-Präsentation des OUT e.V.
- Durchführung regelmäßiger Beratungen mit Hauptnutzern zur effektiven Nutzung von Teilergebnissen sowie zur Fortsetzung der Arbeiten.
- Durchführung eines Kolloquiums unter Teilnahme potentieller Anwender zur Darstellung von Ergebnissen mit dem Ziel der Nutzung.
- Prüfung von Ergebnissen bzw. Teilergebnissen auf Patentfähigkeit und Einreichung eines Patentes.
- Überführung technologischer Teilergebnisse in die Labor- und Fertigungsprozesse bei Hauptnutzern.
- Einreichung einer Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift.
- Durchführung eines gezielten Forschungspersonalaustausches zur Gewährleistung eines effektiven Technologietransfers in Hauptnutzer-Unternehmen.



- Durchführung einer gemeinsamen Veranstaltung mit der TSB Technologiestiftung Innovationsagentur Berlin GmbH und der Zukunftsagentur Brandenburg zur Ableitung weiterer Maßnahmen zur Nutzung und Nachnutzung der Ergebnisse.
- Gezielte Information von Technologie- und Gründerzentren sowie Innovationsund Technologieparks über die Ergebnisse und die Möglichkeiten der Nutzung.



Anhang:

- Schaltung der Ansteuerungselektronik
- Bestückungslayout der Ansteuerungselektronik
- Schaltung des Wandlerboards



Endbericht "HL-UV-Strahler" MF100004 / Heiko Rexin, Rodrigo Miguez





Endbericht ,, HL-UV-Strahler ``MF100004 / Heiko Rexin, Rodrigo Miguez

Seite 33 von 34



Endbericht "HL-UV-Strahler" MF100004 / Heiko Rexin, Rodrigo Miguez