

Entwicklung eines prototypischen, energiesparenden UV-LED-Aushärters für lösungsmittelfreie UV-Farbdrucke oder Beschichtungen in der Verpackungsindustrie auf Basis von HighPower UV-LED

UV-LED-Trocknung



Abschlussbericht über das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte
Entwicklungsprojekt, AZ 27872 – 21/2

von

hema electronic GmbH, Charlotte Helzle

Aalen, 22.07.2013

Beteiligte Partner:

hema electronic GmbH
Röntgenstr. 31
73431 Aalen

ISIMAT GmbH Siebdruckmaschinen
Rindelbacher Straße 38-40
73479 Ellwangen

Steinbeis GmbH & Co. für Technologietransfer
Prof. Dr. Peter Zipfl
Albrecht-Erhardt-Straße 17
73433 Aalen

Der Bericht ist über die hema electronic GmbH erhältlich.

11/95		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	27872	Referat	21/2	Fördersumme	348.247,00 €
Antragstitel	Mechanische und optoelektronische Entwicklung eines energiesparenden LED-Trockners für lösungsmittelfreie UV-Farben oder Beschichtungen in der Verpackungsindustrie auf Basis von HighPower-UV-LED; Adaption geeigneter Farben und Photoinitiatoren für LED-härtbare Lacke und Farben sowie Entwicklung einer Analytik zur Überwachung der LED-Einheiten				
Stichworte	Optoelektronik, UV-LED-Technologie				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
34 Monate	28.05.2010	27.05.2013	1		
Zwischenberichte:	Nach 9 Monaten Meilensteinbericht	Nach 18 Monaten Meilensteinbericht			
Bewilligungsempfänger	hema electronic GmbH Röntgenstraße 31 73431 Aalen			Tel	07361 9495-0
				Fax	07361 9495-45
				Projektleitung	
				Oliver Helzle	
Bearbeiter				Charlotte Helzle	
Kooperationspartner	ISIMAT GmbH Siebdruckmaschinen Rindelbacher Straße 38-40 73479 Ellwangen				
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Das Ziel des FuE-Projektes war die Entwicklung einer Trocknungstechnologie mit UV-Strahlung aus leistungsfähigen LED-Einheiten für UV-härtende Farben, womit die Anforderungen bezüglich Haftung, Kratzfestigkeit, Wasserdampfbeständigkeit und Lichtechtheit heute eingesetzter Standard-UV-Farben erfüllt werden. Die Neuentwicklung soll die bisherige UV-Entladungslampen-Technik durch UV-LED ersetzen. Dazu wurde ein komplett neues UV-LED-Trocknungsgerät samt Gehäuse, Mechanik, Optik, Elektrik und Elektronik entwickelt. Als Strahlungsquelle wurde ein modular erweiterbares UV-LED-Array gewählt, dessen Kühlung dezentral z. B. über Wasserkühlung erfolgt.</p> <p>Statt des breiten Emissionsspektrums herkömmlicher Entladungslampen emittieren LEDs mit ihrem sehr kleinen spektralen Band gezielt nur die Energie, die für den Aushärtprozess wirklich benötigt wird. Der Einsatz wird damit sehr energieeffizient.</p> <p>Die schnelle Schaltbarkeit und das Vermeiden von Aufheiz-, Abkühl- und Pausenzeiten von LED, sowie deren hohe Lebensdauer liefern weitere energetische Vorteile. Ein weiterer Vorteil ist die Vermeidung von Giftstoffen, wie Quecksilber, das in den Entladungslampen verwendet wird.</p> <p>Der Einsatz von UV-LED erwärmt das zu bedruckende Material weniger. Viele Trägermaterialien</p>					

(z. B. Folien, Tuben) sind wärmeempfindlich und die Qualitätsprobleme durch Wärmeausdehnung oder -schrumpfung des Materials werden vermieden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Projektarbeiten konzentrierten sich im Wesentlichen auf folgende Kernbereiche:

- Entwicklung einer LED-Trocknereinheit mit Ansteuerung und Kühlung, die die Integration dieser LED-Technologie in eine ISIMAT-Druckmaschine ermöglicht.
- Prüfung geeigneter UV-Farben, die für die schmalbandige Lichtemission der LEDs geeignet sind. Außerdem soll die Ansteuerung der LED in Abhängigkeit der Absorption der eingesetzten Druckfarbe eingestellt werden und so eine weitere Energieeinsparung erzielt werden.

Ergebnisse und Diskussion

Es wurden geeignete UV-Leds gefunden. Die ersten Prototypen erreichten die geforderte Leistung noch nicht ganz, die zweite Generation übertraf sie bereits.

Die verfügbaren Druckfarben waren zunächst nicht auf die schmalbandigen UV-Lichtquellen angepasst. Inzwischen stehen hervorragend härtende Farben von den Herstellern Marabu, SunChemical (Coates) und RUCO zur Verfügung. Je nach Farbton, abhängig von Pigmenten und Zusätzen, sind die Anforderungen an die Aushärteenergie auch bei derselben Farbserie sehr unterschiedlich. Es wurde gezeigt, dass alle Farbtöne gehärtet werden können. In der Praxis wird daher die Energiemenge je nach tatsächlichem Bedarf an der jeweiligen Druckstation dosiert, wodurch sich eine zusätzliche Einsparung ergibt.

Die Steuerung für die UV-Einheiten von hema ermöglicht eine einfache und kostensparende Einbindung in die Siebdruckmaschine mit in der Regel 8 bis 16 Einheiten.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des Projekts werden durch Presse, Fachartikel, Messen und die direkte Präsentation bei potentiellen Kunden öffentlich gemacht. Zielbranchen sind der Siebdruck, die Klebetechnik und Lackiertechnik.

Fazit

Die Ergebnisse des Projekts haben für das geförderte Unternehmen hema electronic den Einstieg in die UV-LED-Technik eröffnet. Über die Zusammenarbeit mit dem Partner ISIMAT ist eine Alleinstellung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und der gleichzeitigen Kosteneinsparung im Siebdruck erreicht worden. Für beide Unternehmen ist damit eine hervorragende Ausgangsposition für die Vermarktung der Produkte geschaffen worden.

Die angestrebte Energieeinsparung für das UV-LED-Produkt ist erreicht und zum Teil übertroffen worden und macht die Anwendung für die Endkunden wirtschaftlich attraktiv. Zusätzlich erleichtern weitere Aspekte wie eine schonendere Verarbeitung des zu bedruckenden Materials die Markteinführung.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Begriffsverzeichnis.....	7
1. Zusammenfassung.....	8
2. Einleitung.....	9
3. Hauptteil	12
3.1 Projektverlauf	12
3.2 Versuche	14
3.3 Ergebnisse	21
3.3.1 Ethernetfähiger Steuercontroller zur Ansteuerung einer UV-LED- Beleuchtung	21
3.3.2 UV-LED-Strahler	25
3.3.3 UV-LED Labordruckmaschine.....	27
3.3.4 Messtechnik	29
3.4 Wettbewerbssituation	36
3.5 Energiebilanz	37
3.6 Vorläufige ökologische Bilanz	38
3.7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	39
3.8 Weitere Ergebnisse	42
3.9 Offene Fragen und Aufgaben.....	43
3.10 Aussichten.....	43
4. Fazit.....	45
5. Literaturverzeichnis	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6: Testaufbau bei ISIMAT	14
Abbildung 7: Druckproben	14
Abbildung 8: Musteraufbau bei ISIMAT	19
Abbildung 9: Probematerial Tuben nach Bedruckung und Prüfung	19
Abbildung 10: LED-C3A Platine, Fertiger Controller	23
Abbildung 11: Schnittstellen des Controllers	23
Abbildung 12: LED ohne Optiken	25
Abbildung 13: LED mit Optiken.....	25
Abbildung 14: LED mit Optiken.....	25
Abbildung 15: Strahlermodul	26
Abbildung 16: Labormaschine ISIMAT	27
Abbildung 20: LED-UV-Station	28
Abbildung 22: LED-Einheit, schematisch.....	29
Abbildung 23: LED-Strahlerkopf	30
Abbildung 24: Opt. Abbildung der LED.....	31
Abbildung 25: Gesamtaufbau (schematisch und Umsetzung).....	33
Abbildung 26: Benutzerschnittstelle.....	34
Abbildung 27: Infrarot-Reflexionsspektren zweier Proben (vernetzt, nicht vernetzt).	35

Begriffsverzeichnis

LED Leuchtdiode

UV Ultraviolettes Licht mit Wellenlängen unter 400 nm

1. Zusammenfassung

Im Rahmen einer Gemeinschaftsentwicklung der hema electronic GmbH und der ISIMAT GmbH Siebdruckmaschinen wurde ein UV-Lichtstrahler auf der Basis von UV-Leuchtdioden entwickelt. Ziel war die Verbesserung von Siebdruckprozessen durch Verwendung einer neuartigen Lichtquelle, die deutlich energieeffizienter, wirtschaftlicher, material- und umweltschonender sein sollte als alle bisher verwendeten.

Es wurde ein neuer UV-LED-Strahler benötigt, der zur Aushärtung von Lacken, Klebern und Bedruckungen für eine echte Anwendung in der Produktion sehr viel höhere Leuchtdichten aufwies, als bislang verfügbar.

Die genannten Ziele wurden erreicht durch die Konstruktion eines Strahlers mit neuen, verbesserten UV-LEDs, zusätzlicher Optik, einer optimierten Kühlung und elektronischen Ansteuerung in modularer Bauweise.

Eine Muster-Labordruckmaschine wurde für Test und Erprobung aufgebaut.

Ergänzend wurde ein messtechnischer Aufbau generiert, mit dem das Aushärteverhalten UV-härtender Farben und Lacke und deren Aushärtegrad reproduzierbar geprüft und verglichen werden kann.

Es wird erwartet, dass mit Beginn der Vermarktung im Jahr 2014 für die beteiligten Unternehmen ein neuer attraktiver Marktbereich erschlossen wird und gleichzeitig ein wertvoller Beitrag zur Schonung der Umwelt und Einsparung von Energie in den Oberflächentechniken geleistet werden wird.

Projektbeteiligte:

hema electronic GmbH

ISIMAT GmbH Siebdruckmaschinen

Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU),

Entwicklungsprojekt AZ 27872 – 21/2

2. Einleitung

Seit der Firmengründung im Jahr 1987 beschäftigen sich die Mitarbeiter von hema electronic mit der Entwicklung und Fertigung kundenspezifischer Elektronik und dabei noch mit Hard- und Software für den Maschinen-, Anlagen- und Gerätebau. Seit 1990 sind Lösungen von Bildverarbeitungsaufgaben mit eigener Hard- und Software im Angebot und seit 2004 gehören zur IBV-Produktpalette auch LED-basierende industrielle Beleuchtungen und Systeme. Mit rund 40 Mitarbeitern gehört hema zwischenzeitlich zu den Größeren der Branche und arbeitet mit ihrem Produktspektrum in einem Zukunftsmarkt.

Ziel des FuE- Projektes war die Entwicklung einer Trocknungstechnologie mit UV-Strahlung aus leistungsfähigen und industrietauglichen LED-Einheiten sowie UV-Farben, die an das spezielle Lichtspektrum dieser LED-Einheiten angepasst sind und die Anforderungen bezüglich Haftung, Kratzfestigkeit, Wasserdampfbeständigkeit und Lichteinheit heute eingesetzter Standard-UV-Farben erfüllen.

Die Projektarbeiten konzentrierten sich im Wesentlichen auf folgende Kernbereiche:

- Entwicklung einer LED-Trocknereinheit mit Ansteuerung und Kühlung, die die Integration dieser LED-Technologie in eine ISIMAT-Druckmaschine ermöglicht.
- Entwicklung geeigneter UV-Farben, die für die schmalbandige Lichtemission der LEDs geeignet sind. Hierbei sollen die Bestandteile der Farben (Monomere, Pigmente, Photoinitiatoren, Bindemittel) so optimiert werden, dass mit einer möglichst geringen Energiedosis eine ausreichende Härtung erzielt werden kann. Außerdem sollte untersucht werden, ob die Ansteuerung der LED in Abhängigkeit der Absorption der eingesetzten Druckfarbe eingestellt werden kann und so eine weitere Energieeinsparung erzielt werden kann.
- Entwicklung einer in die Anlage integrierbaren Diagnosemethode zur Analyse der Aushärtung (Aushärtegrad, Aushärtegeschwindigkeit) der UV-Farben bei Einsatz von LED-Trocknern. Diese Methode ist unerlässlich zur Optimierung

der Energiedosis, dem Einstellen der LED-Einheiten und zum Verständnis des gesamten Aushärteprozesses.

Die Neuentwicklung sollte die bisherige UV-Entladungslampen-Technik (Quecksilberdampf-Lampen) durch UV-LED ersetzen. Dazu war die Entwicklung eines komplett neuen UV-LED-Trocknungsgerätes samt Gehäuse, Mechanik, Optik, Elektrik und Elektronik notwendig. Die Strahlungsquelle sollte aus einem modular erweiterbaren UV-LED-Array bestehen, dessen Kühlung dezentral z. B. über Wasserkühlung erfolgen kann.

Die Entwicklung berücksichtigte im Besonderen das Zusammenspiel zwischen den Absorptionseigenschaften der Farbpigmente sowie der Photoinitiatoren UV-härtbarer Lacke, den Emissionsspektren und der erzielbaren Bestrahlungsstärke einzusetzender LED.

Bisher verwendete Entladungslampen besitzen ein sehr breites Emissionsspektrum, das vom UV-C bis zum NIR reicht. Für die Aktivierung des Aushärtungsprozesses entsprechender Farben oder Beschichtungen unter Berücksichtigung der Absorption der Farbpigmente ist nur ein kleiner Teil des Spektrums sinnvoll nutzbar. Nicht nutzbare Strahlungsanteile erfordern zur Erzeugung jedoch auch Energie. Da LED in einem sehr kleinen spektralen Band emittieren, kann die Emission dort optimal auf gewünschte Wirkung abgestimmt werden. Der Einsatz wird damit sehr energieeffizient.

Unter der besonderen Berücksichtigung des Zusammenspiels zwischen LED und Lacken/Beschichtungen lässt sich der Wirkungsgrad des energieintensiven Aushärtungsprozesses deutlich steigern.

Die schnelle Schaltbarkeit und das Vermeiden von Aufheiz-, Abkühl- und Pausenzeiten von LED gegenüber Entladungslampen, sowie deren hohe Lebensdauer bei ordnungsgemäßigem Betrieb liefern weitere energetische Vorteile. Ständige Verbesserungen der UV-LED-Technologie mit damit verbundenen höheren Wirkungsgraden bergen zusätzliches Energie-Einsparungspotenzial.

Ein weiterer Vorteil ist die Vermeidung von Giftstoffen, wie Quecksilber, das in Entladungslampen verwendet wird.

Der Einsatz von UV-LED hat darüber hinaus den Vorteil, dass das zu bedruckende Material geringer erwärmt wird, da häufig die zu bedruckenden Trägermaterialien (z. B. Folien, Tuben) wärmeempfindlich sind und die durch Wärme erzeugte Ausdehnung oder Schrumpfung des Materials zu erheblichen Qualitätsproblemen bei der Bedruckung führen kann.

Die ökologischen Effekte sind im Einzelnen:

- Erhebliche Einsparung von Energie in der Druckaushärtung (je nach Prozess bis zu 90%)
- Energie- und Rohstoffeinsparung durch wesentlich höhere Lebensdauer der Lichtquellen
- Vermeidung des Einsatzes von Quecksilber in der Lichtquelle
- Reduzierung von Müll und Entsorgungsaufwand
- Senkung von Ausschuss und Materialaufwand durch geringere Wärmebelastung
- Vermeidung der Freisetzung von Ozon

3. Hauptteil

3.1 Projektverlauf

Erstes Aufgabenpaket für hema war die Entwicklung eines „ethernetfähigen Steuercontrollers zur Ansteuerung einer UV-LED-Beleuchtung“.

Parallel wurde recherchiert, wer die UV-Leuchtdioden, das Keramik-Trägermodul und die benötigte Optik liefern kann.

Mit einem Partner wurde ein funktionsfähiger Prototyp erstellt und vermessen. Die angestrebte Lichtleistung von $8\text{W}/\text{cm}^2$ war am Lichtaustritt vorhanden. Das Modul war 25 cm lang und trug 3 Reihen LEDs im Mitte-zu-Mitte-Abstand von 2,1 mm. Es war wassergekühlt. Mit diesem Modul konnte der tatsächliche Bedarf an Lichtleistung der LEDs, Dichte der Anordnung und Anforderungen an Aufbau und Kühlung definiert werden.

Die ersten echten Drucktests fanden am 5.5.2011 am Testaufbau bei ISIMAT statt. Die ersten Prototypen von LED-Strahler und Steuerung lagen zum Test vor.

Parallel zur UV-Modul-Entwicklung wurde bei hema an der Elektronik und an der Software gearbeitet. Es steht ein komfortables Bedienermodul zur Verfügung, mit dem bis zu 8 Einzel-LED-Module angesteuert werden.

Die Funktionsfähigkeit wurde nachgewiesen. Die Beleuchtungsstärke war für die geplante Arbeitsgeschwindigkeit noch nicht ausreichend. Für die bei ISIMAT geplante Anordnung sollte eine Optik entwickelt werden, die eine genügend intensive Lichtverteilung an den gebogenen Produkten ermöglicht.

Der Prototyp für den UV-Strahler nach der geänderten Spezifikation war im Mai 2012 fertiggestellt. Am 22.05.2012 fanden Tests an der Musteranlage von ISIMAT in Ellwangen statt. Die Tests führten zu sehr guten Ergebnissen. Die Erwartungen wurden deutlich übertroffen. Für die nächste Stufe sollte es möglich sein, mit Hilfe einer geeigneten Optik die Zahl der benötigten LEDs zu reduzieren. Damit können die Herstellungskosten und später die Betriebskosten reduziert werden.

Mit dem Aufbau der Labormaschine zur Simulation einer automatischen Rundtaktmaschine wurde nach Erhalt der Bauteile begonnen. Die Fertigstellung der Maschine wurde im Mai 2013 erreicht.

Parallel entwickelte hema die komplette Ansteuerung für das Modul. Die Ansteuerung der Lichteinheiten ist komplex. Der Kosteneinsparungseffekt bei den Beleuchtungen liegt in der für den Prozess optimal anpassbaren Lichtsteuerung. Die LEDs werden nur nach Bedarf eingeschaltet. Das bedeutet eine von der Maschine initialisierte Ein- und Ausschaltung. Zusätzlich werden die Beleuchtungen modular angesteuert. Bei kleineren Drucken werden nur die benötigten LEDs genutzt. Unterschiedliche Druckfarben in der Druckanlage benötigen unterschiedliche Strahlungsintensität, abhängig von Pigmenten, Farben und Trägermaterial. Die Lichtmenge kann um den Faktor 10 variieren. Das wird durch die Steuerungselektronik individuell für jede Druckstation berücksichtigt.

Es wurden Messungen zur Strahlungsstärke, Homogenität und Gleichmäßigkeit über die Zeitdauer ausgeführt werden. Ferner musste das Blitzverhalten erprobt werden. Zudem wurde die Optik für die Belichtung gebogener Körper berechnet, produziert und erprobt. Um die geplante Endgröße des Gerätes zu erreichen, werden größere UV-LED-Module hergestellt.

Der LED UV Strahler ist für die Wellenlängen 365 nm, 385 nm und 395 nm verfügbar.

Standard-Modullänge 60 mm, 6 Reihen LEDs. Zwischen den Reihen sind Reflektoren angebracht.

Gesamtlänge für ISIMAT ist 240 mm, zusammengesetzt aus 4 Modulen. Bei der Anreihung der Module kommt es in ca. 15 mm Abstand zu einer Intensitätseinbuße von ca. 2%. Bei Ausfall einer einzelnen LED leuchten alle anderen weiter.

3.2 Versuche

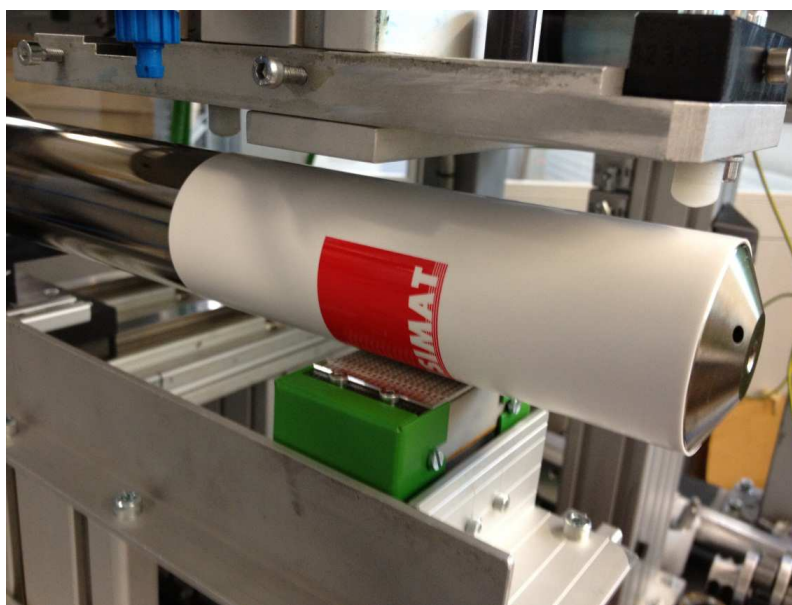


Abbildung 1: Testaufbau bei ISIMAT



Abbildung 2: Druckproben

Rote Farbe:

Wavelength, nm	Working distance, mm	Speed, mm/s (Takt/ min)	Tactile test results	Tesa test
395	1	500 (75)	minimal klebrig, überdruckbar	-
		700 (100)	minimal klebrig, überdruckbar	ok
		800 (120)	minimal klebrig, überdruckbar	-
	15	500 (75)	lässt sich nur minimal verreiben	-
385	15	500 (75)	lässt sich nur minimal verreiben,	-
		700 (100)	lässt sich verreiben	-
		800 (120)	klebrig, lässt sich leicht verreiben nicht überdruckbar	-

Bei 15 mm Arbeitsabstand fast keine Unterschiede zwischen 385 und 395 nm; bei geringeren Abständen ist die Aushärtung in Ordnung.

Weißer Farbe:

Wavelength, nm	Working distance, mm	Speed, mm/s (Takt/ min)	Tactile test results	Tesa test
395	15	500 (75)	minimal klebrig, überdruckbar	-
		1000 (150)	minimal klebrig, überdruckbar	-

Bei 15 mm Arbeitsabstand ist die Aushärtung ausreichend für alle möglichen Geschwindigkeiten.

Schwarze Farbe:

Wavelength, nm	Working distance, mm	Speed, mm/s (Takt/ min)	Tactile test results	Tesa test
395	1	500 (75)	minimal klebrig, überdruckbar	-
		700 (100)	minimal klebrig, überdruckbar	ok
		800 (120)	minimal klebrig, überdruckbar	-
	5	800 (120)	minimal klebrig, überdruckbar	ok
		1000 (150)	minimal klebrig, überdruckbar	-
	10	800 (120)	minimal klebrig, überdruckbar	-
	15	500 (75)	minimal klebrig, überdruckbar	-
		700 (100)	lässt sich verreiben,	-
		800 (120)	klebrig, lässt sich leicht verreiben, nicht überdruckbar	-
385	15	500 (75)	minimal klebrig, überdruckbar	-
		700 (100)	lässt sich nur minimal verreiben,	-
		800 (120)	klebrig, lässt sich leicht verreiben, nicht überdruckbar	-

Bei 15 mm Arbeitsabstand sind geringfügige Unterschiede zwischen 385 und 395 nm feststellbar (385 nm scheint besser zu funktionieren); bei geringeren Abständen ist die Aushärtung in Ordnung.

Fazit:

Bei geringeren Abständen ist die Aushärtung ausreichend bei allen Geschwindigkeiten, die für Siebdruck in Frage kommen.

Bei größeren Abständen (15 mm) liegt die maximale Geschwindigkeit in Bereich 500...700 mm/s (75...100 Takten/ min).

Die für Serien geplanten Chips haben 20...30% mehr Lichtleistung. Das ergibt, dass sogar bei größeren Arbeitsabständen die Aushärtung bei normaler Geschwindigkeit ausreichend sein wird.

Nur geringfügige Unterschiede zwischen 385 und 395 nm feststellbar: 385 nm scheint besser auszuhärten. Die Ergebnisse sind farbenspezifisch.

Feldtest am 15.11.2012 bei ISIMAT

UV-LED-Modul mit 385 nm ist fertig. Die neue Bauform enthält 6 Reihen LEDs auf gleicher Breite wie bisher (mit 12 Reihen) und dazwischen eine Optik zur Lichtauskopplung in Bearbeitungsrichtung. Damit kann die gleiche Lichtmenge auf das Objekt gebracht werden wie vorher, jedoch mit dem halben Leistungsaufwand. Es müssen nur noch Feintunings an der Einheit durchgeführt werden.

Zum Test wurde ein UV-LED-Modul in 60 mm Länge verwendet. Damit sind bei einem Druckbild von ca. 40 mm Höhe Ausleuchtungsverhältnisse gegeben, wie sie später in der Serienmaschine vorliegen. Die Ergebnisse sind voll übertragbar.

In Bezug auf Optik, Lichtmengen, Abmessungen, Anschluss und Elektronik ist die Einheit fertig. Die Markteinführung der LED-Einheiten 365 nm und 385 nm soll im Jahr 2014 stattfinden.

Die Versuche werden mit dem Testaufbau bei ISIMAT durchgeführt. Die Ergebnisse sind etwa genauso gut wie beim vorherigen Durchgang mit höherer LED-Dichte.

Die Arbeitsabstände werden variiert. Es zeigen sich auch bei 20 mm Abstand gute Ergebnisse.

Für ISIMAT wird eine UV-Einheit mit 240 mm Länge hergestellt. Sie besteht aus 4 aneinander gereihten 60 mm-Modulen. Durch die Bauform mit Bestückung der LEDs bis zum Rand in Längsrichtung ist gewährleistet, dass keine Leuchtlücke innerhalb der Einheit auftritt.

LED-TEST ISIMAT/HEMA

Datum: 15.11.2012

ISIMAT P. Detzner G. Utz J. Grabert	Hema C. Helzle
--	-------------------

Nr.	Farbserie	LED	Leistung	Abstand	Takte/min (Speed mm/s)	Umdr.	Ergebnis / Tesatest
1	950 UV - 9262 black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	60 (400)	1	trocken, kratzfest, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
2	950 UV - 9262 black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	120 (800)	1	minimal klebrig (schmiert leicht), kratzfest, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
3	950 UV - 9262 black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	180 (1200)	1	minimal klebrig (schmiert leicht), kratzfest, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
4	950 UV - 9262 black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	15 (100)	1	trocken, kratzfest, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
5	950 UV - 9262 black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	120 (800)	2	Oberfläche besser als bei Nr. 2, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
6	950 UV - 9262 black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	10 mm	60 (400)	1	minimal klebrig, kratzfest, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
7	950 UV - 9262 black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	10 mm	120 (800)	1	minimal klebrig (schmiert leicht), kratzfest, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
8	950 UV - 9262 black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	20%	5 mm	60 (400)	5	trocken, kratzfest, Tesa i.O. (überdruckbar)
9	950 UV - 9262 black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	20%	5 mm	120 (800)	5	trocken, kratzfest, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
10	UVC 180 RZ black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	120 (800)	1	trocken, kratzfest, Tesa i.O. (überdruckbar)
11	UVC 180 RZ black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	180 (1200)	1	trocken, kratzfest, Tesa i.O. (überdruckbar)
12	UVC 180 RZ black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	20 mm	180 (1200)	1	trocken, kratzfest, Tesa i.O. (überdruckbar)
13	UVC 180 RZ black	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	80%	20 mm	180 (1200)	1	trocken, kratzfest, Tesa i.O. (überdruckbar)
14	950 UV - 1292 weiß	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	20 mm	180 (1200)	1	trocken, kratzfest, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
15	950 UV - 1292 weiß	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	180 (1200)	1	trocken, kratzfest, Tesa n.i.O. (überdruckbar)
16	950 UV - 1292 weiß	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	60 (400)	1	trocken, kratzfest, Tesa i.O. (überdruckbar)
17	950 UV - 1292 weiß	CureLED Prototyp 8W/cm ² 385nm	100%	5 mm	120 (800)	1	trocken, kratzfest, Tesa i.O. (überdruckbar)

Die orange eingefärbten Felder, zeigen die veränderten Parameter beim nachfolgenden Test an!!!

Siebgewebe: 150/31 Druckbild ISIMAT Logo
Schichtstärke: 6 - 8 µm

Aushärtebedingungen:
- LED current 500mA
- Water temperature 15°C

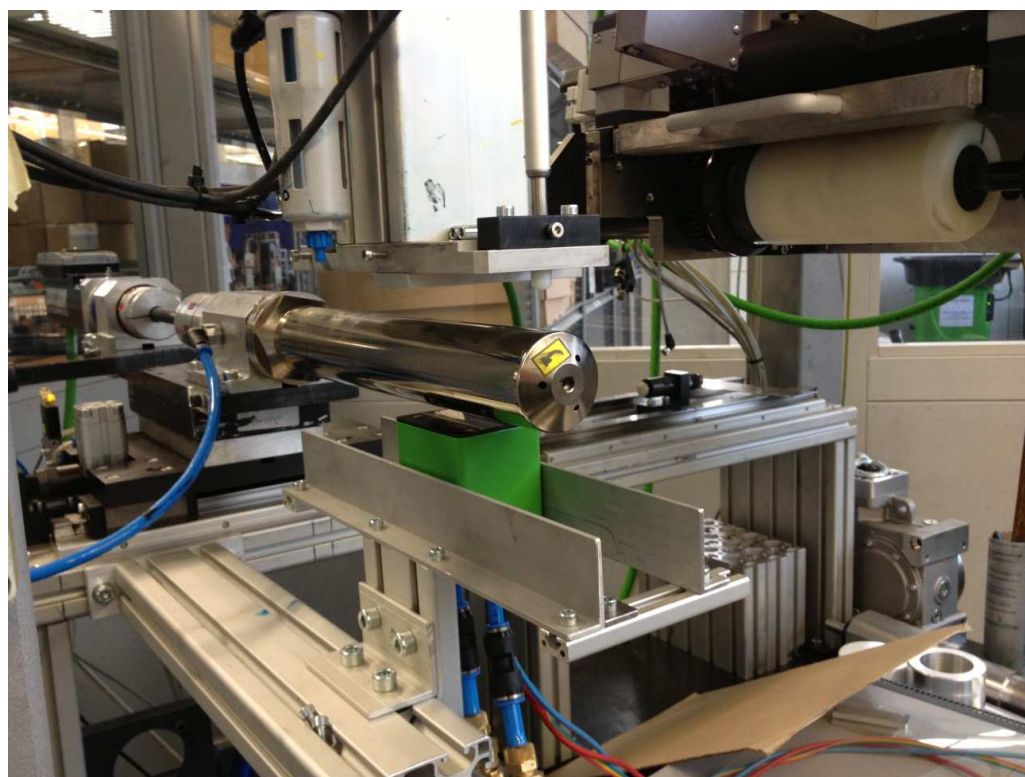


Abbildung 3: Musteraufbau bei ISIMAT



Abbildung 4: Probematerial Tuben nach Bedruckung und Prüfung

Ergebnisse:

In diesem Praxistest zeigte sich, dass die angestrebten Ziele erreicht wurden.

Die Lichtintensität ist bei allen verwendeten Farben und in den angestrebten Arbeitsabständen von 5 mm bis 15 mm ausreichend.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Ethernetfähiger Steuercontroller zur Ansteuerung einer UV-LED-Beleuchtung

Aufgabenstellung

Hardware

Es wurde ein Controller-Board erstellt, mit dem der Benutzer über das Netzwerk die UV-LED-Module regeln kann.

Die Hardware enthält:

- Mikrocontroller für Steuerung des Controllers
- Schnittstelle zu den Steuerplatinen
- zwei serielle Schnittstellen zur Segmentkommunikation
- Schnittstellen für den Benutzer
- Ethernet Schnittstelle zur Konfiguration
- galvanisch getrennte digitale Eingänge zur Profilwahl
- galvanisch getrennte digitale Eingänge zur Triggerung der Beleuchtung
- analoger Eingang zur Dimmung der Beleuchtung
- galvanisch getrennte digitale Ausgänge für Alarmmeldungen und Zustandsanzeige
- Speicher
- kleines EEPROM für statische Werte
- großes FLASH-ROM für Log- und Alarm-Meldungen
- Spannungsversorgung
- PowerOn- / Spannungsüberwachung
- Reset-Eingang für IP-Adressen-Reset

Software

Die Software wurde parallel zur Hardwareentwicklung auf einem Evaluierungsboard entwickelt und bei Fertigstellung der Hardware angepasst. Hier die wichtigsten Software-Inhalte:

Webserver

- kleiner Webserver mit TCP/IP Stack für Netzwerk Anbindung
- Anzeige der Messwerte der Steuerplatinen und LED-Platinen
- Einstellmöglichkeit der Profile
- Firmware Update
- Zeitsynchronisation mit Internet-Zeitserver
- Ansteuerung der Steuerplatinen
- Auslesen der Messwerte
- Einstellen der Profile
- Ansteuerung der Speicher
- Ansteuern und Auslesen der externen Signale
- Digitale Eingänge zum Triggern der Beleuchtung
- Digitale Eingänge zum Auswählen der Profile
- Digitale Ausgänge bei Alarmmeldung
- Analogere Eingang für Dimmung (optional)

Bei der Programmierung wurde auf eine klare Strukturierung und Dokumentation geachtet. Die Webseiten sollen dem Benutzer ein intuitives Arbeiten mit der Beleuchtung bieten.

Realisierung

Hardware

Im ersten Arbeitspaket entstand die Controller-Platine LED-C3A mit den aufgeführten Controllerfunktionen. Parallel entstand das Benutzerhandbuch.

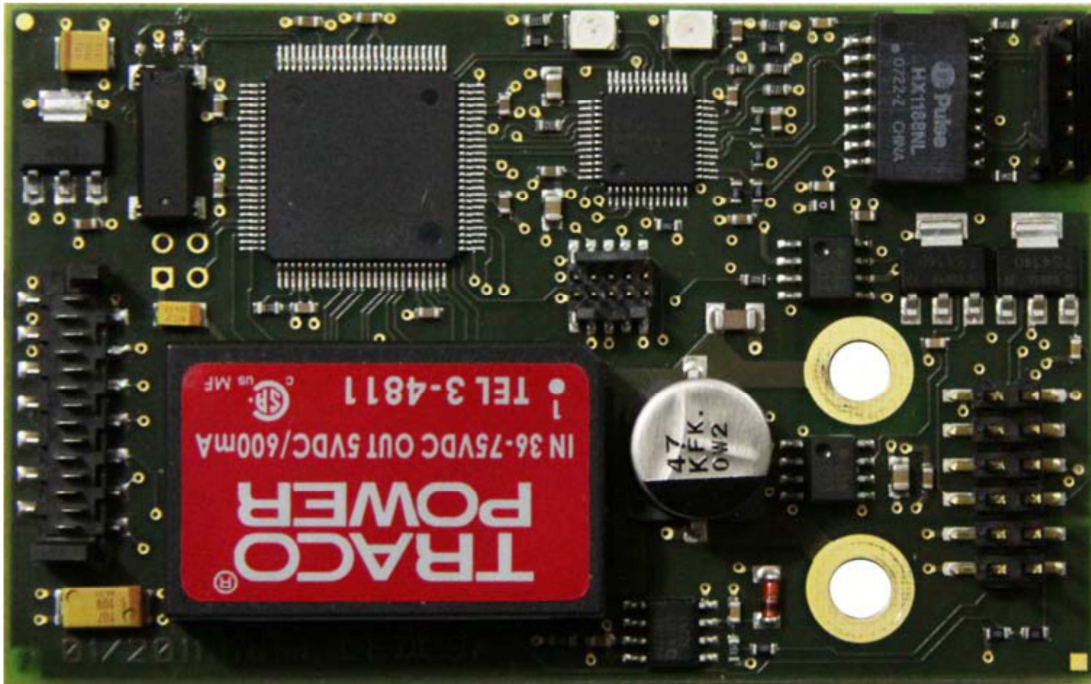


Abbildung 5: LED-C3A Platine, fertiger Controller

Software

Bei der Software wurde zunächst die Peripherie programmiert. Das heißt, zu Beginn wurden alle hardwarenahen Schnittstellen programmiert, danach die Schnittstelle zur Software. Anschließend wurden diese Teile zusammen an den Webserver angepasst und integriert.

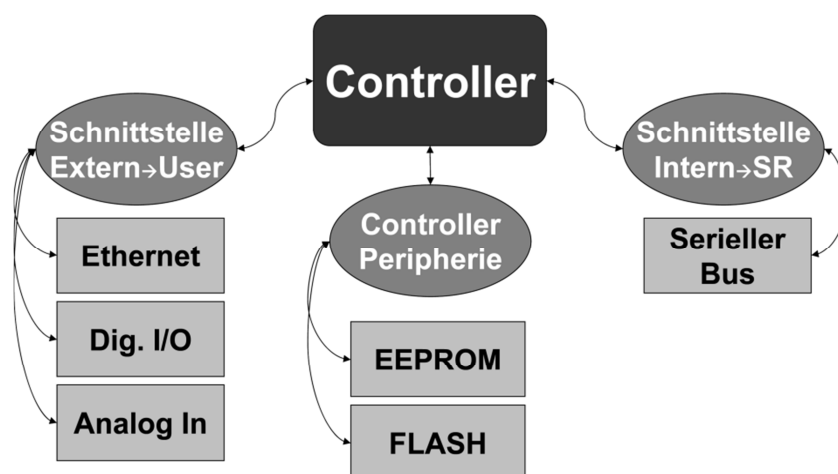


Abbildung 6: Schnittstellen des Controllers

Wie die Abbildung 9 zeigt, gibt es drei Schnittstellengruppen. Ganz links sieht man die Benutzerschnittstelle, diese verbindet den Mikrocontroller mit dem Benutzer bzw. einer Maschinenteuerung.

Um die LEDs anzusteuern gibt es rechts die Schnittstellen zu den SR-Platinen.

Diese kommunizieren über serielle Schnittstellen und übergeben bzw. empfangen Werte der AD/DA-Wandler. Um diese Werte zu verarbeiten und speichern, werden sie in Speichern abgelegt. Deren Schnittstellengruppe liegt in der Mitte der Abbildung. Der Controller kontrolliert all diese Schnittstellen.

Die Software ermöglicht es 4 Standard-Leuchtprofile zu definieren und zu speichern. Die Bedienung erfolgt über eine Bedienoberfläche auf dem PC. Über die Ethernet-Schnittstelle wird der Controller bedient.

Der Trigger-Eingang ist zur Synchronisation der Beleuchtung mit der Funktionalität der Gesamtanlage vorgesehen. Auf Signale der Maschinen hin wird das LED-Modul ein- und ausgeschaltet.

Zusätzlich wurde eine Logbuch-Funktion eingebaut. Es werden die Betriebsdaten regelmäßig aufgezeichnet. Damit kann die Betriebsfunktion überwacht werden. Im Störfall wird Alarm ausgegeben und anhand der aufgezeichneten Daten der Verlauf der Störung rekonstruiert werden.

Mit der Funktion Firmware Update können über die Rechnerschnittstelle neue Programme auf den Controller programmiert werden, ohne dass eine Hardware-Programmier-Schnittstelle benötigt wird.

Die Bedienoberfläche ist in HTML geschrieben. Über Passwort-Zugang wird das gewünschte Programm konfiguriert und gestartet.

3.3.2 UV-LED-Strahler

Anforderungen

ISIMAT baut die Maschinen zur Bedrucken von Tuben (für Kosmetik o.ä.). In der Maschine befinden sich mehrere (>4) Tuben, jede wird mit max. 6 Farben bedruckt. Für jede Tube und Farbe benötigt man 1 UV LED Modul für Vortrocknung und 1 UV LED Modul für endgültige Aushärtung.

ISIMAT Anforderungen

Oberflächen Geschwindigkeit: 40...50 m/min;

Lichtleistung mindestens 8W/cm²

Derzeitiger Abstand LED Lichtquelle zur Oberfläche: 5 mm (+/-0.5 mm?);

Tuben Länge: 220 mm;

Lichtquellenlänge: ca. 250 mm;

Wellenlänge des Lichtes ca. 395 nm;

Auswechselbare Schutzscheibe ist notwendig;

Strahlerbreite: 25 mm;

Die Oberfläche der Tube ist gekrümmt. Das bedeutet, dass das Licht einer lambertschen Quelle (LED ohne Optiken) nicht effizient genutzt wird (siehe Bilder unten). Außerdem will ISIMAT die Möglichkeit haben, die Tuben von 20 bis 60 mm Durchmesser zu belichten, ohne die Position zu verändern (letztes Bild);

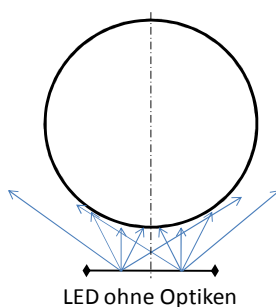


Abbildung 7:
LED ohne
Optiken

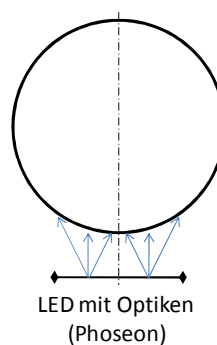


Abbildung 8:
LED
mit
Optiken

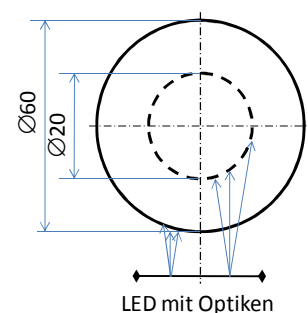


Abbildung 9:
LED
mit
Optiken

Ein modularer Aufbau der LED-Module bringt Vorteile bei der Wartung (Einzelmodule zu ersetzen ist billiger) und auch bei der Flexibilität (verschiedene Längen sind schnell realisierbar);
Mögliche Modullängen: 100 (120) mm für kürzere Produkte.

Mit einem Kooperationspartner wurde ein leistungsfähiges UV-LED-Strahlermodul (LEDs auf Keramiksubstrat in Chip-on-board Technik) entwickelt. Der Keramikkörper enthält ein komplettes sehr ausgefeiltes Kühlsystem. Die Kühlung erfolgt mit Wasser.

Damit stehen leistungsfähige UV-Strahlermodule mit fertig konfigurierten, d. h. bereits gebondeten LED-Chips von 365 nm und 395 nm Wellenlänge und integriertem Thermomanagement auf Keramikbasis zu wirtschaftlich sinnvollen Preisen zur Verfügung.



Abbildung 10: Strahlermodul

Im Verlauf der gemeinsamen Entwicklung entstand das als High-Power UV-Lichtquelle für Anwendungen in der UV-Härtung im UVA-Bereich.

Die Lichtleistung liegt über den geforderten 8 W/cm². Das Grundmodul mit der Länge von 20 x 60 mm ist anreihbar und erlaubt die Konfiguration von längeren Lichtquellen je nach Bedarf. Es werden LEDs eingesetzt, die die derzeit höchste Lichtstärke aufweisen. Die Lebensdauer ist mit 20.000 Stunden sehr hoch.

3.3.3 UV-LED Labordruckmaschine

Es wurde eine Labormaschine auf Basis der Anforderungen für die notwendigen Tests entwickelt und aufgebaut.



Abbildung 11: Labormaschine ISIMAT

Beim Aufbau der Labormaschine wurde darauf geachtet, dass die realen Bedingungen einer vollautomatischen Druckmaschine erfüllt werden. Die Labormaschine enthält alle Stationen, die für eine produktionsnahe Simulation einer automatischen Druckmaschine notwendig sind: Staubreinigung, Vorbehandlung, Druckstation und UV-Trocknung.

LED-UV-Station



Abbildung 12: LED-UV-Station

Zum Erreichen der realen Druck- und Trocknungsgeschwindigkeiten, wird eine mit Servomotor angetriebene Aufnahmeeinheit eingesetzt. Ebenfalls wird die Siebdruckstation über einen Servomotor angetrieben, dadurch wird sichergestellt, dass die geforderten Geschwindigkeiten der Druck- und Trockenzeiten einer vollautomatischen Rundlaufdruckmaschine exakt reproduzierbar simuliert und eingestellt werden kann.

Zur Analyse der Aushärtung wurde ein Trocknergehäuse mit Wasserkühlung, optimierter Lichtaustrittsöffnung und Schutzabdeckung mit Quarzglas konstruiert. Der Abstand ist durch eine manuelle Höhenverstellung einstellbar.

Die Ansteuerung der LED-Einheit wird synchron zur Taktrate über Nocken eingestellt. Durch diese Option wird die LED-Einheit nur dann angesteuert, wenn das Substrat oberhalb der Lampe steht und nicht während des gesamten Arbeitstakts eingeschaltet wird. Dadurch werden weitere Energieeinsparungen (bis zu 50%) im Betrieb erreicht.

3.3.4 Messtechnik

Beschreibung der UV-Strahlereinheit

Es wurde ein Gerät entwickelt, mit dem auf eine Lackprobe eine definierte Dosis von UV-Strahlung aufgebracht werden kann. Als Parameter können sowohl die Bestrahlungsstärke, als auch die Einwirkdauer in weiten Bereichen frei vorgegeben werden.

Als Kernstück für die UV-Bestrahlungseinheit wurde eine optische Anordnung entwickelt, bei der mehrere Hochleistungs-UV-LED auf eine Probe (Prüfobjekt) fokussiert werden. Die LED sind entsprechend der Abbildung 20 auf einer Halbkugel über der Probe montiert und strahlen alle auf einen Punkt am Prüfobjekt.

Beim aktuellen Entwicklungsmuster sind dies 7 LED der Wellenlänge $\lambda_{LED} = 385 \text{ nm}$ mit einer optischen Leistung von jeweils 350 mW bei $\hat{I}_{LED} = 500 \text{ mW}$. Beim Entwicklungsmuster sind Ströme bis zum nach dem Datenblatt maximal zulässigen Wert von $\hat{I}_{LED} = 700 \text{ mW}$ einstellbar.

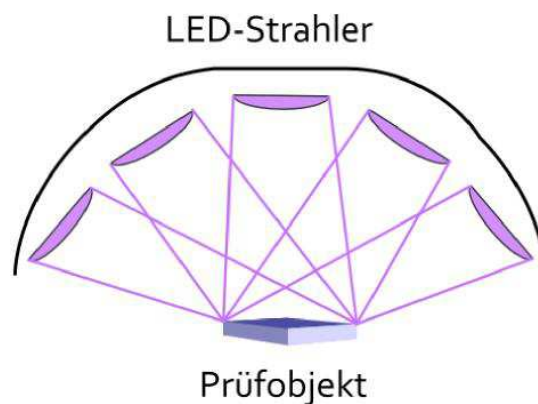


Abbildung 13: LED-Einheit, schematisch

Damit ist bei allen LED einer Einheit eine maximale optische Leistung von ca. 3430 mW zu erwarten. Die emittierte Strahlungsleistung wird am Prüfobjekt als quadratischer Strahlungsspot mit einer Kantenlänge von ca. 7 mm fokussiert. Damit entsteht im günstigsten Fall die Bestrahlungsstärke von 7 W/cm^2 .



Abbildung 14: LED-Strahlerkopf

Zusätzlich zum Funktionsmuster wurde ein zweiter, identischer Strahlerkopf gebaut, der bei Bedarf die Bestückung mit LED einer zweiten Wellenlänge erlaubt. Abbildung 21 zeigt die konstruktive Umsetzung des LED-Strahlerkopfes.

Jede LED wurde auf einen Kupferblock mit Lot mit niedrigem Schmelzpunkt gelötet. Die Kupferblöcke sind sehr massig, da sie noch von Wasserkanälen durchzogen werden. Aufgrund der großen Wärmekapazität wäre die Verwendung von Standard-Lot nicht möglich, weil der Kupferblock nach dem Aufschmelzen des Lots und Anbringen der LED nicht hinreichend schnell abgekühlt werden kann. Die aufgebrachte LED würde sofort überhitzt und dadurch degradieren. Das hier verwendete Lot schmilzt bereits bei 148 °C und ermöglicht ein längeres Verweilen der LED bei dieser Temperatur ohne Beschädigung. Die Wasserkühlung wurde erwogen, weil die LED im Grenzbereich des nach dem Datenblatt möglichen Betriebs eingesetzt wird.

Bei der Auswahl der LED wurde darauf geachtet, den gleichen Chip zu verwenden, wie er auch von der Fa. hema für das UV-Strahlerarray eingesetzt werden wird, um die Ergebnisse aus dem Labor mit denen der Anlage vergleichen zu können.

Zur Fokussierung der Strahlung wird eine konkav-konvexe Fresnellinse mit sehr kurzem Fokus verwendet. Da die LED geringfügig hinter dem Fokus platziert wird, ist somit der Abstand der LED zur Linse sehr klein. Die Apertur der Linse deckt dann einen großen Raumwinkel der emittierten Strahlung ab. Würde die LED zu weit von der Linse entfernt angebracht, würde ein großer Teil der von der LED emittierten Strahlung nicht von der Linse erfasst und somit auch nicht fokussiert werden.

Um weitere Fresnel-Verluste der Linse zu vermeiden, wurde diese einseitig für UV vergütet. Eine Vergütung der strukturierten Fläche der Fresnellinse war technisch

nicht möglich, weshalb hier die Fresnel-Verluste in Höhe von ca. 4 % in Kauf genommen werden mussten.

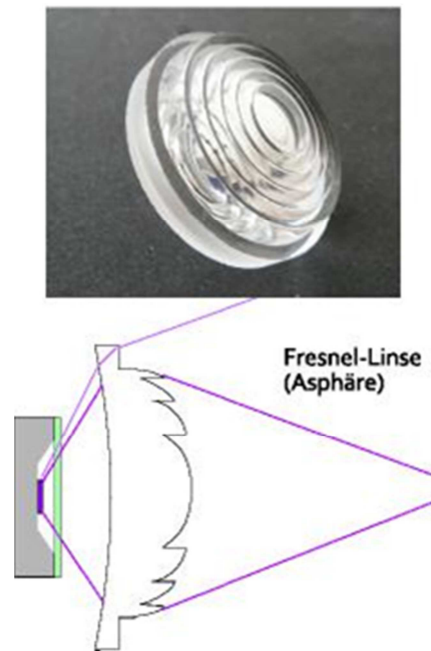


Abbildung 15: Opt. Abbildung der LED

Elektrische Ansteuerung und Entwärmung

Zur elektrischen Ansteuerung der LED wurde eine steuerbare Konstantstromquelle entwickelt. Sie basiert auf dem Prinzip einer getakteten Stromversorgung (Sperrwandler). Die Konstantstromquelle mit Mikro-Controller und serieller Schnittstelle ist in dem hellen Gehäuse im Gesamtaufbau in Abbildung 23 zu sehen. Elektrisch wurden alle LED in Reihe geschaltet, erhalten also alle den gleichen Ansteuerstrom. Die entstehende Klemmenspannung bleibt dabei dennoch unter 42 V und gilt damit als berührsicher. Die Konstantstromquelle wurde auf schnelles Einschwingen des Strompegels ohne Überschwingen optimiert. Der Konstantstrompegel ist unabhängig von den Klemmenspannungen der LED. Deshalb kann die Stromquelle auch für andere LED mit geänderten Parametern verwendet werden.

Das Einstellen der Leistung erfolgt in Stufen über Logikpegel. Diese werden von einem Mikro-Controller erzeugt. Der Mikro-Controller bestimmt ebenso den zeitlichen

Ablauf der Bestrahlung. Seine Information erhält er direkt von einem PC über eine serielle Schnittstelle (USB).

Da die LED im Grenzbereich betrieben werden können, musste dafür gesorgt werden, dass sich keine Erwärmung des LED-Trägers einstellt. Wegen der räumlich verteilten Strahlungsquellen wurde eine Wasserkühlung eingesetzt. In Abbildung 23 sind die zugehörige Pumpe, Kühler und Schlauchleitungen dargestellt. Damit lässt sich die LED-Trägertemperatur auch bei längerem Betrieb mit maximaler Leistung auf Umgebungstemperatur halten.

Prüfanordnung zur definierten Bestrahlung von UV-härtbaren Schichten

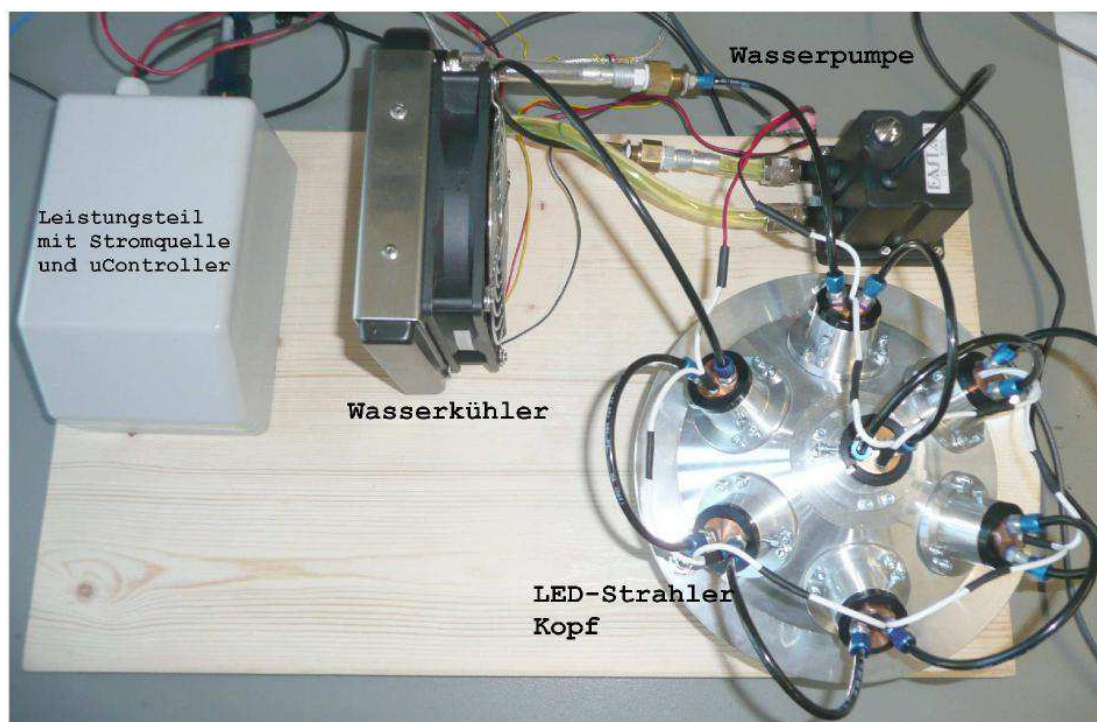
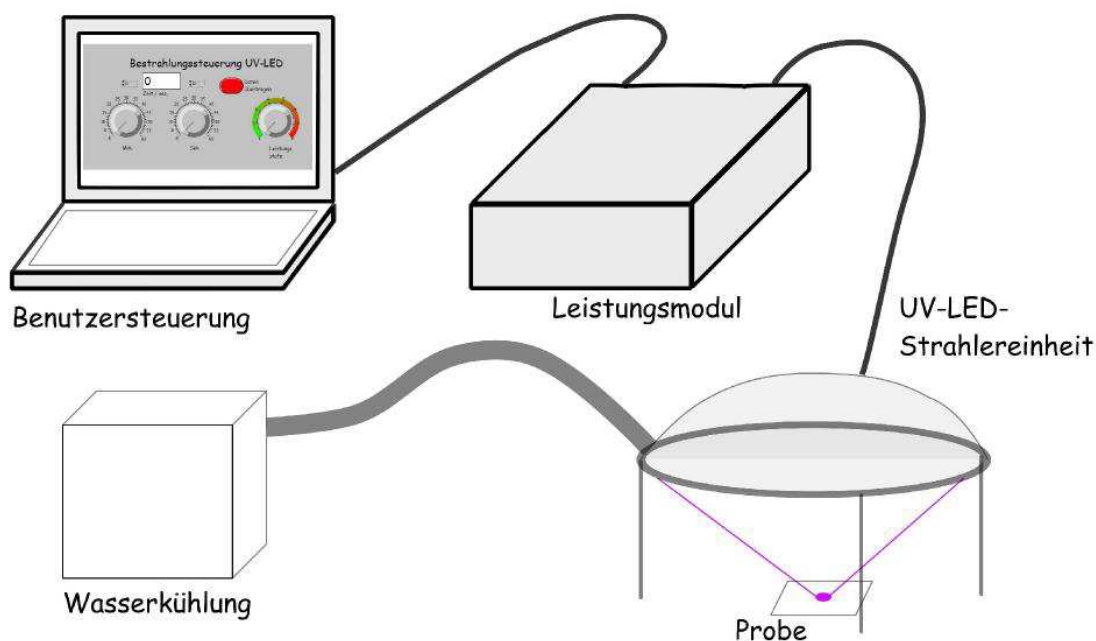


Abbildung 16: Gesamtaufbau (schematisch und Umsetzung)

Benutzerschnittstelle und Steuerung

Die Benutzersteuerung der Anordnung erfolgt vom PC aus. Als Benutzerschnittstelle wurde ein Programm erstellt, mit dem der Anwender die Bestrahlungsdauer und die Ansteuerleistung in 8 Stufen einstellen kann (Abb. 24). Die Leistungsstufen unterscheiden sich etwa durch den Faktor 2. Es könnten aber auch explizite Werte vorgegeben werden. Mit dem Drücken eines Startknopfes (hier: Daten übertragen) wird der Bestrahlungsablauf gestartet.



Abbildung 17: Benutzerschnittstelle

Untersuchungen und Bewertung der Härtungsergebnisse

Mit dem vorgestellten Gerät sollen Proben verschiedener UV-härtender Lacke untersucht werden. Bei den Messreihen sollen sowohl die Bestrahlungsstärke als auch die Bestrahlungsdauer variiert werden. Der Aushärtegrad soll daraufhin mit Hilfe der Infrarotspektroskopie bewertet werden. Hintergrund des Verfahrens ist, dass nicht gehärtete bzw. nicht vernetzte und gehärtete bzw. vernetzte Polymere die Infrarotstrahlung in bestimmten Wellenlängenbereichen verschieden absorbieren (Abb. 25).

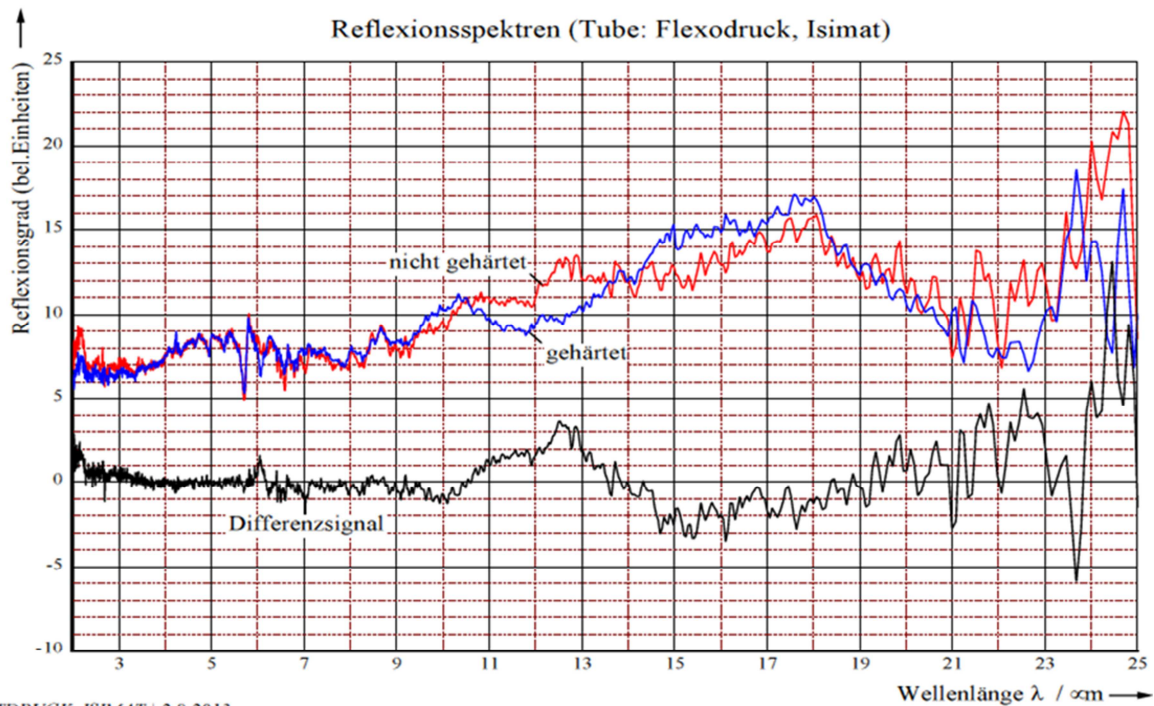


Abbildung 18: Infrarot-Reflexionsspektren zweier Proben (vernetzt, nicht vernetzt)

Wenn nun zwei Proben, von denen eine vernetzte, die andere aber vollständig vernetzt wurde, verglichen werden, kann man unterschiedliche, von der Wellenlänge abhängige, Absorption feststellen. Mit Hilfe dieser beiden extremen Spektren lassen sich die Grenzen festlegen, zwischen welchen teilvernetzte Proben für Absorption liegen sollten. Es muss deshalb möglich sein, von der IR-Absorption auf den Vernetzungsgrad zu schließen.

3.4 Wettbewerbssituation

Die DRUPA-Messe wurde im Juni 2012 besucht. Es wurden Gespräche mit Druckmaschinen-Herstellern und Anwendern geführt. Wirklich effektive Systeme mit UV-LEDs waren immer noch nicht auf dem Markt. Was bisher angeboten wurde, wird von den Kunden wegen mangelnder Leistungsfähigkeit nicht ernst genommen.

Es gibt bisher nur einen LED-Hersteller, der ausreichend leistungsfähige LEDs anbietet. Daher ist auch nicht zu befürchten, dass Wettbewerber auf dem Markt auftauchen, die den Erfolg des Projekts gefährden könnten. Zum Vergleich: Mit dem im Projekt vorliegenden UV-Strahler kann bei Abständen von bis zu 15 mm zwischen LEDs und Druckoberfläche zuverlässig ausgehärtet werden (s. Versuchsbericht). Auf dem Markt befindliche Produkte arbeiten mit 1 - 2 mm Abstand, was die Verwendbarkeit stark einschränkt.

Mit dem im Projekt entwickelten Strahler ist die variable Arbeit bei Abständen zwischen 5 mm und 20 mm möglich. Mit diesem Vorteil, kann man nochmals eine deutliche Kostenersparung gegenüber Wettbewerbsanbietern erzielen.

3.5 Energiebilanz

Unter Betrachtung der Betriebsbedingungen ergibt sich eine erhebliche Einsparung von Energie in der Druckaushärtung (je nach Prozess bis über 75%)

Diese Bilanz errechnet sich wie folgt:

	Herkömmliche Gasentladungslampe, wie sie als Standard verwendet wird:	UV-LED Modul 240 mm lang	Energiebedarf
Anschlusswert	9 kW	4 x 530 W = 2,12 kW	23,6 %
* Volllastbetrieb	100 %	50 % (1,06 kW)	50 %
** Intensität gesteuert nach Flächenbedarf (geschätzt)	100 %	70 % (0,74 kW)	70 %
Energiebedarf für Kühlung	1,7 kW	1,9 kW	112%
Gesamtenergiebedarf	10,7 kW	2,64 kW	25%

*Volllastbetrieb: Eine Gasentladungslampe kann nur mit der vollen Leistung eingeschaltet werden. Energieeinsparung bei der LED entsteht durch Betrieb der einzelnen Lichtquelle innerhalb der Druckanlage angepasst an den Bedarf bei der jeweiligen Druckfarbe. Z.B. benötigt Schwarz mehr als 10 mal so viel Energie wie helle Farbtöne. Daher kann mit der intelligenten Ansteuerung nur die tatsächlich benötigte Lichtmenge aufgebracht werden. In der Modellrechnung gehen wir von einer mittleren Intensität von 50% über die gesamte Anlage aus.

** Je nach Druckbildgröße werden nur die tatsächlich benötigten Module angesteuert.

3.6 Vorläufige ökologische Bilanz

Die ökologischen Effekte der Innovation sind im Einzelnen:

Energie- und Rohstoffeinsparung durch wesentlich höhere Lebensdauer der Lichtquellen von ca. 20.000 Stunden gegenüber ca. 8.000 Stunden.

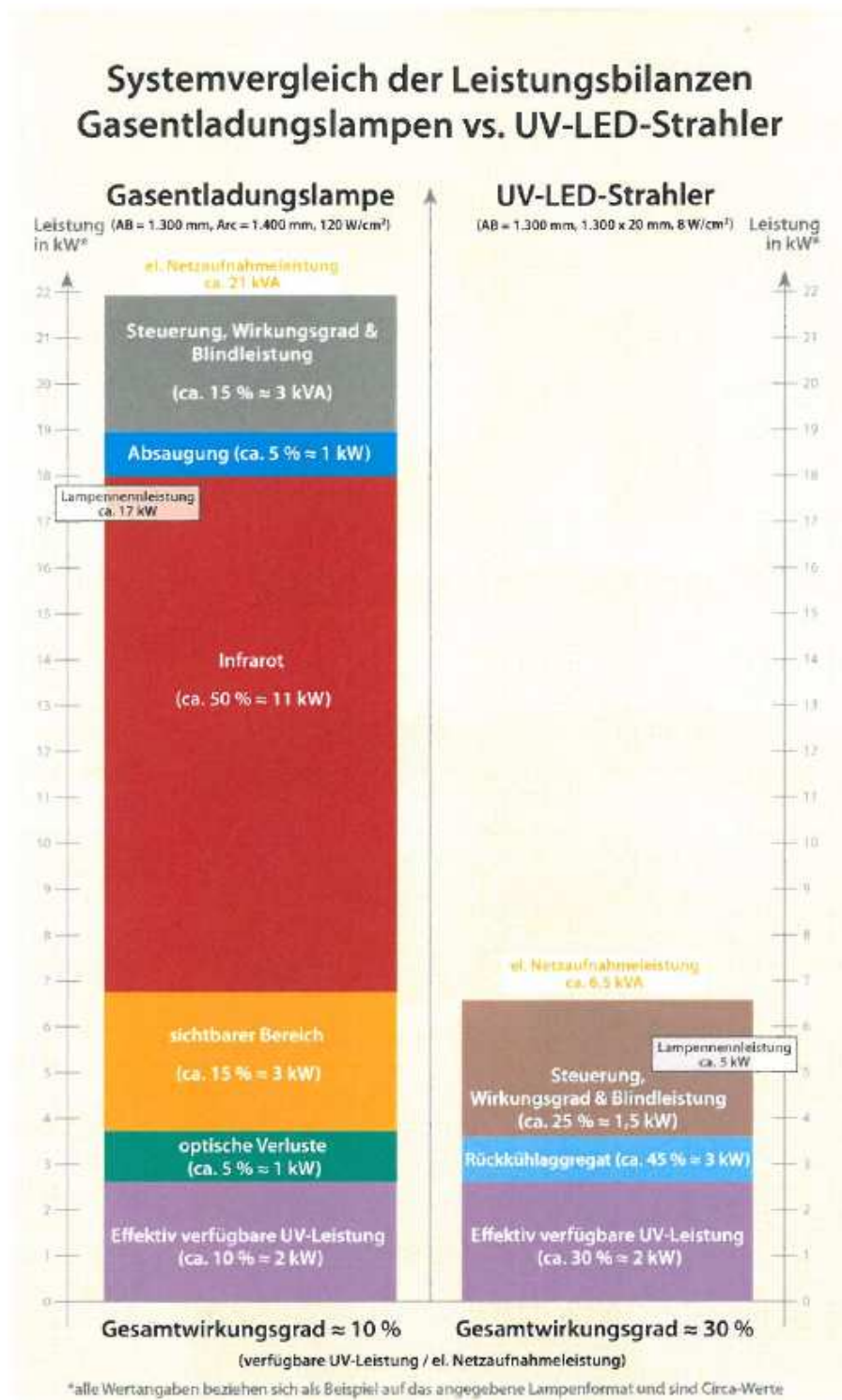
Vermeidung des Einsatzes von Quecksilber in der Lichtquelle

Reduzierung von Müll und Entsorgungsaufwand durch die Lebensdauer von ca. 20.000 Stunden gegenüber ca. 8.000 Stunden

Senkung von Ausschuss und Materialaufwand durch geringere Wärmebelastung: UV-LED haben einen Wirkungsgrad zwischen 15 und 30%. Sie strahlen nur im schmalen Lichtband, das tatsächlich benötigt wird. Damit wird bereits eine Leistungs- und Wärmeeinsparung von ca. 80% erzielt. Die entstehende Abwärme führt zu einer unerwünschten Wärmeeinwirkung auf die bedruckten Kunststoffmaterialien und damit zu Ausschuss oder zu Verwendung von dickeren Wandstärken, um Verformungen zu vermeiden. Eine Verringerung der Wärmeerzeugung in der Leuchte wirkt sich hier sofort positiv aus.

Ozonfreie Trocknung: Da die LEDs kein UVC-Licht ausstrahlen, entsteht im Prozess kein Ozon.

3.7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



Quelle: Magazin für Oberflächentechnik 4/2012 Sonderdruck

Die Wirtschaftlichkeit der UV-LED-Strahler ergibt sich aus folgenden Positionen:

- Anschaffungskosten der Strahler im Vergleich zum vorher eingesetzten Strahler:
Ein höherer Preis relativiert sich durch die 2 - 3fache Lebensdauer.
- Betriebskosten Montage und Wartung:
Ein- und Ausbaurkosten fallen entsprechend seltener an.
- Energiekosten belaufen sich etwa auf 25%
- Senkung von Ausschuss und Materialaufwand durch geringere Wärmebelastung bei wärmeempfindlichen Materialien
- Alle diese Einflüsse sind stark prozessabhängig und müssen für jede Anlage individuell berechnet werden.

Wirtschaftlichkeitsberechnung: gesamte Produktionskosten UV-Trocknung;
 Vergleich konventionelle Gasentladungslampen mit LED-UV

COO Model for TH 8130		Full Cure					
		Mercury Arc Lamp			UV LED Lamp		
Assumptions							
Cost per Lamp unit (€)		8.820	€		16.200	€	
Curing units per press	7	7			7		
lamp length (mm)		25			22,5		
Energy Costs (€/kWh)	0,13						
CO2 (kg/kWh)	0,5						
Shifts per day		3			3		
Hours per shift		8			8		
Working days per year		280			280		
Available time in hours/year		6720			6720		

Efficiency							
Lamp power consumption			5,0	kW		2,2	kW
Total cooling power consumption			11,9	kW		10,5	kW
Total power consumption			46,9	kW		25,9	kW
PS Efficiency %		95	49,4	kW	95	27,3	kW
Hours / year Operation			6.720	hr		6.720	hr
Production % Hours		60	4.032	hr	60	4.032	hr
Power Consumption % (pulsed operation)		100	199.053	kWh	50	54.963	kWh
Stand by % Hours		10	672	hr	0	-	hr
Power Consumption Stand by %		30	9.953	kWh	0	-	kWh
Energy Consumption pa			209.006	kWh		54.963	kWh
Energy Cost pa	€		27.171			7.145	74%
Tonnes of CO2			105	T		27	T
Interest rate in %			6%			6%	
Depreciation period	Years		3			3	
Air flow volume per press	m ³ /h		3.000			0	
Compressed air volume	m ³ /h		0,0			0,0	
Fixed Costs							
Additional Equipment (cooling system installation)			3.500			5.500	€
Cost of Acquisition	€/press		65.240			113.400	€
Cooling equipment costs	€/press		7.500			12.800	€
Interest rate	€/year		4.367			7.902	€
Depreciation	€/year		24.247			42.067	€
			28.613			49.969	€

Variable Costs							
Electricity cost per year	€/year		27.171			7.145	€
Replacement costs emitter (UV lamp)	€/press		1.750			16.200	€
Life expectancy emitter	h		1.200			30.000	7,4
Replacement costs per year	€/year		9.800			3.629	€
Replacement costs reflector, quarz glass	€/press		3.850			-	€
Life expectancy reflector, quarz glass	h		8.000			30.000	0,5
Replacement costs per year	€/year		3.234			-	€
Cost per m ³ compressed air at 6 bar	€/m ³		0,015			0,015	€
Compressed air costs pa	€/year		-			-	€
Ink Cost Pa	€/year		-			-	€
Total cost of ownership	€/year		68.818			60.743	€
Diff.	€					8.076	-12%

Fazit: Bei einer Druckmaschine mit 7 UV-Stationen ist die Trocknung mit LED-UV bereits nach 1 Jahr wirtschaftlicher, trotz höherer Investitionskosten.

3.8 Weitere Ergebnisse

Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten durch intelligente Ansteuerung. LEDs lassen sich sehr gut in der Intensität regeln. Die LED-UV-Lichtquelle besteht aus zahlreichen punktförmigen Strahlern. Diese können innerhalb kleinerer Verbände gezielt angesteuert werden. Daraus ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten.

Bei kleineren Druckbildern werden nur die benötigten Einheiten des Strahlers aktiviert und damit Energie eingespart. Das UV-Licht kann aber auch räumlich in verschiedenen Abschnitten des Moduls und zeitlich dosiert werden. Damit ist individuelle Lichtdosierung innerhalb von Aushärtungsprozessen möglich. Auf dieser Basis werden weitere Anwendungen wie z.B. bei der Klebstoffhärtung untersucht und erprobt.

Die Möglichkeit der Feinsteuerung der LEDs in Bezug auf Intensität, Zeitablauf und geometrischer Profile eröffnet neue Möglichkeiten zur Steuerung komplexerer Aushärteprozesse. Beispiele sind Füllprozesse bei Klebern, wo der Härteprozess langsam von statten gehen muss, um während der Aushärtung Schwindung auszugleichen und Material nachzufüllen oder der Bedarf an partieller Aushärtung, wenn ein Teil der Fläche noch weiterbearbeitet werden muss.

3.9 Offene Fragen und Aufgaben

Messtechnik:

Inline-Prüfung der Module:

Diese Aufgabe wird von den Projektpartnern als sehr wichtig erachtet und im Anschluss an das Projekt fertig gestellt werden.

Eine Frage bleibt noch offen, ob es den Farbherstellern gelingt, eine migrationsarme Farbe zu entwickeln, die mit reiner LED-Trocknung gehärtet werden kann.

Des Weiteren wird es interessant sein, wohin sich die Leistungsstärken der LED-Einheiten bewegen. Als wir das Projekt begonnen haben, waren die Leistungsstärken bei max. 2-4 W/ cm². Heute sind wir schon bei 8 – 16 W/ cm².

3.10 Aussichten

Die unaufhaltsame Weiterentwicklung der LED-Technologie lässt für die kommenden Jahre weitere Verbesserungen an den Leuchtdioden in Bezug auf Wirkungsgrad und Leuchtkraft erwarten. Gleichzeitig werden die Preise sinken.

Die Markteinführung im Jahr 2014 kommt zum richtigen Zeitpunkt, um an der weiteren Entwicklung voll Teil zu haben.

Mit der Markteinführung können weitere Anwendungen angegangen werden, speziell in den verwandten Gebieten der Aushärtung von Oberflächenbeschichtungen, Klebern und weiteren Druckverfahren.

Es spricht in Zukunft alles für die LED-UV-Trocknung. Es müssen in der Farbherstellung noch einige Anpassungen gemacht werden, damit eine Gewährleistung zur vollständigen Trocknung aller Farben gegeben werden kann. Die größte Herausforderung wird es sein, eine Farbserie, die auf migrationsarmer Basis aufgebaut ist, zu trocknen. Es existiert momentan noch keine migrationsarme Farbe, die sich mit reiner LED-UV-Trocknung trocknen lässt. Die Farbhersteller werden weiter nach Rohstoffen suchen, die auf keiner schwarzen Liste (Nestle, Eupia, Swiss Ordinance,...) auffindbar sind und trotzdem mit reiner LED-UV-Trocknung getrocknet werden können.

4. Fazit

Die Ergebnisse des Projekts haben für das geförderte Unternehmen hema electronic den Einstieg in die UV-LED-Technik eröffnet. Über die Zusammenarbeit mit dem Partner ISIMAT ist eine Alleinstellung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und der gleichzeitigen Kosteneinsparung im Siebdruck erreicht worden. Für beide Unternehmen ist damit eine hervorragende Ausgangsposition für die Vermarktung der Produkte geschaffen worden.

Die angestrebte Energieeinsparung für das UV-LED-Produkt ist erreicht und zum Teil übertroffen worden und macht die Anwendung für die Endkunden wirtschaftlich attraktiv. Zusätzlich erleichtern weitere Aspekte wie eine schonendere Verarbeitung des zu bedruckenden Materials die Markteinführung. Durch die Entwicklung spezieller LED-Farben bei mehreren Farbherstellern wird die Nachfrage von Kunden nach LED-Trocknung immer größer.

Mit den neu entwickelten Strahlern, der ausgefeilten Ansteuerung und der verbesserten Anlagentechnik wurden die Ziele des Entwicklungsprojekts voll erreicht.

5. Literaturverzeichnis

- MO-Magazin für Oberflächentechnik 4/12 Sonderdruck
„Hohe Effizienz, keine Wärmebelastung - UV-LED-Strahler beim Beschichten von Kunststoff“