Abschlussbericht zum FuE-MF-Vorhaben „Breitband-UVED“

Förderkennzeichen: **49MF180097**

Zuwendungsempfänger: **Optotransmitter-Umweltschutz-Technologie e.V.**

Vorhabenbezeichnung: **Breitband-UVED**

Projektlaufzeit: **01.01.2019 - 31.04.2020**

Berichtszeitraum: **01.01.2019 - 30.04.2020**

Verantwortlich: Dr. Adrian Mahlkow

1. Inhaltlicher Teil des Abschlussberichts

AP 1 Materialanalyse Konverter

Um ein breitbandiges Spektrum im UV-Bereich zu erreichen, wird ein Fluoreszenzfarbstoff benötigt, welcher im UVC-Bereich angeregt werden kann, und im UVB-und UVA-Bereich emittiert.

Mit der Universität Bremen steht ein guter Forschungspartner auch als Bezugsquelle für UV-Konvertermaterialien zur Verfügung. Es wurde insgesamt sechs verschiedene Proben in ausreichender Menge zur Verfügung gestellt. Nach kurzen Voruntersuchungen erfolgte eine Konzentration auf die Materialgruppe LuAG (Lutetium-Aluminium-Granat). Zur Charakterisierung der Beschaffenheit des LuAG-Pulvers, wurde eine Probe mithilfe eines Rasterelektronenmikroskops (REM) untersucht. Bei dem verwendeten Gerät handelt es sich um das Modell SH5000 des Herstellers Hirox. Die REM-Aufnahmen sind in Abb.1 und 2 dargestellt.

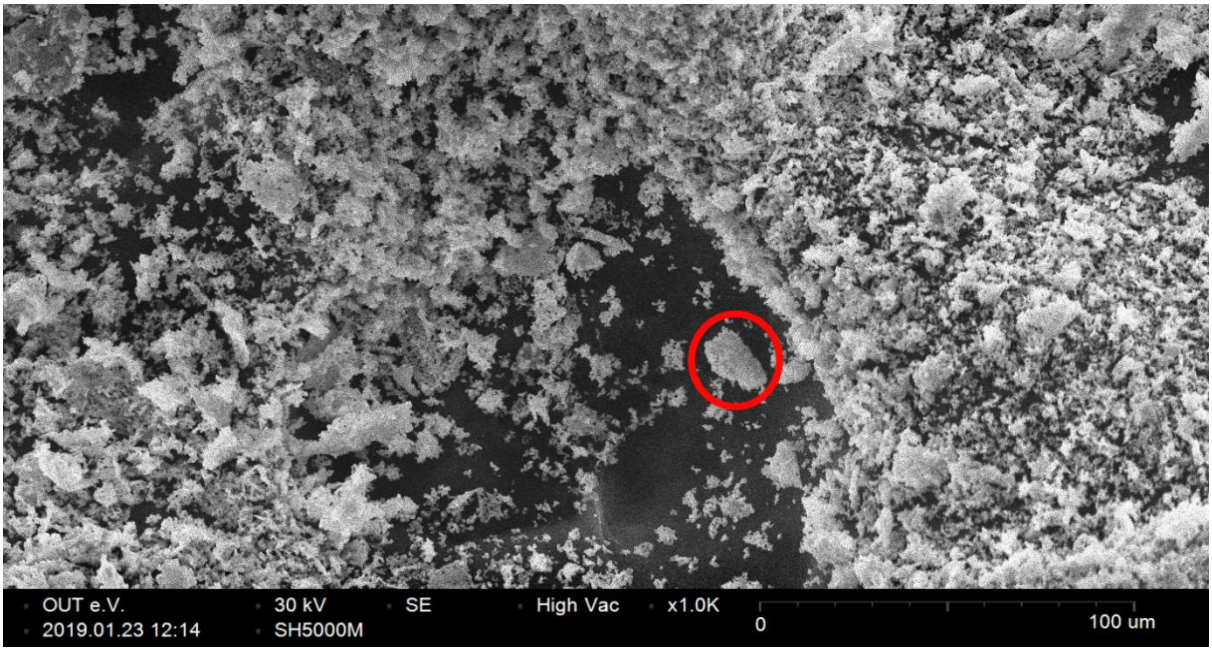

Abbildung 1: 1000-fache Vergrößerung von einkristallinem LuAG-Pulver

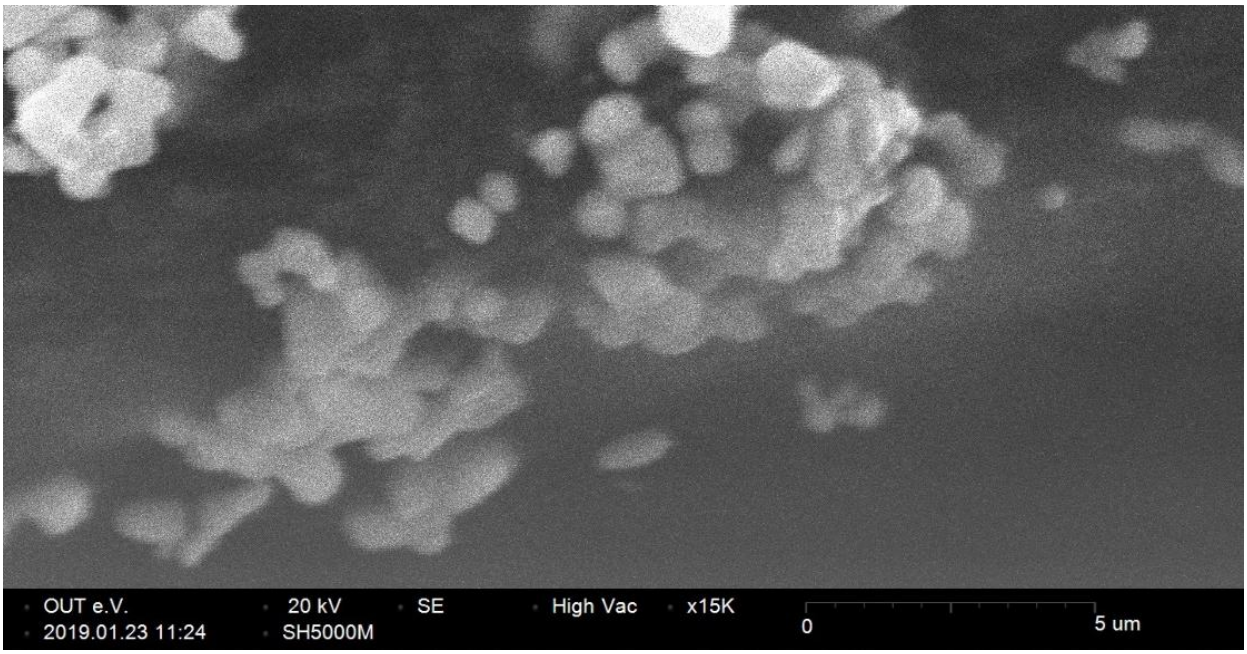

Abbildung 2: 15.000-fache Vergrößerung von einkristallinem LuAG-Pulver

Wie auf der Markierung in Abb. 1 zu erkennen ist, haben sich aus den LuAG-Körnern Ansammlungen gebildet und das Pulver ist aus verschieden großen Ansammlungen zusammengesetzt. In Abbildung 2 sind die einzelnen Bestandteile der Ansammlungen zu sehen. Der Durchmesser der einzelnen Bestandteile beträgt ca. 1 µm (siehe Maßstab), wobei die Größen variieren. Um herauszustellen, ob es sich bei den Kugeln, um die Körner (einkristallin) des LuAG-Einkristalls handelt, wurde eine weitere Probe des LuAG-Pulvers mithilfe eines Röntgendiffraktometers untersucht. Das Diffraktogramm ist in Abbildung 3 dargestellt.

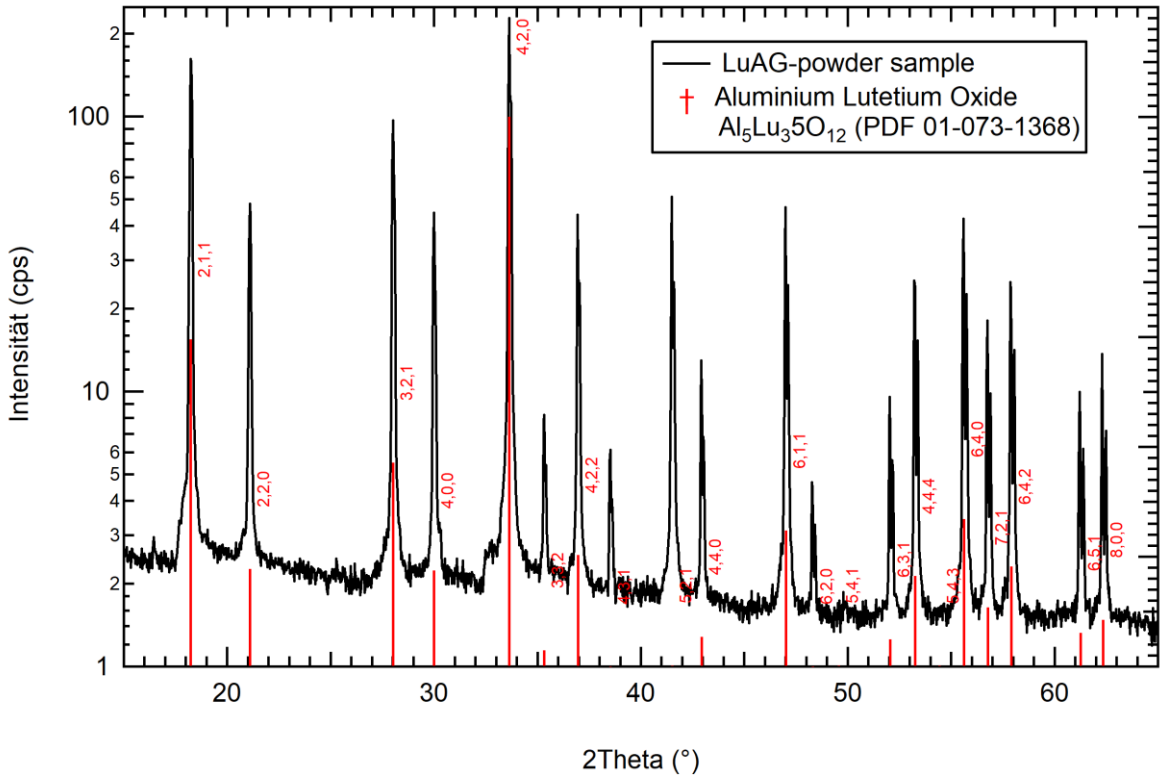

Abbildung 3: Diffraktogramm einer LuAG-Pulver-Probe im Vergleich mit den Datenbankangaben für einkristallines Material

Die Interpretation des Röntgen-Diffraktogramms, also insbesondere die Breite der Peaks ließ auf einen Korngrößendurchmesser von ca. 150 – 160 nm schließen. Das bedeutet, dass die in Abb. 2 beobachteten LuAG-Kugeln nicht die einzelnen Körner des LuAG-Einkristalls sind, sondern ein Verbund einzelner Körner. Da die Körner nicht einzeln beobachtet wurden, kann darauf geschlossen werden, dass sich das Pulver aus Partikeln der Größe von ca. 1 µm zusammensetzt. Die Untersuchungen wurden durchgeführt, um einen Überblick über die Beschaffenheit und die einzelnen Korngrößen der Pulver zu erhalten. Die Beschaffenheit spielt eine entscheidende Rolle bei der späteren Vermischung des Farbstoffs mit dem Vergussmaterial im Hinblick auf die Durchmischung bzw. entstehende Sedimentationseffekte.

Eine Probe des Farbstoffs wurde auf deren Emissionsverhalten untersucht und dafür mit verschiedenen Wellenlängen bestrahlt. Zu ermitteln war das Verhältnis zwischen Intensität des Emissionsspektrums und dem Anregungspeak. Ziel ist es, über einen möglichst großen Wellenlängenbereich die gleiche Intensität zu erhalten. Das günstigste Spektrum wurde bei einer Anregung von 280 nm erzielt und ist in Abbildung 4 dargestellt.

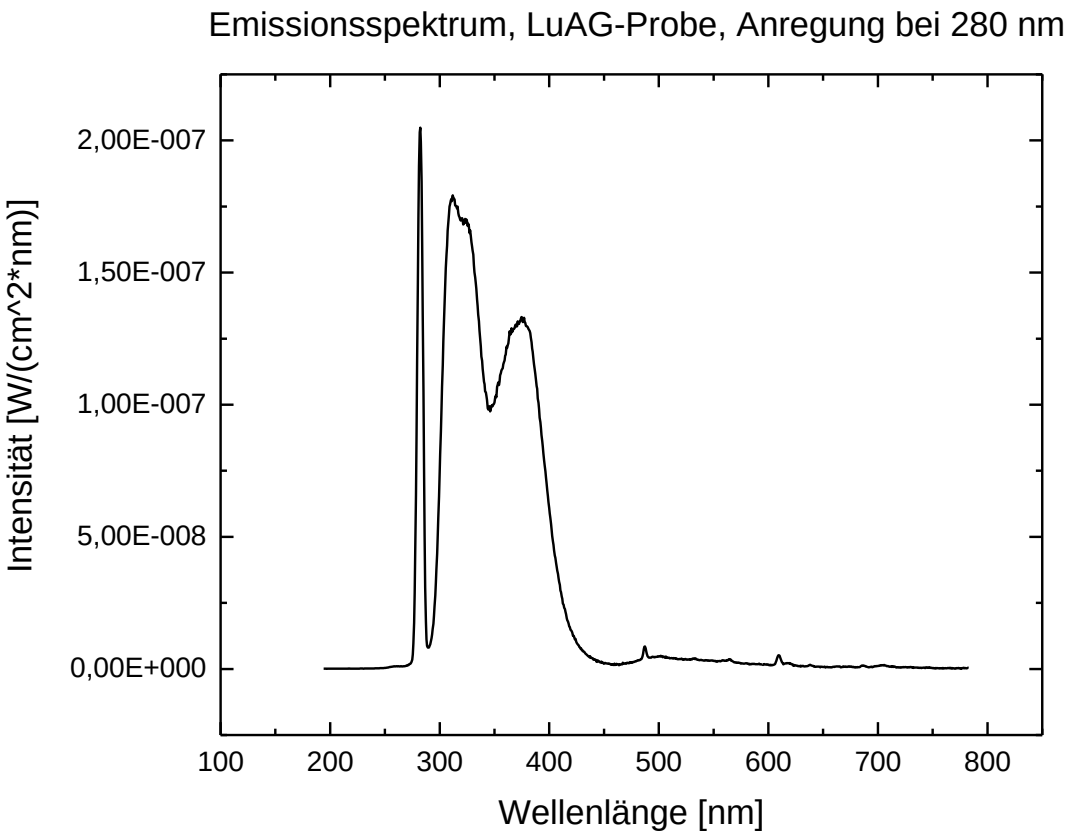

Abbildung 4: Emissionsspektrum des Fluoreszenzfarbstoff LuAG

Um sicherzustellen, dass die erfassten Messwerte keinen auf Kalibrierung rückführbaren Fehler aufweisen, wurden die vorhandenen Kalibriernormale zum Hersteller Optronic Laboratories (USA, Karlifornien) gesendet, um rekalibriert zu werden. Mit den neu erfassten Strahlungsdaten des Deuterium-Kalibriernormals ist es nun möglich, das zur Messung verwendete Spektrometer für eine Messung im UV-Bereich zu kalibrieren.

Fazit:

Als Fluoreszenzfarbstoff ist LuAG gewählt worden. Die Charakterisierung ergab, dass die einzelnen Partikel eine Größe von etwa 1 µm aufweisen. Weiter ergaben die REM-Untersuchungen, dass sich mehrere Partikel zu Clustern formen. Die Cluster sind im Durchschnitt 25 µm groß. Die optimale Anregungswellenlänge wurde bei 280 ± 5 nm bestimmt. Die Messkette wurde im UV-Bereich kalibriert, so dass die Qualität der Messergebnisse sichergestellt ist.

AP 2 LED/Chipauswahl und Charakterisierung

Die Anregung des Farbstoffs soll mit einem Emitter im UVC-Bereich realisiert werden. Dafür wurde am Markt nach einer geeigneten Lösung gesucht. Der Einsatz von Halbleiterchips, welche intern aufgebaut und kontaktiert werden, wäre eine effiziente und platzsparende Lösung. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen sind auf dem freien Markt keine effizienten UVCED-Chips erhältlich. Deshalb ist die Wahl der Anregungsquelle auf ein UVCED-Bauteil gefallen. In der unten aufgeführten Tabelle 1 sind die geeigneten UVCED-Bauteile aufgeführt. Für alle aufgeführten Bauteile wurden im optischen Labor folgende Parameter bestimmt:

- Elektrische Anschlussleistung
- Optische Ausgangsleistung
- Peak-Wellenlänge

ID	manufacture	model	datasheet	Chip Count	count Stock	peak wavelength [λ]	viewing angle [Deg.]	performance [mW] charac	efficiency [%]	If [max] [mA]	If [charac] [mA]	Tc [charac] [°C]	Vf @ If [charac] [V]
138	Epigap			1	3	283				20			
141	Epigap	EOLD-370-012-1	\\192.168.0.	1	5	270		1,8	0,025	25	20	25	3,6
142	Seoul	CUD8AF1A	\\192.168.0.	1	2	275		1,6	#DIV/0!	30	20		
157	Epigap	EOLS-280-496	\\192.168.0.	1		280	120	10	0,0095238	300	150	25	7
158	Honglitron	HL-C3535S14V-S1	\\192.168.0.	1		280	120	1	0,0083333	20	20	25	6
159	Nikkiso	VPS171	\\192.168.0.	1		285	130	30	0,0131868	500	350	25	6,5
160	Epigap	EOLS-280-393	\\192.168.0.	1		280	115	1,2	0,0085714	40	20	25	7
203	OSA	Samples		1	1	280		0,65		20			
259	Seoul	CUD8AF1A	\\192.168.0.	1		275	135	2,1	0,0182609	30	20	25	5,75
260	Seoul	CUD8AF4A	\\192.168.0.	4		275	125	7,5	0,0153689	120	80	25	6,1
272	RayVio	RV-285-SMDSB1-00		1	1	285				100			
274	DOWA	DF8XA-0F001		1	1	277		33,2	0,0172468	350	350	25	5,5
280	LG	LEUVA66H70HF00	Datasheet\0	1	4	278	120	70	0,0235294	500	350	25	8,5
311	LG	LEUVA66H70HF00	Datasheet\0	1	8	278	110	110	0,040553	500	350	25	7,75
321	LG	LEUVA77M00HU00	Datasheet\0	4	4	278	125	300	0,0276498	350	350	25	31
322	LG	LEUVA66H70HF00	Datasheet\0	1	6	278	120	70	0,0235294	500	350	25	8,5

Tabelle 1:Auszug aus der Datenbank für opto-elektronische Bauteile des OUT e.V.

Die optische Leistung der Anregungsquelle ist, neben der Emissionswellenlänge und dem Kostenfaktor, ein entscheidendes Kriterium für die Auswahl des Bauteils.

Unter Berücksichtigung der genannten Aspekte fiel die Wahl der Anregungsquelle auf das Bauteil LEUVA77 des Herstellers LG. Im weiteren Verlauf des Projekts wurde das Bauteil zur Anregung des Fluoreszenzfarbstoffs LuAG genutzt und erwies sich als geeignete Anregungsquelle. Für die weiteren Untersuchungen/ Prototypen wurden 5 Exemplare eingekauft.

Aufgrund der Abkündigung einer breiten Produktpalette, im UVC-Halbleiter-Bereich, seitens LG waren ab Oktober 2019 keine weiteren Bauteile der Bauart „LEUVA77“ auf dem freien Markt erhältlich, was zur Folge hatte, dass die erste Bauart der BUVED auf 5 Exemplare beschränkt war.

Das Ausweichen auf alternative UVC-Anregungsquellen steht vor der Herausforderung der Eignung der neuen Bauteile zum Einsatz mit dem eigens für die „LEUVA77“ gefertigten Vergussträger.

Eine Marktreche zur aktuellen Situation auf dem Markt führte zu dem Ergebnis, dass 2 alternative UVC-Anregungsquellen sich als günstig erwiesen. Zum einen das Bauteil „smd6060“ des Hersteller BOLB (ähnliche Dimensionen wie „LEUVA77“, 100 mW optische Leistung bei 350mA). Die Löttemperatur des Bauteils „smd6060“ liegt laut Datenblattangabe bei max. 175 °C, was im Vergleich

zu sonstigen Bauteilen im UVC –Bereich deutlich unter dem Durchschnitt liegt. Dieser Sachverhalt legt den Verdacht nahe, dass das Bauteil ein schlechtes thermisches Management aufweist, was im späteren Betrieb in der BUVED zu Komplikationen führen könnte.

Zum anderen konnte das Bauteil KL265-50R-SM-WD des Herstellers KLARAN (kleinere Dimensionen im Vergleich zu „LEUVA77“, 40mW bei 350 mA) identifiziert werden. Die feste Fassung des Vergussträgers ermöglichte den Einsatz von 4 Bauelementen des Herstellers KLARAN (2 x 2 parallel), was zu einer Anregungsleistung von ca. 160 mW führte. Durch den technischen Fortschritt im Bereich der UVC-Technik sind die Bauelemente des Herstellers KLARAN in ihrer optischen Leistung gestiegen, während das Layout der Bauelemente beibehalten wurde, und es ist ein Trend der weiteren Leistungssteigerung zu erwarten. Daher kann in Zukunft, ohne Änderung des Setups, die Fertigung von leistungsgesteigerten BUVED prognostiziert werden.

Auf die Sachverhalte aufgrund der unzureichenden Versorgung mit UVC-Elementen des Herstellers LG, sowie die Substitution der Bauteile im laufenden Projekt, wird in AP5 weiter Bezug genommen.

Fazit:

Nach Charakterisierung von UVEDs u.a. der Hersteller Klarna, Dowa, LG, Nichia, Crystal IS und GaN fiel die Wahl des Anregungs-Bauteils auf die UVCED LEUVA77M00HU00 (LG LEUVA77) des Herstellers LG, da es im gewünschten Wellenlängenbereich, bezogen auf die Dimensionen des Bauteils die größte optische Leistung aufweist und im Weiteren die Lebensdauer der Bauelemente keinen großen Unterschied aufwies. Diese UVCED emittiert bei einem Betriebsstrom von 350 mA 300 mW optische Leistung, bei einer Peakwellenlänge von 278 nm.

Die zur Verfügung stehenden Bauteile des Herstellers LG wurden für die Prototypenentwicklung genutzt und unter verschiedenen Fertigungsparametern aufgebaut. Als keine weiteren Bauteile des Typs zur Verfügung standen, wurde, aufgrund der Kompatibilität mit dem Vergussträger, auf Bauteile der Hersteller KLARAN und BOLB ausgewichen.

AP 3 Vergussanalyse

Als Vergussmatrix für den Fluoreszenzfarbsoff LuAG wurde nach einigen Versuchen zur Fluoreszenz bei einer Wellenlänge und Transparenz im UVC-Bereich der raumtemperaturvernetzende Silikonkautschuk „Wacker Elastosil RT 601“ gewählt. In früheren Projekten konnte mit diesem Vergussmaterial schon Erfahrung gesammelt werden. Es hat sich gezeigt, dass das Material im UV-Bereich wenig bis gar keine Fluoreszenz zeigt. Um sicherzustellen, dass durch das Vergussmaterial keine unerwünschten Fluoreszenzen auftreten, wurde eine Probe des reinen Silikonmaterials angefertigt und anschließend am Fluoreszenzmessplatz des OUT e.V. ausführlich untersucht. Das Emissionsspektrogramm ist in Abbildung 5 dargestellt.

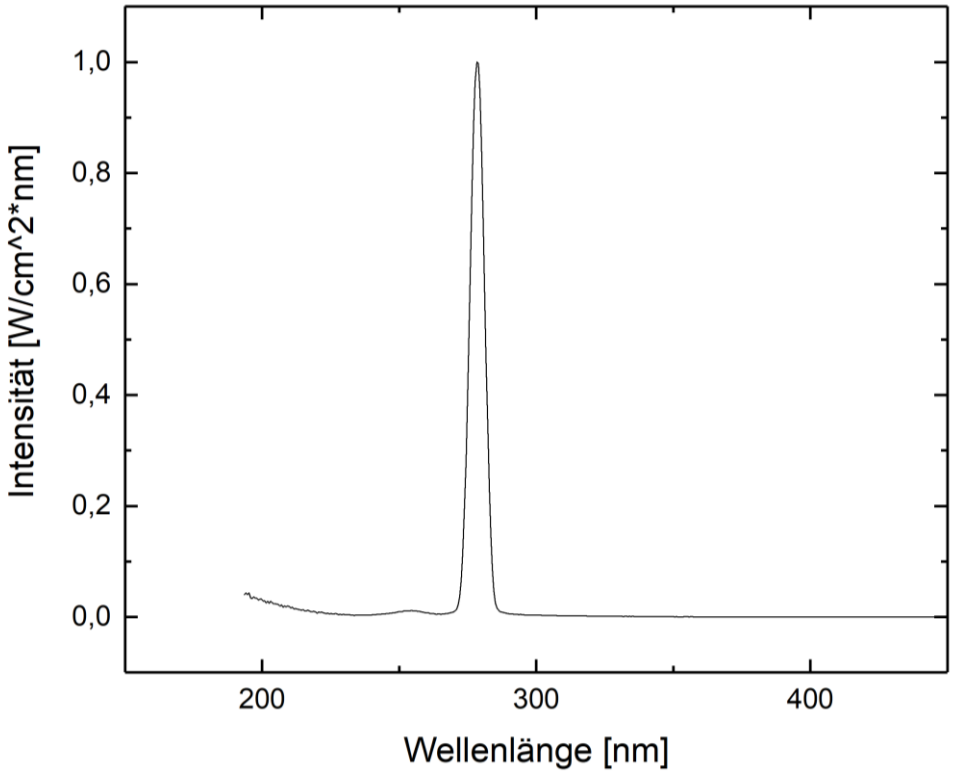

Abbildung 5: Fluoreszensspektrum des Vergussmaterials RT 601 bei einer Anregung bei 278 nm

In Abbildung 5 wird deutlich, dass das Vergussmaterial im Bereich zwischen 280 nm und 400 nm keine Fluoreszenzen aufweist und somit durch den Silikonverguss keine Verfälschung des emittierten Spektrums zu erwarten ist. Bei dem dargestellten Peak handelt es sich um die Anregungswellenlänge bei 278 nm. Die Absorptionskurven der Materialprobe zeigte darüber hinaus keine erhöhte Absorption im Bereich 250 bis 400 nm.

Durch EDX-Messungen in einem vertikalen Horizont durch einen weiteren RT601-Probekörper, welches mit dem Fluoreszenzfarbstoff vermischt wurde, konnte die Inhomogenität nach dem Aushärten untersucht werden, um ein mögliches Absinken des Konverters in der Matrix zu erfassen und zu quantifizieren. Dies führt zu möglichen Konsequenzen bei der Prozessführung beim Aushärten. Die Messergebnisse sind in Abbildung 6 dargestellt.

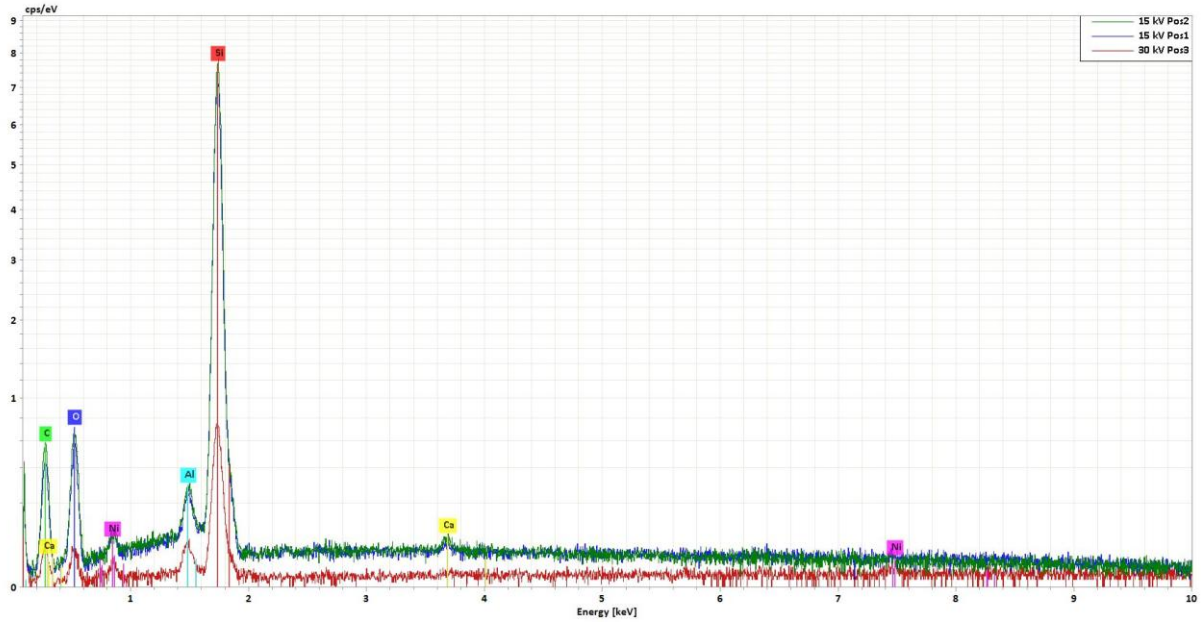

Abbildung 6: EDX-Spektren an verschiedenen Positionen im vertikalen Schnitt eines Vergussprobekörpers

Das Material RT-601 zeigte keine Unterschiede in der Elementzusammensetzung in Abhängigkeit der räumlichen Verteilung.

Die Spektren zeigten keinen auswertbaren Unterschied in der Elementzusammensetzung, Dies deckte sich mit dem mikroskopischen, allerdings sehr qualitativen Eindruck zur Farbstoffverteilung.

Aus den gewonnenen Ergebnissen kann darauf rückgeschlossen werden, dass sich der Fluoreszenzfarbstoff innerhalb der Vergussmatrix nicht absetzt.

AP 4 Konversionsexperimente

Die Konversion der Anregungsstrahlung ist der zentrale Aspekt des Projekts Breitband-UVED. Um den Grad der Umwandlung und das vom Farbstoff emittierte Spektrum zu untersuchen, wurde ein LuAG-Silikon Probekörper angefertigt und ebenfalls an dem Fluoreszenzmessplatz charakterisiert.

Die Probekörper wurden mit einer Farbstoffkonzentration von 1 bis 4 % in 1 %-Schritten hergestellt und hatten einen keilförmigen Aufbau, d.h. über eine Länge von ca. 4 cm hatten die Probekörper eine abfallende Dicke. Über einen Monochromator mit einem optischen Spalt am Ausgang konnte der keilförmige Probekörper an verschiedenen Positionen mit einer Wellenlänge von 278 nm linienförmig angeregt werden und das emittierte Spektrum mithilfe eines Spektrometers aufgezeichnet werden.

In Abhängigkeit der lokalen Schichtdicke des Probekörper ist die dominante Wellenlänge des emittierten Spektrums entweder weiter im Bereich der Anregung (278 nm) oder im längerwelligeren Bereich (>278 nm). In Abbildung 7 sind Emissionsspektren des Probekörpers bei verschiedenen Anregungspositionen dargestellt.

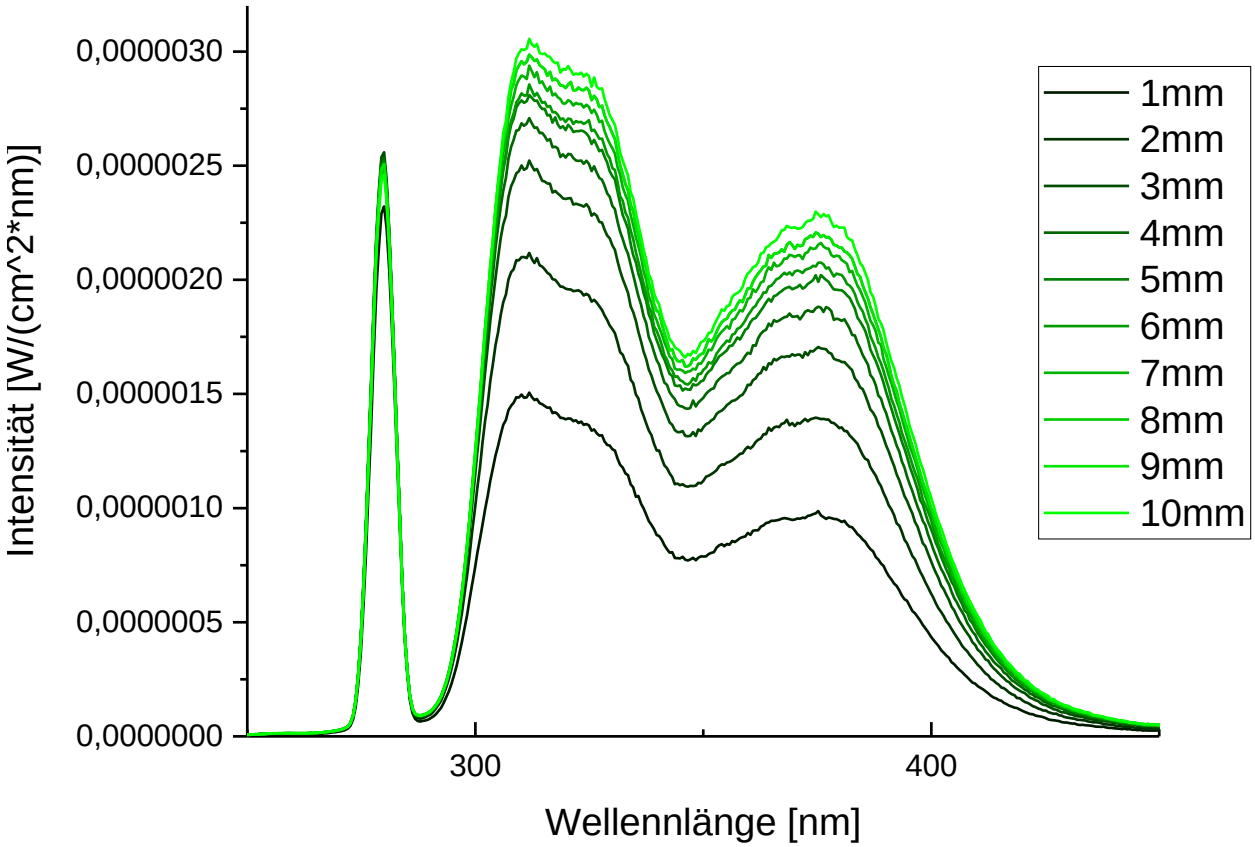

Abbildung 7: Emissionsspektren bei Bestrahlung verschiedener Schichtdicken eines LuAG-Probekörpers mit 3,2 %-Masse Farbstoffkonzentration.

Die Auswertung der Probekörper-Untersuchungen ergab eine optimale Schichtdickenkonzentration $s * c$ von 8,5 [%*mm]. Bei einer Vergussschichtdicke über UVCED-Oberkante s von 1,7 mm ergibt sich eine Verguss-Farbstoffkonzentration c von 5 %.

Fazit:

Die Vermischung des Farbstoffs mit dem Silikonverguss verläuft problemlos, erfordert keine besondere Zwangsfolge. Das Gemisch erhält nach dem Aushärten eine fest elastische Konsistenz. Die Untersuchungen an Probekörpern lieferten Ergebnisse, aus denen sich eine optimale Farbstoff-Verguss-Schichtdickenkonzentration von 8,5 %*mm ergibt.

AP 5 Bauelementeentwicklung

LP-Design Die Hauptschwierigkeit der Leiterplattenentwicklung lagen bei der räumlichen Anordnung, der Entwärmung und der Einbettung für die Vergussmasse.

Für die Vergussmasse wurde eine Vertiefung in der Platine designt. Am Boden dieser Vertiefung wurde die LED platziert. Die Passgenauigkeit spielte bei dem Design der Vertiefung eine wichtige Rolle, da somit weniger Vergussmasse neben die LED eindringt und in Kontakt mit den Lötstellen kommt. Außerdem wird Fluoreszenzfarbstoff, welcher außerhalb des Öffnungswinkels der LED liegt, nicht angeregt, und trägt somit nicht zum emittierten Spektrum bei.

Das thermische Management beeinflusst aufgrund der Temperaturabhängigkeit von Halbleiter-materialien direkt die Effizienz des Gesamtsystems. Das Problem der thermischen Entwärmung wurde durch den Einsatz von massivem Kupfer gelöst. Das Metall Kupfer weist einen sehr guten thermischen Leitwert auf, was dafür sorgt, dass Wärme schnell von der Quelle (LED) an einen kühleren Ort (Unterseite-Leiterplatte) transportiert werden kann. Das Bauteil LEUVA77 weist ein zentrales Thermopad auf. An das Padlayout der LED wurde in der LP angeknüpft und unter dem Thermopad der LED ein massives Stück Kupfer, mithilfe der sog. Eisberg-Technologie, eingebracht.

Die Wahl für die Fixierung der Vergussmasse über der LED fiel auf eine LP, welche über der LED-Vertiefung eine kegelförmige, nach oben hin größer werdende, Fassung aufweist, dadurch kann die im Winkel von 135° abgestrahlte UVC-Strahlung ohne unnötige Reflektion die LP verlassen und die Vergussmasse durchdringen.

Entgegen der ursprünglichen Planung wurde aus fertigungstechnischen und wirtschaftlichen Gründen auf ein Keramikgehäuse verzichtet und stattdessen eine vielschichtige FR4-Leiterplatte mit integriertem Kupfer-Block gewählt. Passend zur Emission der integrierten LED im UV-C-Bereich ist eine Metallisierung aus chemisch Silber gewählt worden, das dieses unterhalb von 500 nm eine deutlich höhere Reflexion als übliche Goldbeschichtung aufweist. Die geplante Leiterplatte wurde bei einem Leiterplattenhersteller, welcher Sonderanfertigungen anbietet, gefertigt. Besonderer Fokus lag auf der thermischen Kontaktierung des Bauteils, um thermische Belastung und daraus folgenden Problemen des Gesamtsystems entgegenzuwirken. Die Entwicklung und Fertigung der Fassung überstieg aufgrund der Kundenspezifizität und der hohen Initialkosten der Fertigung den eingeplanten finanziellen Rahmen, jedoch entstand ein Gehäuse, welches den gesetzten Zielen und dem OUT e.V. zugrundeliegenden Fertigungsmöglichkeiten optimal zugeschnitten ist. Die Entwicklung des Bauelements erfolgte in sehr enger Abstimmung mit dem Hersteller Andus Electronic GmbH.

Eine schematische Darstellung der LP, inkl. Querschnitt (thermisches Management über Einsatz von massivem Kupfer wird deutlich) ist in Abbildung 8 dargestellt.

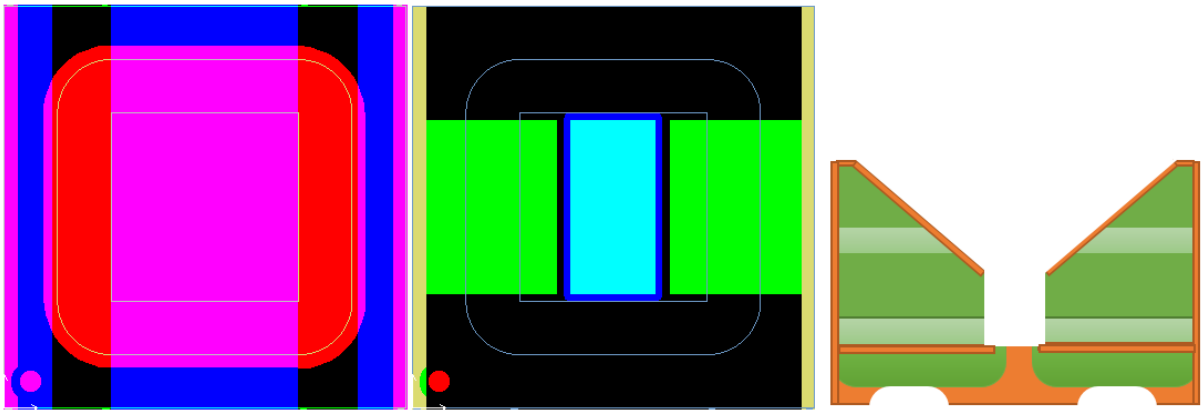

Abbildung 8: Schematischer Aufbau der Leiterplatte mit LED-Fassung und Vergusssenke links: Draufsicht (Top) , Mitte: Bodenansicht (Bottom), rechts: Querschnitt (nicht maßstabsgerecht)

Aufgrund der überraschenden Abkündigung der verwendeten LG „LEUVA77“ im laufenden Projekt, und dem damit verbundenen Ausweichen auf alternative UVC-Anregungsquellen, war es nötig, die elektrische Kontaktierung des Vergussträgers mit den jeweiligen LEDs zu gewährleisten. Dazu wurden 2 verschiedene sog. Adapterleiterplatten mit 150 µm Stärke (inkl. Pads) entwickelt und durch Andus gefertigt. Besonderer Fokus lag auf einer möglichst geringen Stärke des zusätzlichen Materials, um den zusätzlichen thermischen Widerstand so gering wie möglich zu halten. Auf der Unterseite befindet sich ein Pad-Layout analog zu dem des Vergussträgers, auf der Oberseite das der jeweiligen LED. Der Kontakt der Ober- und Unterseite wurde mittels Durchkontaktierungen hergestellt. Die zwei verschiedenen Layouts der Adapterleiterplatten sind in Abb. 10 dargestellt.

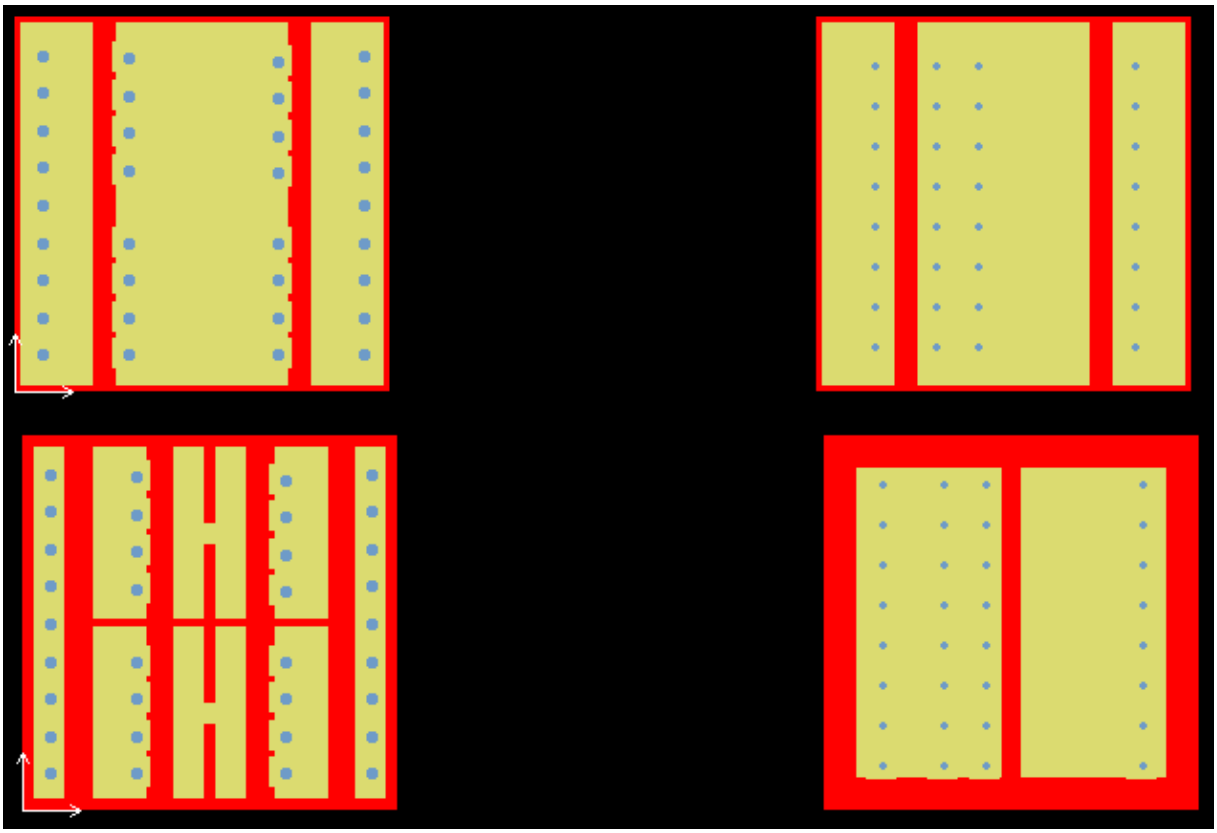

Abbildung 9: Layout der Adapterleiterplatten; links oben: Bottom-Layer KLARAN-Layout; links unten: Top-Layer KLARAN-Layout; rechts oben: Bottom-Layer BOLB-Layout; rechts unten: Top-Layer BOLB-Layout

Da die KLARAN KL265-50R-SM-WD deutlich kleinere Abmaße als das ursprünglich eingeplante LG Bauteil ausweist, konnten in den Vergussträger vier Exemplare der KLARAN implementiert werden. In Abb.10 (links unten) ist das Layout der Adapterleiterplatte zu sehen, welches das Pad-Layout der KLARAN LED in vierfacher Ausführung aufweist. Dabei sind über die Anode des Vergussträgers zwei Anoden der KLARAN LEDs kontaktiert, welche wiederrum jeweils mit einer KLARAN in Reihe kontaktiert sind. In der fertigen BUVED muss deshalb aufgrund der Parallelschaltung der LEDs der doppelte Betriebsstrom einer einzelnen LED angelegt werden.

Verguss und Konzentration

Durch die bereits durchgeführten Untersuchungen zur Fluoreszenz des Materials „Wacker RT 601“ sowie den EDX-Untersuchungen auf Absinken des Farbstoffs hat sich das Vergussmaterial als geeignet erwiesen.

Für das Einbringen der flüssigen Lösung aus Silikonmatrix und Farbstoff in die LP ist es zum einen wichtig, dass das Vergussmaterial flüssig und frei von Lufteinschlüssen ist. Da der Silikonverguss erst nach ca. 5 h aushärtet, ist die nötige Viskosität gegeben, sofern man beide Arbeitsschritte, Vermischung Silikon und Farbstoff, und Einbringen der Vergussmasse in die LP, nacheinander in zeitlicher Zwangsfolge abarbeitet.

Für das Vermischen der beiden Komponenten, Vergussmatrix und Farbstoff, ist es notwendig mit einer Präzisionswaage zu arbeiten, um die gewünschte Farbstoffkonzentration präzise zu

erreichen. Hierfür wurde das Instrument SC1 des Herstellers Satorius verwendet. Die Schritte für diesen Prozess waren: Abwiegen der Komponente A des Silikons, Hinzufügen und Abwiegen der Komponente B (Härter) des Silikons, Hinzufügen und Abwiegen des Farbstoffs LuAG, Vermischen des Stoffgemischs mittels eines Spatels. Nachdem die Masse eine einheitliche Farbe erhalten hat, war es von Nöten, die durch das Verrühren entstandenen Lufteinschlüsse zu entfernen. Dafür wurde das Gemisch in eine Vakuumkammer gelegt und anschließend einem Unterdruck ausgesetzt. Durch Erzeugen eines Unterdrucks haben sich die Lufteinschlüsse ausgedehnt, bei erneutem Lufteinlass in die Kammer sind die besagten Lufteinschlüsse weitestgehend geplatzt. Dieser Prozess wurde ca. fünf Mal wiederholt, bis die Masse einschlussfrei war. Zum Einbringen des Vergusses in die LP wurde der Verguss mittels einer Pipette mit einer breiten Kanüle dem Mischungsbehältnis entnommen und in die LP mit LED über eine Ecke eingebracht. Durch nicht vermeidbare Spalten zwischen LED und LP sind vereinzelt Lufteinschlüsse entstanden, welche an die Oberfläche der Vergussmasse aufgestiegen sind. Diese wurden mithilfe einer Nadel entfernt.

Lötvorgang

Für den Betrieb der BUVED ist es notwendig, das gesamte Bauteil elektrisch zu kontaktieren. Der gängigste Weg hierfür ist es, das Bauteil auf eine Leiterplatte aufzubringen. Für das Gesamtsystem bedeutet das, dass zwei Lötvorgänge durchgefahren werden. Zum einen wird die LED in der Vergussträger-LP verlötet. Zum anderen wird die Vergussträger-LP auf einer Testleiterplatte, bzw. im späteren Einsatz auf einem spezifischen Substrat, verlötet. Um bei dem zweiten Lötvorgang die Lötverbindung des ersten Vorgangs nicht erneut zu schmelzen, ist es notwendig, mit zwei verschiedenen Löttemperaturen zu arbeiten. Für den ersten Lötprozess wurde eine möglichst hohe Löttemperatur, die maximale Löttemperatur der LED, gewählt (270 °C, 3 sek), während der zweite Lötvorgang mit einer Lötpaste mit einem Schmelzbereich von 217 – 227 °C durchgeführt wurde.

Aus Sicherheitsgründen wird die maximale Löttemperatur für das fertige Bauteil BUVED mit 200 °C angegeben.

Markierung

Um die gefertigten Bauteile eindeutig spezifizieren zu können, wurde neben der Fertigungsparameter-Tabelle, auf jeder gefertigten BUVED mittels Laserstrahl eine Markierung „OUT e.V. BUVEDxxx“ eingraviert.

Sobald die ersten Labormuster erstellt wurden, wurde jedes Exemplar optoelektronisch charakterisiert und miteinander verglichen, um den Einfluss der Fertigungsparameter auf die Qualität des Gesamtsystems einschätzen zu können.

AP 6 Lebensdauer und Charakterisierung

Jedes gefertigte Bauteil wurde auf einer Leiterplatte aufgebaut, elektrisch kontaktiert und anschließend einer optoelektronischen Charakterisierung unterzogen. Dabei wurde als Parameter Stromstärke und Temperatur variiert, während das Spektrum mittels eines Spektrometers erfasst wurde. Die erfassten Parameter sind:

- Opt. Leistung [mW]
- Peak-Wellenlänge
- FWHM (Full Widh Half Max)
- Efficiancy

Exemplarisch werden im Folgenden die Ergebnisse der Charakterisierung der BUVED001 dargestellt. Abbildung 10 zeigt die optische Leistung in mW in Abhängigkeit der Stromstärke und Temperatur. Abbildung 11 verdeutlicht die Effizienz der BUVED001 innerhalb des untersuchten Messbereichs. Es ist erwartungsgemäß zu erkennen, dass die BUED die größte Effizienz bei geringen Temperaturen und Stromstärken besitzt.

Die optische Leistung der BUVED001 bei 350 mA und einer Temperatur von 25 °C beträgt etwas über 27 mW. Es ist zu beobachten, dass der Anregungspeak den des ersten Fluoreszenspeaks um 50 % übersteigt. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass für das nächste Exemplar die Farbstoffkonzentration erhöht werden muss.

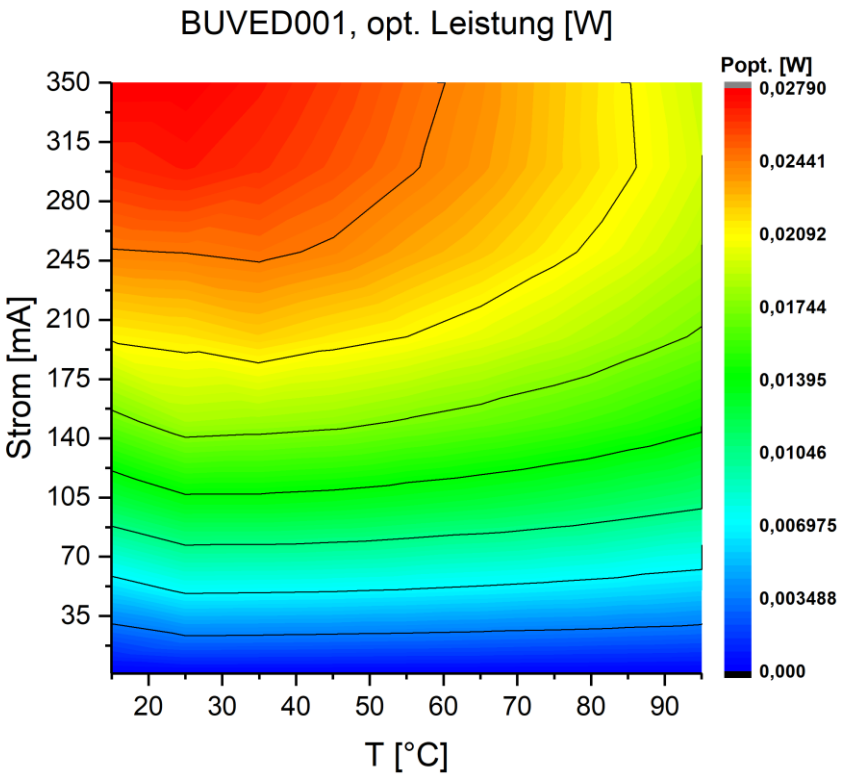

Abbildung 10: opt. Leistung BUVED001 in Abhängigkeit von T und I

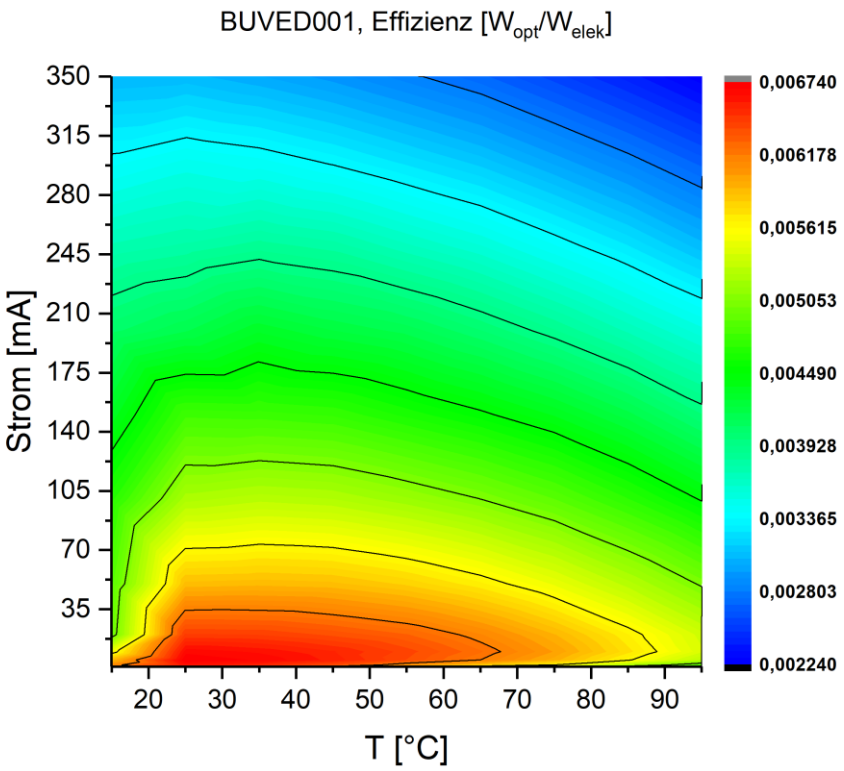

Abbildung 11: Effizienz der BUVED001 in Abhängigkeit von T und I

Die ersten fünf Exemplare der BUVED wurden mit verschiedenen Farbstoffkonzentrationen gefertigt. Die Fertigungsparameter sind in Tabelle 2 aufgeführt.

BUVED-Nr.		001	002	003	004
Farbstoff-c [%]		7.2	3.2	5	5.5
LG auf Vergussträger	Lötpaste	SC BLF 083	SC BLF 083	SC BLF 083	SC BLF 083
	Lötprofil	BUVED_240°C_final	BUVED_240°C_final	BUVED_240°C_final	BUVED_240°C_final
Vergussträger auf LP	Lötpaste	SC 126 Bi	SC 126 Bi	SC 126 Bi	SC 126 Bi
	Lötprofil	Heizplatte (180°C)	Heizplatte (180°C)	Heizplatte (180°C)	Heizplatte (180°C)
Anregungs-LED		LG LEUVA77	LG LEUVA77	LG LEUVA77	LG LEUVA77

Tabelle 2: Fertigungsparameter der BUVED 001-004

Die Charakterisierungen der verschiedenen BUVEDs haben gezeigt, dass trotz identischer Anregungs-LEDs die optische Leistung der emittierten Spektren sich teilweise deutlich unterscheidet (ca. 30 %). Dies ist möglicherweise auf Probleme bei der elektrischen Kontaktierung der LED innerhalb des Vergussträgers zurückzuführen.

Bei den ersten Lötprozessen war es aufgrund mangelnder Kontaktierung teilweise nötig, den Lötprozess mehrmals durchzufahren. Dadurch wurden die LEDs einer zusätzlichen Belastung ausgesetzt, was u.U. dazu geführt hat, dass die Anregungsleistung des Bauteils geringer geworden ist.

Aus der ersten Versuchsreihe (BUVED 001 – 004), welche mit „LEUVA77“ aufgebaut wurde, wurde das Exemplar mit den besten Charakteristika (Spektrum, opt. Leistung) ausgewählt und für eine Untersuchung/Kalibrierung dem LED-Kalibriernormal Hersteller „Instrument Systems“ überreicht.

Aufgrund der aktueller Lage sind die Ergebnisse der Kalibrierung bei Instrument Systems zum Zeitpunkt der Berichtserstattung noch nicht verfügbar.

Während der Langzeituntersuchung der BUVED001 hat sich gezeigt, dass das trübe Gemisch aus dem SIlikonverguss und LuAG punktuell über der UVC-Anregungsquelle aushärtet, und infolgedessen aufgrund thermischer Spannungen Risse bildet. Die trübe Färbung des Vergusses rührt daher, dass der Farbstoff LuAG ein weißes, kristallines Pulver ist, welches im transparenten Silikonverguss eine ungehinderte Transmission des Lichts verhindert und somit wie eine Streuscheibe wirkt. Der Riss in der Vergussmatrix der BUVED001 ist in Abbildung 12 dargestellt.

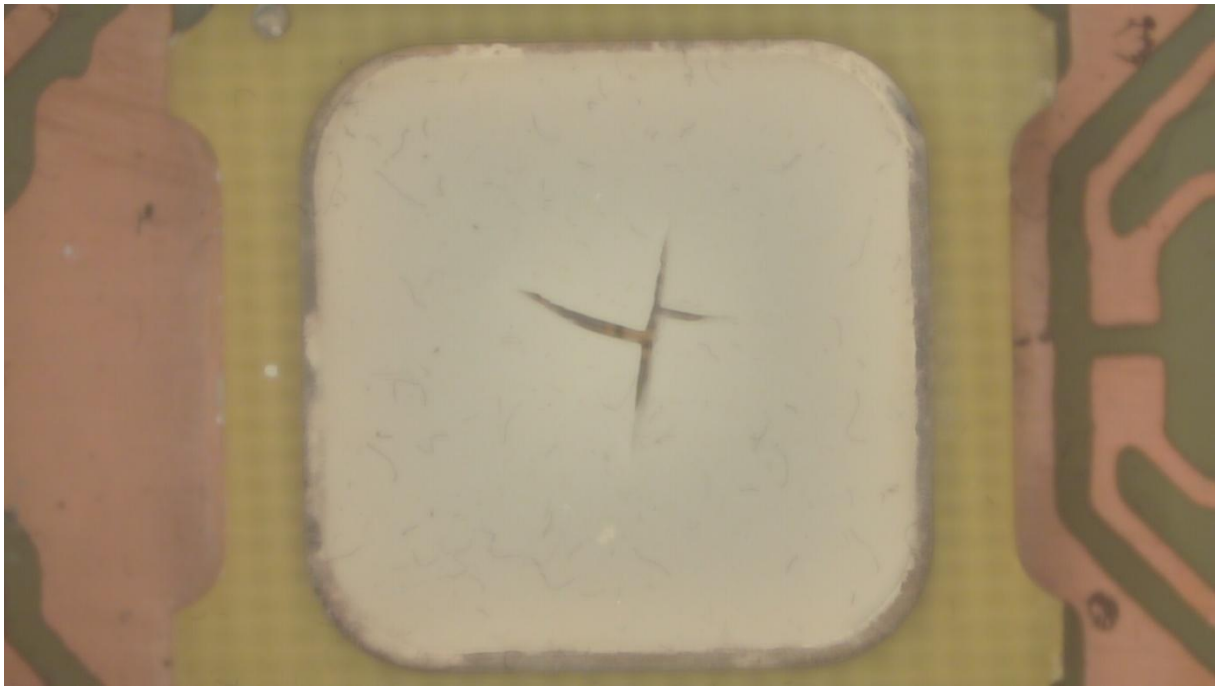

Abbildung 12: Zentraler Riss in der Vergussmatrix infolge von UVC-Bestrahlung (500 h)

Der Grund für die Aushärtung des Gemischs ist die diffuse Lichtleitung durch die Vergussmatrix. Im Gegenteil zum reinen Silikonverguss, welches transparent ist, wird im trüben Gemisch mit LuAG die

UVC-Strahlung wiederholt reflektiert und innerhalb der Vergussmatrix gestreut, was dafür sorgt, dass die Intensität, mit welcher die UVC-Strahlung auf die Silikonmoleküle einwirkt, deutlich gesteigert wird. Zusätzlich zur reinen „Zerstörungseinwirkung“ der UVC-Strahlung ergibt sich durch die intensivere Einwirkung eine erhöhte Erwärmung des Materials. Aufgrund der Positionierung der LED zentral unter dem Vergussmaterial, erwärmt sich das Vergussmaterial zentral intensiver als in den Randbereichen, was dafür sorgt, dass Spannungen entstehen. Der konische Aufbau der Vergussmassen-Fassung begünstigt diesen Effekt.

Aufgrund des beobachteten Sachverhalts, hat es sich als nicht praktikabel erwiesen, die Silikon-LuAG Vergussmatrix direkt in Kontakt mit der Anregungsquelle zu bringen.
Eine mögliche Variante den Farbstoff ohne unerwünschten Nebeneffekte in das Bauteil zu implementieren, wäre es, den reinen Farbstoff in einer definierten Schichtdicke (wenige µm) auf den Halbleiterchip bzw. die Bauteiloberfläche aufzutragen. Aufgrund der eingeschränkten technisch-technologischen Fertigungsvoraussetzung des optischen Labors konnte dies im Rahmen des Projektes noch nicht umgesetzt werden.

Die Darstellung der durchgeführten spektralen Langzeituntersuchung ist in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt.

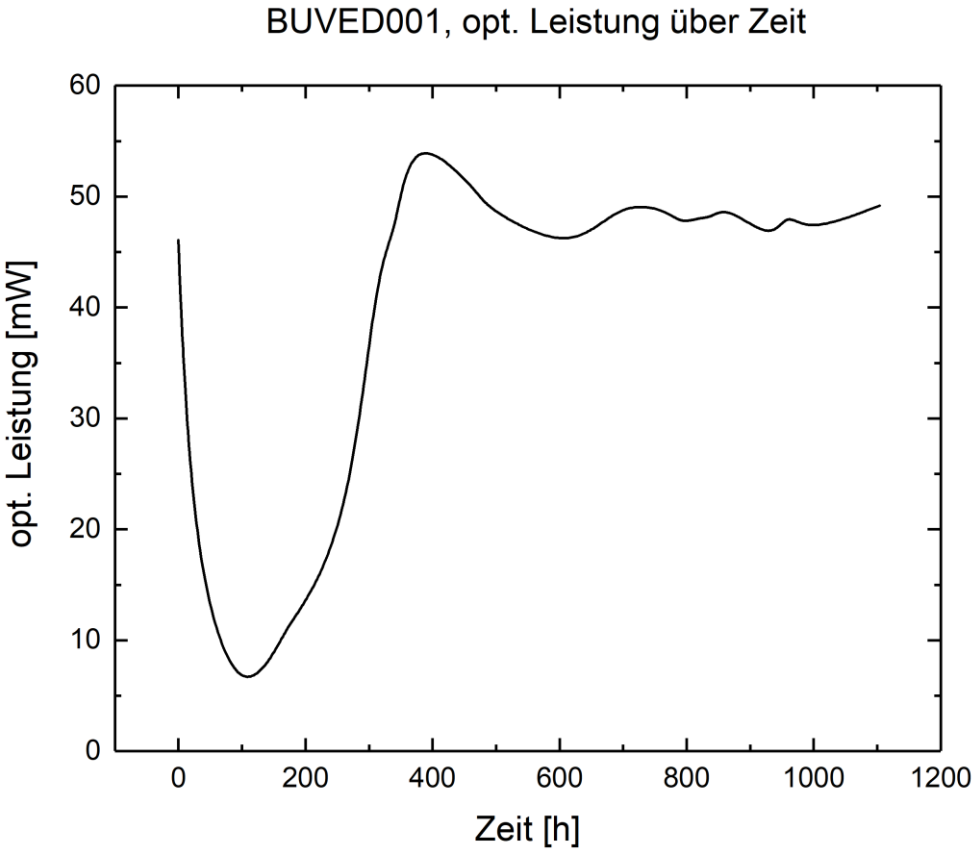

Abbildung 13: optische Leistung der BUVED001 in Abhängigkeit der Betriebsstunden

Die BUVED001 zeigt im Langzeitversuch einen starken Leistungseinbruch bei 150 Betriebsstunden, erreicht ab 470 Betriebsstunden einen stabilen Zustand und schwankt im Folgenden in der Leistung um 3 %.

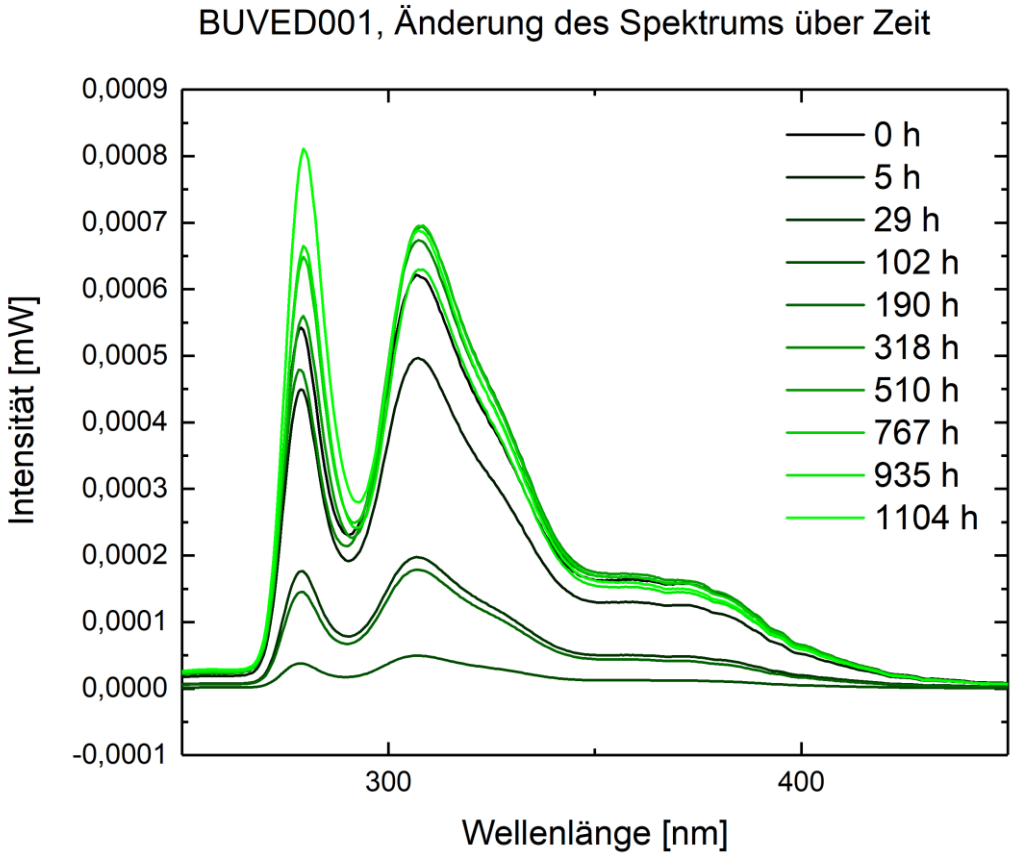

Abbildung 14: Spektren der BUVED001 während verschiedener Betriebszeiten

Aus Abbildung 14 geht hervor, dass eine Veränderung des Verhältnisses zwischen Anregungs- und Emissionspeak auftritt. Während zu Beginn der Messung (0 h) der Anregungspeak den Emissionspeak im Hinblick auf Intensität überwiegt, kehrt sich dieser Sachverhalt zu Ende der Untersuchung (1104 h) um. Der Anregungspeak übersteigt den Emissionspeak ab 935 Betriebsstunden, was den Riss in der Vergussmatrix (ab ca. 500 h) als Ursache für die Spektrumänderung ausschließt. Die Abnahme der durch den Fluoreszenzfarbstoff emittierten UV-Leistung könnte ein Hinweis auf das Erreichen der Lebensdauer des Farbstoffs LuAG sein.

Es wären weitere Untersuchungen nötig, um festmachen zu können, ob sich die spektralen Effekte auf den Fluoreszenzfarbstoff oder auf den Aufbau des Systems BUVED zurückführen lassen.

AP 7 Kalibrierung der Messkette

Um sicherzustellen, dass die erfassten Messwerte keinen auf Kalibrierung rückführbaren Fehler aufweisen, wurden die vorhandenen Kalibriernormale (eine Deuterium-Lampe und eine 250 W Halogen-Quarz-Lampe) zum Hersteller Optronic Laboratories (USA, Karlifornien) gesendet, um rekalibriert zu werden. Mit den neu erfassten Strahlungsdaten des Deuterium-Kalibriernormals für den Spektralbereich 200 bis 400 nm und mit der Halogen-Lampe für den überlappenden Bereich 250 bis 2500 nm ist es nun möglich, das zur Messung verwendete Spektrometer für eine Messung im UV-Bereich zu kalibrieren. Zur Sicherstellung der Kalibrierung wurden zudem Werksnormale von den kalibrierten Normalen abgeleitet und alle weiteren Spektrometer im optischen Labor des Bereiches LED kalibriert. Für eine zukünftige Akkreditierung sind zudem die Arbeitsanweisungen, Dokumentationen und Abläufe vollständig überprüft und ggf. erneuert worden.

Der gesamte Aufbau zum Charakterisieren der BUVEDs inkl. Kalibriernormal ist in Abbildung 15 dargestellt.

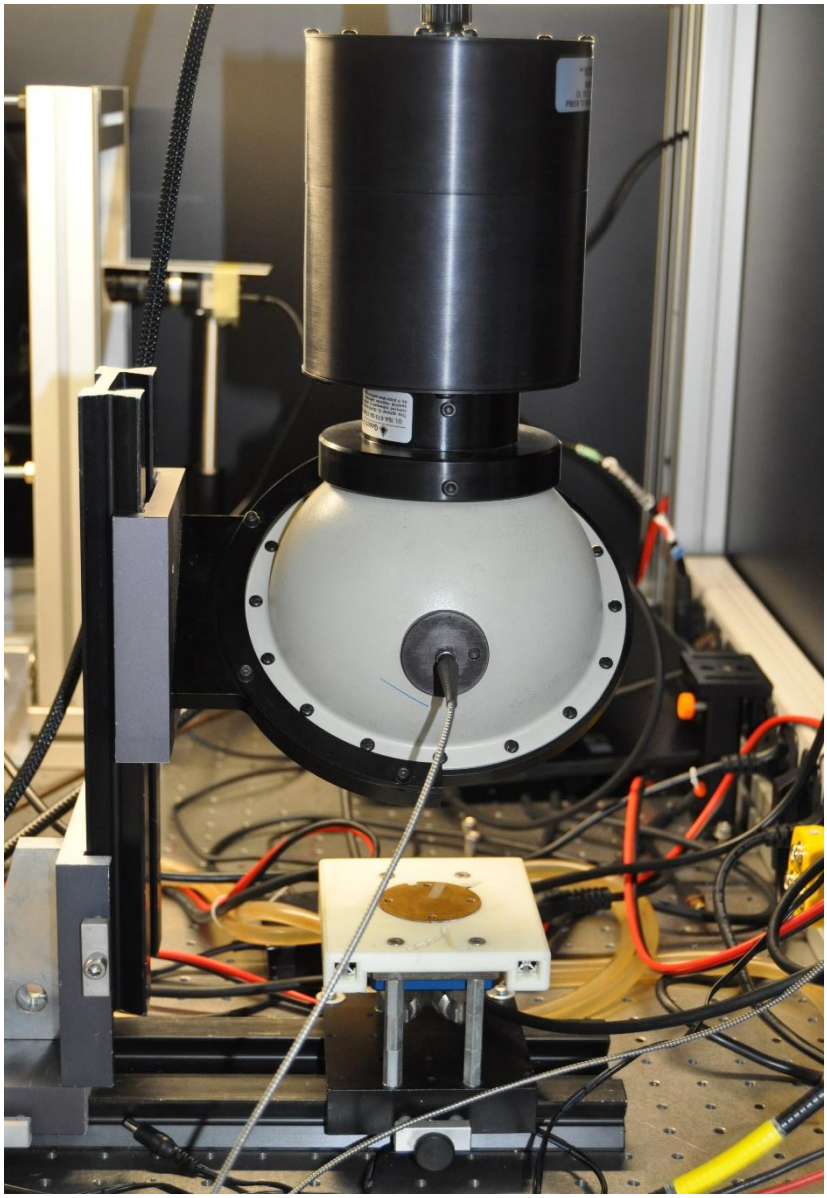

Abbildung 15: Charakterisierungsaufbau: Kalibriernormal (oben), Ulbrichtkugel (mitte), Temperature Controlled Mount (unten)

AP 8 Demonstrator

Im Ergebnis der vorangegangenen Arbeitspakete wurden alle entwickelten Bauelemente hergestellt und zusammengefügt.

Beim Leiterplattenhersteller *Andus* wurde eine Leiterplatte (LP) gefertigt, welche eine elektrisch kontaktierte Aufnahme für das Bauteil LG LEUVA77 sowie eine Fassung für den Verguss bietet. Schematische Darstellungen der Leiterplatte sind in Abbildung 8 dargestellt.

Die elektrische Kontaktierung der UVCED wurde auf die Unterseite der LP weitergeführt. Um einer übermäßigen Erwärmung des Systems entgegenzuwirken, wurde mithilfe der sog. Eisbergtechnologie innerhalb der LP ein Kupferstrang der Größe des Thermopads der UVED integriert (Abbildung 8, rechts). Es wurden 3 Nutzen mit je 40 Exemplaren der LP gefertigt. Ein separiertes Exemplar einer gefertigten LP ist in Abbildung 16 dargestellt.

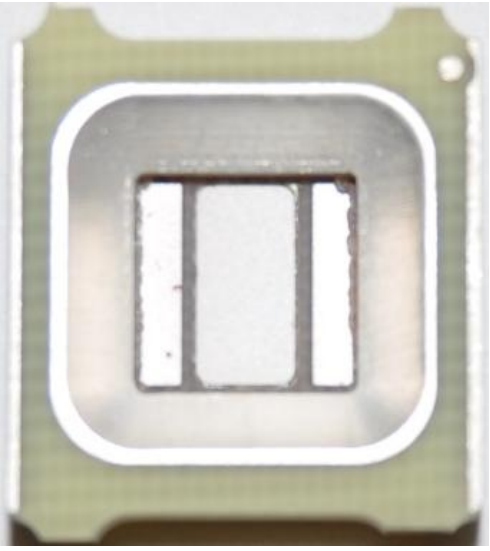

Abbildung 16: LP-Draufsicht

Nachdem eine LED in die LP eingebracht und verlötet wurde, wurde die elektrische Kontaktierung überprüft indem eine Spannung an die Kontakte der LP gelegt wurde. Anschließend wurde der Verguss in die LP eingebracht.

Bei dem ersten Lötvorgang war die Lötverbindung der LED zur LP nicht ausreichend, sodass ein weiterer Lötvorgang nötig war.

Für die Fertigung des BreitbandUVED-Demonstrators war es notwendig, die BUVED auf eine Test-LP zu löten. Die Testleiterplatte besitzt vier Bohrungen, um sie auf dem TEC (Thermo Electric Controllable) Messplatz des OUT e.V. optoelektronisch vermessen zu können. Es wurde die Lötpaste „SC 126 Bi“ mit einem Schmelzbereich von 217-227 °C verwendet.

Der erste gefertigte Demonstrator ist in Abb.18 dargestellt. Die Farbstoffkonzentration innerhalb des Vergussmasse beträgt 5 % und wurde anhand der in AP 4 berechneten optimalen Farbstoffkonzentration, sowie dem Abstand zwischen Anregungs-LED-Oberkante und Vergussträger-Oberkante berechnet. Das Spektrum des Demonstrators ist in Abbildung 18 dargestellt.

Ziel bei der Entwicklung des Bauelements Breitband-UVED ist es, dass im emittierten Spektrum sowohl der Anregungspeak, als auch der erste Fluoreszenspeak eine möglichst ähnliche Intensität aufweisen.

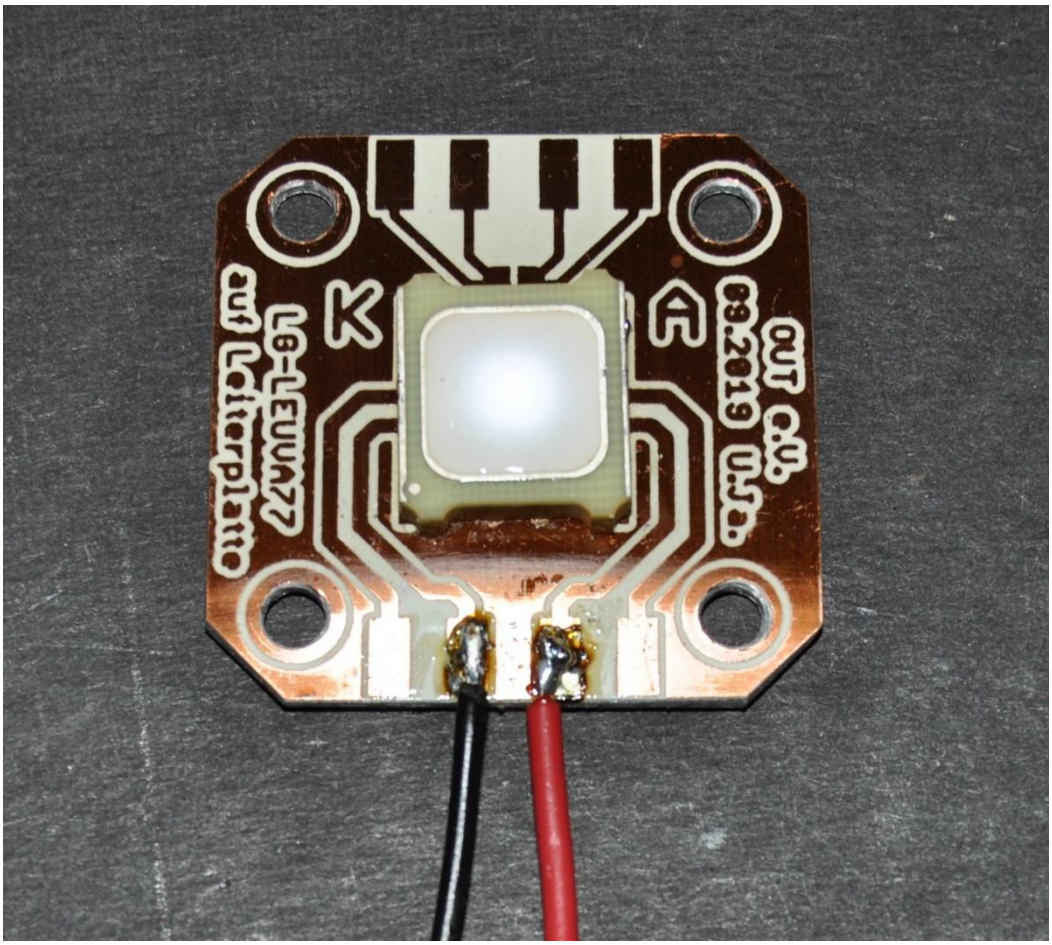

Abbildung 17: BUVED Demonstrator in Betrieb

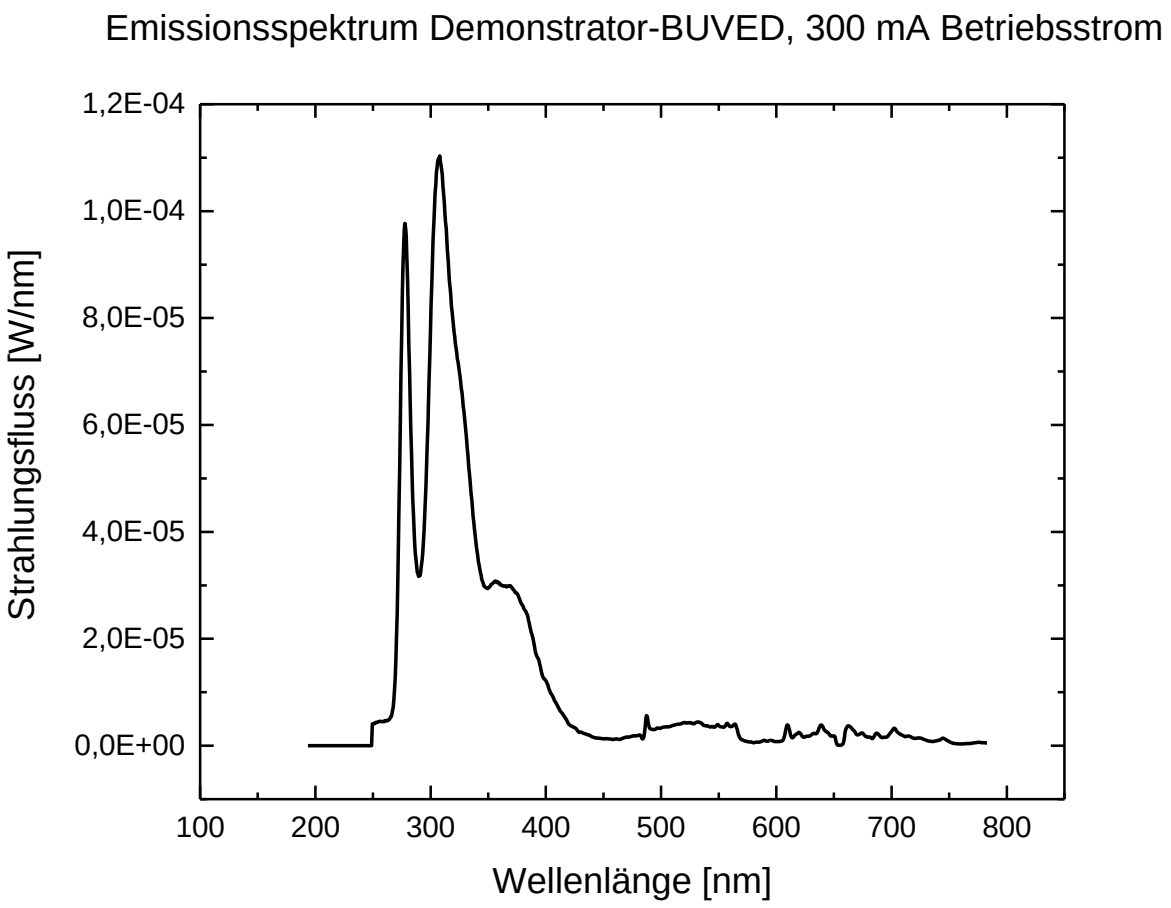

Abbildung 18: Emissionsspektrum Demonstrator, If = 350 mA

Es hat sich gezeigt, dass sich das Verhältnis der beiden Peaks nicht im gewünschten Bereich (max. 5 % Abweichung) befindet, und somit eine Optimierung hinsichtlich der Farbstoffkonzentration bei dem nächsten Bauteil erfolgen musste.

Da die LED bei der Fertigung zwei Temperaturzyklen durchgefahren ist, muss bei dem Verlöten des Bauteils in dem Vergussträger der Prozess des Lötens optimiert werden, damit die Anregung-LED mit den empfindlichen Halbleiterstrukturen keinen unnötigen Belastungen ausgesetzt wird, und eine mögliche dadurch hervorgerufene Leistungsminderung ausgeschlossen werden kann.

Wie in Abbildung 18 zu erkennen ist, wird über einen breitbandigen Bereich von 278 – 400 nm Strahlung emittiert. Im Emissionsspektrum des Demonstrators sind zwei dominante Peaks bei 278 nm und 307 nm zu erkennen. Der Peak bei 307 nm fällt über eine Schulter bei 323 nm ab. Im Bereich zwischen 355 nm und 370 nm ist ein weiterer weniger dominanter aber breiter Peak zu erkennen.

Die optische Leistung des ersten Systems beträgt bei 300 mA Betriebsstrom und 15 °C Umgebungstemperatur 7,4 mW.

Fazit:

Im Rahmen der derzeit durchgeführten Projektarbeiten konnte ein Demonstrator einer UVCED mit einem Fluoreszenzfarbstoff aus LuAG und einer Vergussmasse gefertigt werden. Dem Projektziel entsprechend konnte mit dem Demonstrator eine breitbandige Emission zwischen 278 nm – 400 nm realisiert werden.