

Im Rahmen eines additiven Fertigungsverfahrens, bei dem ein UV-härtendes Harz zum Drucken von Stäben und Stabwerken verwendet wird, soll die Bestrahlungsstärke des LED Moduls ausgemessen werden. Als UV-Strahlungsquelle zum Aushärten des extrudierten Harzes dienen insgesamt neun LEDs von der Firma Nichia, die um die Düse herum positioniert sind (siehe Abb. 1 links). Jeweils drei LEDs bilden eine Gruppe (1, 2, 3), bei denen der Abstand a und Winkel α gleich ist (siehe Abb. 2). Jede LED ist zusätzlich mit einer Linse versehen. Dadurch ist ein definierter Abstrahlwinkel (FOV) festgelegt (siehe Abb. 1 rechts). Sechs der LEDs besitzen einen Abstrahlwinkel von 30° und bestrahlen den Bereich des Düsenaustritts sowie einen Teil entlang des gedruckten Stabes. Die anderen drei LEDs haben einen Abstrahlwinkel von 10° und fokussieren direkt den Austrittsbereich der Düse.

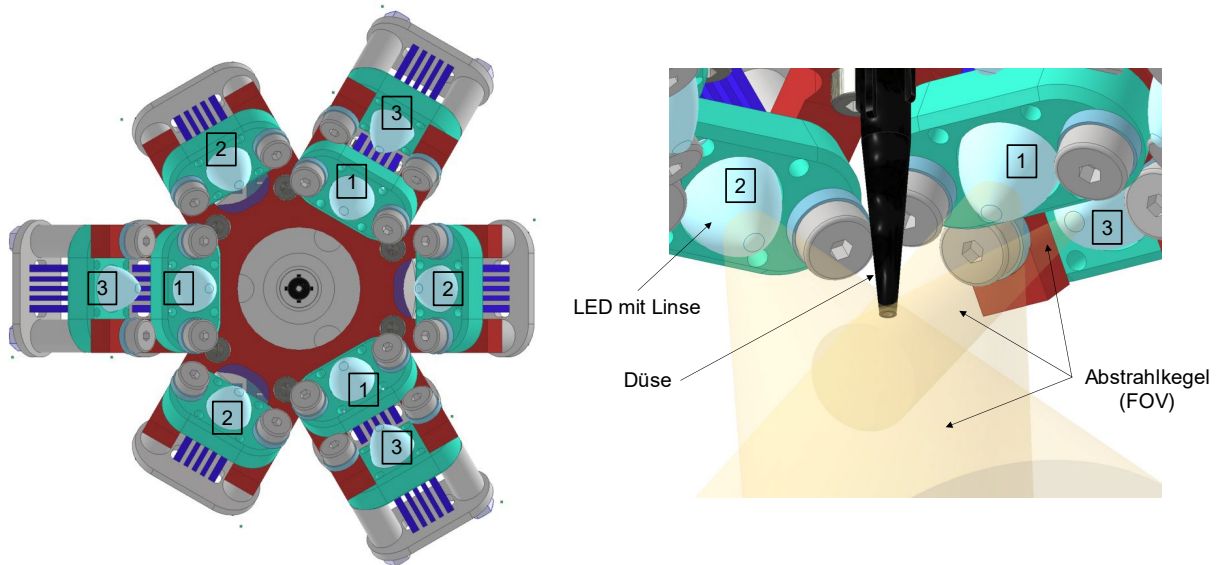
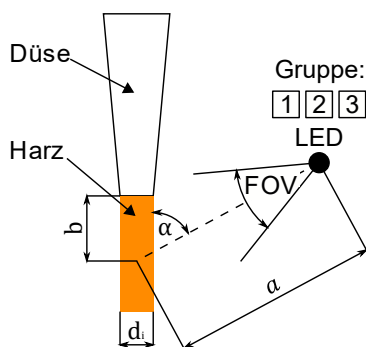


Abbildung 1: Anordnung der LEDs um die Düse und FOV der Linsen



LED Gruppe	Anzahl LEDs	a [mm]	b [mm]	α [°]	FOV [°]
1	3	58,5	18,4	28	30
2	3	60,2	16,5	37	30
3	3	61,2	4,5	52	10

Abbildung 2: Geometrische Anordnung des LEDs um die Düse

Messdurchführung

Um zu wissen, welche Bestrahlungsstärke E_e im Wellenlängenbereich von 365 nm tatsächlich am Düsenaustritt und entlang des gedruckten Stabes bei der gegebenen LED-Konfiguration ankommt, wird zur Messung das mobile Messgerät X1-1-RCH-116-4 von der Firma Gigahertz-Optik als Leihgerät zur Verfügung gestellt. Das Gerät besteht aus dem Optometer X1-1 und dem Detektor RCH-116-4.

Für die Messungen wird der UV-Detektor unterhalb der Düse platziert (siehe Abb. 3). Die Bestrahlungsstärke wird in verschiedenen Abständen b vom Düsenaustritt und bei mehreren UV-Intensitäten gemessen. Bei jedem Messpunkt werden die LEDs für zwei Sekunden eingeschaltet. Nach diesen zwei Sekunden wird der letzte Messwert, der auf dem Optometer angezeigt wird, festgehalten. Die Pause zwischen zwei Messungen beträgt 5 Sekunden.

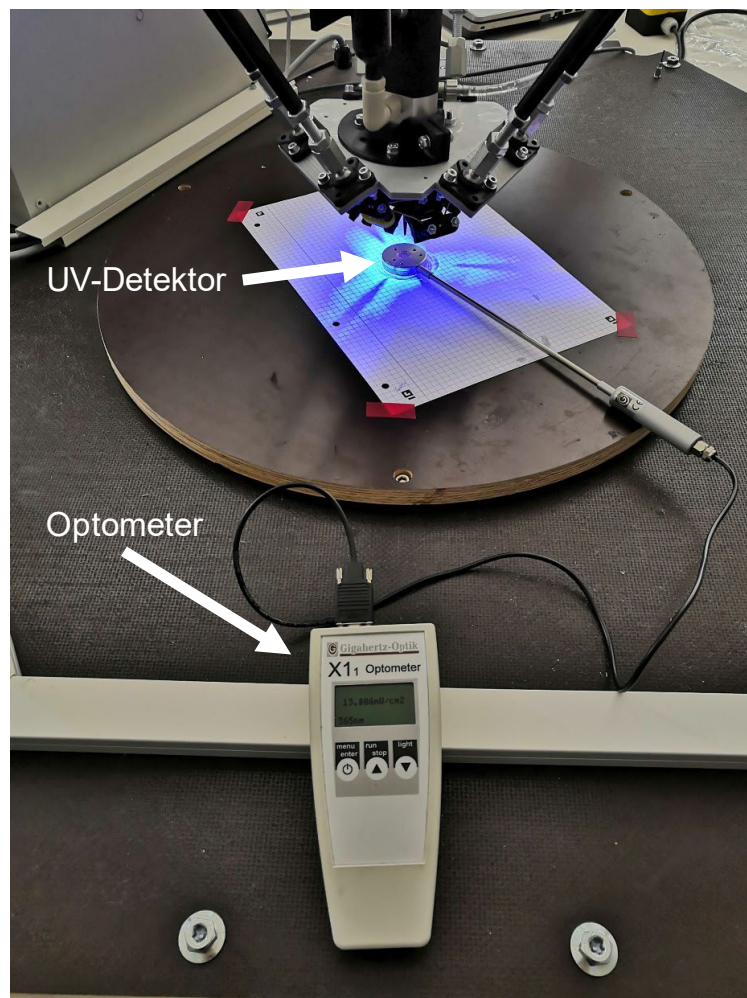


Abbildung 3: Messdurchführung mittels Radiometer

Messergebnisse

In Abb. 4 ist Bestrahlungsstärke E_e in Abhängigkeit von der UV-Intensität für verschiedene Abstände b zum Düsenaustritt dargestellt. Jede Kurve entspricht einem bestimmten Abstand b . Es ist gut zu erkennen, dass die Kurven am Anfang bei geringer UV-Intensität relativ steil ansteigen und mit zunehmender UV-Intensität abflachen bzw. gesättigt sind. Bei hohen UV-Intensitäten geht die elektrische Leistung der LEDs direkt in Verlustleistung bzw. Wärmeleistung über, wie Temperaturmessungen bestätigt haben.

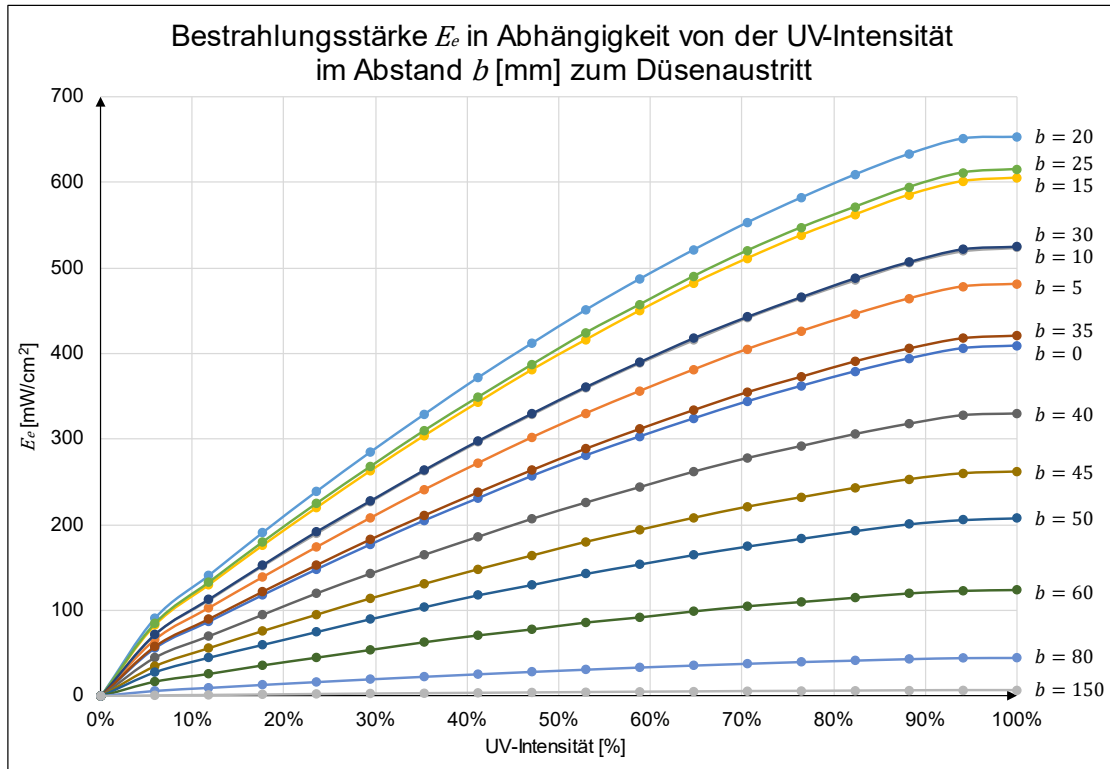


Abbildung 4: Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit von der UV-Intensität

In Abb. 5 ist zusätzlich noch die Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit vom Düsenabstand b für verschieden UV-Intensitäten dargestellt. Aufgrund der Anordnung der LEDs befindet sich das Maximum in einem Abstand von $b = 20$ mm hinter der Düse (siehe oberste Kurve in Abb. 4).

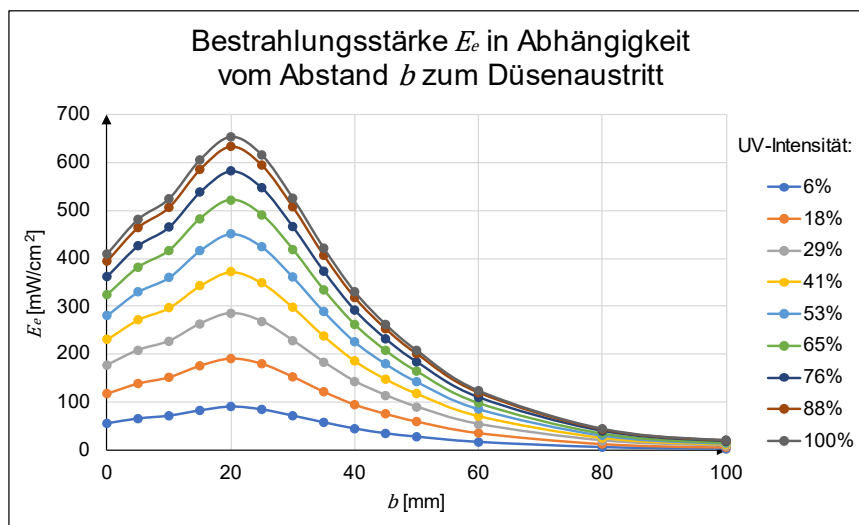


Abbildung 5: Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit vom Abstand b zum Düsenaustritt

Während der Messversuche wurde festgestellt, dass die Bestrahlungsstärke bei hohen UV-Intensitäten in den ersten Sekunden nach dem Einschalten der LEDs stark abfällt (mehrere 100 mW/cm^2). Grund hierfür ist die schnelle Wärmeentwicklung der LEDs, die zu einer Verlustleistung führt. Um den Effekt genauer zu untersuchen, werden zusätzliche Messungen durchgeführt, bei denen die Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit von der Zeit gemessen wird. Hierfür werden die LEDs bei verschiedenen UV-Intensitäten für jeweils 20 Sekunden eingeschaltet. Die Messungen werden für den Abstand $b = 20 \text{ mm}$ durchgeführt.

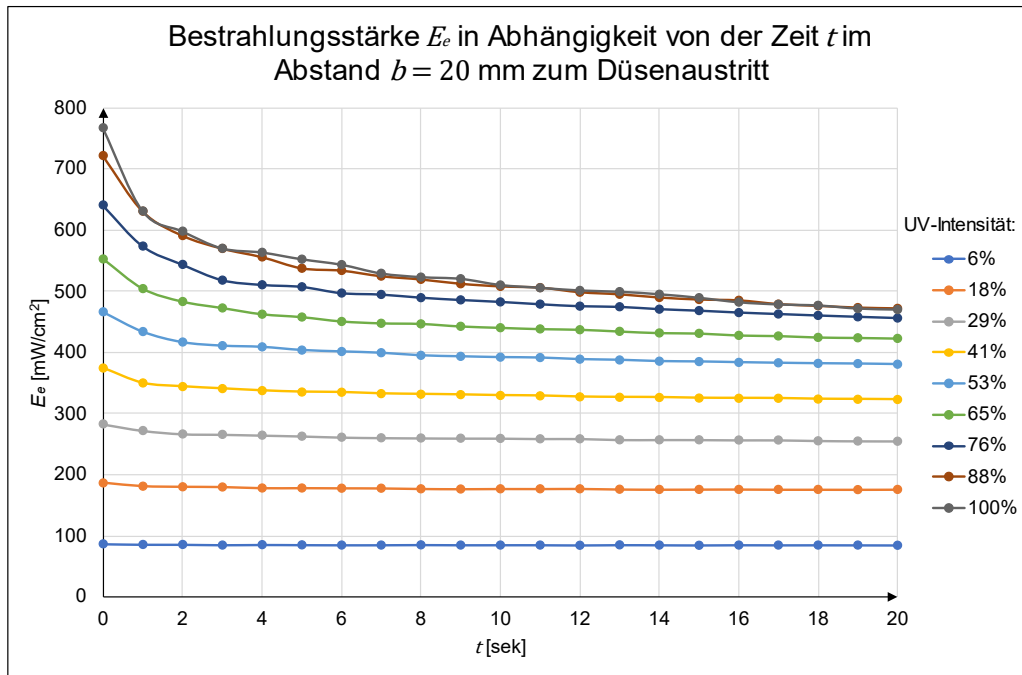


Abbildung 6: Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit von der Zeit

Die Erwärmung der LEDs ist auch in den Druckergebnissen deutlich zu erkennen. In Abb. 7 wurden jeweils zehn Stäbe mit den gleichen Einstellungen gedruckt. Im oberen Bild wurden die Stäbe unmittelbar nacheinander gedruckt. Die Bestrahlungsstärke hat hier bei den letzten Stäben nicht mehr für eine ausreichende Aushärtung ausgereicht. Im unteren Bild wurde zwischen jedem Stab eine Pause von 60 Sekunden eingehalten, sodass die LEDs ausreichend abkühlen konnten.

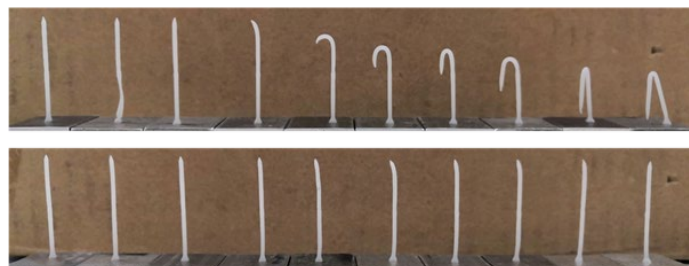


Abbildung 7: Oben: Keine Pause zwischen dem Druckvorgang von zwei Stäben; Unten: 60 Sekunden Pause

Resultat

Mithilfe des Radiometers von Gigahertz-Optik konnte zum einen die Bestrahlungsstärke der LED-Konfiguration genau ausgemessen werden und zum anderen konnte die Verlustleistung der LEDs bei hohen UV-Intensitäten in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt werden. Im nächsten Schritt soll daher die Kühlung der LEDs weiter verbessert werden.