

## Kaufen oder nicht kaufen: Verstehen, Auswählen und Kaufen von UV-LEDs

Walter FIEDLER<sup>1</sup>, Christian MERRY<sup>2</sup>, Peter E. GORDON<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laser Components GmbH, Werner-von-Siemens-Str. 15, 82140 Olching / Germany

<sup>2</sup> Laser Components S.A.S., 45 Bis Route des Gardes, 92190 Meudon/Frankreich

<sup>3</sup> Bolb Inc., 52 Wright Brothers Ave, Livermore CA 94551, USA

1992 entwickelte der japanische Nobelpreisträger Isamu Akasaki die erste Leuchtdiode (LED) für das ultraviolette Spektrum. Seitdem hat diese vergleichsweise junge Technologie kontinuierlich neue Anwendungsbereiche erobert. Besonders in den kurzen UV-Wellenlängen zwischen 280 nm und 100 nm, wo die technische Entwicklung derzeit rasant voranschreitet, ist es schwierig, mit der aktuellen Marktentwicklung Schritt zu halten. Hier bieten wir Ihnen einen Überblick und praktische Entscheidungshilfen bei der Suche nach der passenden UV-LED für Ihre Anwendung.

### Eine Frage der Wellenlänge

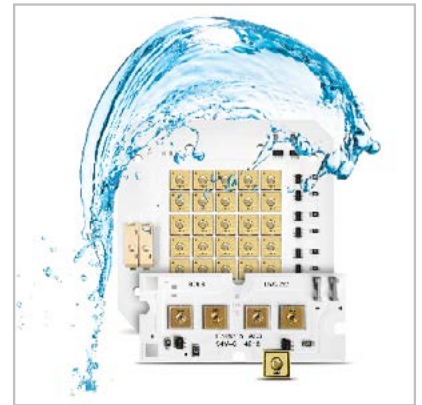
Auf der Suche nach der richtigen UV-LED steht natürlich zunächst die Anwendung – und damit die gewünschte Wellenlänge – im Vordergrund. Als ultraviolette Strahlung wird der Wellenlängenbereich zwischen dem sichtbaren Spektrum und der Röntgenstrahlung bezeichnet – also die energiereichen, kurzwelligen Strahlen zwischen ca. 400 nm und 100 nm. Ähnlich wie sich das sichtbare Licht in verschiedene Farben unterteilen lässt, unterscheidet man auch bei der unsichtbaren UV-Strahlung traditionell verschiedene Wellenlängenbereiche. Es hat sich gezeigt, dass sich diese Kategorisierung auch in Hinblick auf die industrielle und kommerzielle Nutzung des „UV-Lichts“ anwenden lässt.

### UV-A

UV-A beschreibt den Wellenlängenbereich zwischen dem Ende des sichtbaren Lichts (ca. 400 nm) und 320 nm.

Im Wellenlängenbereich zwischen 420 nm und 390 nm waren die ersten LEDs bereits Ende der 1990er Jahre erhältlich. Das sogenannte „Schwarzlicht“ wird vor allem verwendet, um Fluoreszenz anzuregen. So werden zum Beispiel Geldscheine, Ausweise oder Dokumente fälschungssicher gemacht. Für all diese Anwendungen sind nur geringe Ausgangsleistungen nötig.

UV-Strahlung zwischen 390 nm und 350 nm wird in der Industrie zur Härtung von Klebstoffen, Beschichtungen, Tinten und zahlreichen anderen Materialien verwendet. Wegen ihrer höheren Effizienz, der niedrigen Betriebskosten und ihrer kompakten Bauart verdrängen die Dioden zunehmend andere Technologien wie Quecksilberdampf Lampen.



Kompakte UV LEDs für die Anwendungen von heute

## UV-B

Als UV-B bezeichnet man Wellenlängen zwischen 320 nm und 280 nm. Die vielseitigen Leuchtdioden zwischen 340 nm und 300 nm sind die neueste Markteinführung in dem UVA/B Wellenlängensegment. Sie bieten ein großes Potenzial für zahlreiche unterschiedliche Anwendungen wie UV-Härtung, DNA-Analyse, Dermatologie oder Sensorik.

## UV-C

UV-C beginnt bei 280 nm und endet bei 200 nm. Da UV-C Licht vollständig von der Atmosphäre absorbiert wird, gibt es auf der Erde kein Lebewesen, das natürliche Abwehrmechanismen gegen diese energiereiche Strahlung entwickelt hat. Das gilt für den Menschen genauso wie für Bakterien und Viren. Die Strahlung wird von den DNS- und RNS-Strängen der Organismen absorbiert und sorgt dafür, dass die Nukleotidsequenzen „verklumpen“. Damit sind die Erbinformationen einer Zelle zerstört. Sie kann sich nicht mehr vermehren oder wird sogar abgetötet.

Germicidal LEDs mit 270 nm kommen dem Absorptionsmaximum der Nukleinsäuren (265 nm) sehr nahe und können daher besonders gezielt im Kampf gegen Mikroorganismen eingesetzt werden. Neben Wellenlänge und Ausgangsleistung müssen bei Desinfektionsanwendungen auch die spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Keime berücksichtigt werden. Eine ausreichende Entkeimungsquote von 99,9999 % wird oft erst nach längeren Bestrahlungszeiten erreicht.

## Kleiner und effizienter als bisherige Lösungen

Entscheidend für den Markterfolg ist neben der emittierten Wellenlänge vor allem die Leistung der LED. Insbesondere bei den kurzwelligen UV-C LEDs sind hier in den letzten Jahren entscheidende Fortschritte erzielt worden.

LEDs ersetzen zunehmend die über Jahrzehnte gebräuchlichen Quecksilberdampflampen als Strahlenquelle, denn im Vergleich zu dieser althergebrachten Technologie besitzen sie einige entscheidende Vorteile:

- Während die Quecksilberdampflampen hohe Spannungen benötigen und viel Hitze erzeugen, lassen sich die LEDs mit niedrigen DC-Spannungen und -Strömen betreiben. So wird auch der mobile Einsatz möglich.
- Da die LEDs in Strahlrichtung kaum Wärmestrahlung emittieren, können sie auch zur Bearbeitung von hitzeempfindlichen Materialien eingesetzt werden.
- Anders als die Quecksilberdampflampen benötigen LEDs keine „Aufwärmzeit“ und sind sofort voll einsatzbereit. Dadurch ist es auch möglich, die Emitter gepulst mit Impulsen im Millisekunden- und Nanosekunden-Bereich zu betreiben.
- Wellenlänge, Strahlungsintensität und Strahlform lassen sich bei der Herstellung vergleichsweise einfach anpassen. Während die Quecksilberdampflampen nur bestimmte Wellenlängen emittieren, lassen sich LEDs für verschiedenste Wellenlängen herstellen, indem man die Zusammensetzung der Halbleitermaterialien variiert. Die Strahlintensität kann leicht über die Stromzufuhr gesteuert werden.
- Die LEDs sind klein, kompakt und lassen sich in nahezu jedes Anwendungsdesign integrieren. Anders als die Quecksilberdampflampen sind sie nicht zerbrechlich und enthalten keine giftigen Substanzen.

## Gesättigte Märkte und hohes Wachstumspotenzial

Die Marktsituation für UV-LEDs hängt stark von der Wellenlänge ab. Ausschlaggebend ist dabei der Stand der technischen Entwicklung, denn auch hier gilt der Technology Adaption Cycle. Am Anfang steht eine technische Neuerung, die einen neuen Markt eröffnet – die Stückzahlen sind noch niedrig, die Preise hoch. Im Laufe der Zeit setzt sich die neue Technologie auf dem Markt durch. Mit der Nachfrage steigen auch die Stückzahlen; entsprechend sinken die Preise. Am Ende steht ein gesättigter Markt mit industrieller Massenproduktion, hohen Stückzahlen und niedrigen Preisen. Die verschiedenen Märkte für UV-LEDs befinden sich an unterschiedlichen Punkten dieser Entwicklung. Die Faustregel lautet: „Je kürzer die Wellenlänge, desto teurer die LED.“

Die Technologie für Schwarzlicht-LEDs ist seit Jahrzehnten ausgereift. Entsprechend niedrig sind die Herstellungskosten und die Produkte werden von zahlreichen Herstellern günstig angeboten.

Der Innovationsdruck im Wellenlängenbereich zwischen 390 nm und 350 nm hat diesem Marktsegment in den letzten Jahren ein rasantes Wachstum beschert. Noch liegen die Herstellungskosten deutlich höher als im Schwarzlicht-Segment. Immer effizientere Herstellungsmethoden und steigende Volumina führen jedoch zu einem kontinuierlichen Preisverfall.

Im UVB-Segment ist es in den letzten Jahren zwar gelungen, die Leistung der einzelnen Leuchtdioden zu steigern. Der Quanteneffizienzwert, also die Zahl der erzeugten Photonen, ist aber bei den meisten kommerziellen Produkten sehr niedrig. Es wird also noch einige Zeit dauern, bis die LEDs etablierte Technologien vom Markt verdrängen.<sup>1</sup>

Der Markt für Desinfektionsanwendungen ist momentan das spannendste und dynamischste Segment. Er wird derzeit noch von den altmodischen Quecksilberdampflampen dominiert. Die sind jedoch klobig und zerbrechlich. Daher eignen sie sich nicht für mobile Anwendungen. Erst vor wenigen Jahren wurden auch UVC LEDs mit einer Leistung entwickelt, die effektive Desinfektionslösungen möglich macht. Analysten erwarten daher, dass sich der Markt für UVC LEDs in den nächsten Jahren rasant entwickeln wird.

## Technische Innovation löst neue Wachstumsimpulse aus



Anwendungsmöglichkeiten für UVC-LEDs

Der entscheidende technische Durchbruch für ein Wachstum auf dem UVC LED-Markt gelang vor wenigen Jahren dem kalifornischen Start-up Bolb, Inc. wo ein p-dotiertes Material entwickelt wurde, das für die UV-C Wellenlängen transparent ist und gleichzeitig die gewünschte Photonenabgabe bietet. Das Unternehmen nutzt dabei quantenelektrische Effekte, um den Quantenwirkungsgrad bei kommerziellen LEDs auf über 6% und bei Laborversuchen sogar auf 14% zu steigern. Beim klassischen LED-Design lag dieser Wert für das UV-C Spektrum bisher bei unter 3%. Das Unternehmen geht davon aus, dass in naher Zukunft eine Quanteneffizienz von 75% erreicht werden kann.

Da die technischen Grundlagen nun geschaffen sind, darf man erstmals eine Prognose für die weitere Marktentwicklung wagen. Fachleute orientieren sich dabei am Markt für blaue LEDs, der Ende der 1980er-Jahre mit einem ähnlichen technischen Durchbruch geschaffen wurde. Zusätzlich treibt die aktuelle Corona-Krise den Markt nachhaltig an. Schon vor COVID-19 gingen Analysten davon aus, dass der UV-LED-Markt bereits in wenigen Jahren die Marke von 1 Mrd. USD überschreiten werde. Marktgrößen wie Nishia oder San'an investieren derzeit große Summen in UV-C LEDs, da sie sich von dem schnell wachsenden Segment hohe Margen versprechen. Gleichzeitig arbeiten die kleinen innovativen Start-ups daran, ihren technologischen Vorsprung auszubauen, um die weitere Marktentwicklung zu beeinflussen.

So sieht zum Beispiel die Roadmap von Bolb schon in wenigen Jahren Leistungen von 400 mW und eine Quantenausbeute von 20% vor. Bei diesem Tempo könnte die Photonen ausbeute bis 2030 auf über 50% steigen. Der Preis läge dann unter zehn Dollar pro optischem Watt – vielleicht sogar bei nur einem Dollar. Berücksichtigt man die zahlreichen oben beschriebenen Vorteile der LED gegenüber den Quecksilberdampflampen, ist es wahrscheinlich, dass die LEDs bereits viel früher beginnen, etablierte Lösungen vom Markt zu verdrängen, zumal sich gleichzeitig neue Marktsegmente eröffnen, die von herkömmlichen Technologien nicht abgedeckt werden können – zum Beispiel in der mobilen Wasseraufbereitung. Das durch die aktuelle Corona-Pandemie gestiegene Bewusstsein für Hygiene und Entkeimung wird Nachfrage und technische Entwicklung weiter vorantreiben. Mehrere große Automobilhersteller haben bereits angekündigt, Millionen in UV-Desinfektionslösungen für den Fahrzeuginnenraum zu investieren, die sich nur mit entsprechenden LEDs umsetzen lassen. Ähnliche Anwendungen werden momentan auch für den öffentlichen Nahverkehr und den Krankentransport entwickelt.

Französisches Original: Photoniques, the magazine of the Société Française d'Optique

<https://www.photoniques.com/articles/photons/pdf/2021/01/photons2021106p48.pdf>

<sup>1</sup> <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/phvs.201900039>