

UV-LED – innovative Lichtquelle für Industrie und Medizin

Mit heute verfügbaren künstlichen Quellen ultravioletter Strahlung (UV) lassen sich je nach Energiedichte Anwendungen in Industrie und Medizin bedienen. LEDs sind dabei, konventionelle Quecksilberdampflampen und Gasentladungslampen abzulösen. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit der LED-Technik ergeben sich immer neue Applikationsmöglichkeiten. Auch in Anwendungsbereichen der UVB- und UVC-Strahlung werden LEDs als innovative Lichtquelle eine Hauptrolle einnehmen.

Jonatan Klee
Neumüller Elektronik GmbH

Die Wirkung der seit dem 18. Jahrhundert bekannten UV-Strahlung auf Materialien und Lebewesen ist belegt. Drei Strahlungsbereiche werden kategorisiert: UVC (100 - 280 nm) als der kurzwelligste Bereich mit der energiereichsten Strahlung, UVB (280 - 320 nm) als der mittlere Bereich und UVA (320 - 410 nm) als der langwelligste UV-Bereich mit der energieärmsten Strahlung. Je kurzwelliger die Strahlung, umso gefährlicher ist sie für Organismen. Im UVC-Bereich kann es bei Bestrahlung von lebenden Organismen zu erheblichen gesundheitlichen Schäden kommen, da diese mit Proteinen und DNA reagiert. Die langwelligste Strahlung des UV-Spektrums ist die UVA-Strahlung. Diese Strahlung wird von der Ozonschicht vollständig

durchgelassen und ist für den Menschen weitgehend ungefährlich.

Heutzutage sind wir in der Lage, UV-Strahlung vom UVC- bis zum UVA-Bereich künstlich zu erzeugen. Die Möglichkeiten der Anwendung sind vielfältig, wie z.B. das Aushärten von Farben und Klebstoffen oder die Desinfektion von Wasser, Luft und Oberflächen. Auch in der Industrie und der Medizin gibt es ein breites Einsatzgebiet für UV-LEDs. Im Folgenden wird die aktuelle Marktsituation beschrieben und ein Überblick über vorhandene und zukünftige Lösungen sowie deren Verwendbarkeit und Verfügbarkeit gegeben.

Natürliche und künstliche UV-Quellen

Der größte Lieferant von UV-Strahlung ist und bleibt die Sonne mit Emission

über das komplette UV-Spektrum (UVA bis UVC). Die Ozonschicht der Erde wirkt hierbei wie ein riesiger Filter und absorbiert die gefährliche Strahlung (< 300 nm) nahezu vollständig. Dadurch werden Schäden an Menschen, Tieren und Pflanzen vermieden. Unter Einwirkung von UVC-Strahlung (< 240 nm) wird ein Sauerstoffmolekül gespalten und die einzelnen Sauerstoffatome reagieren mit molekularem Sauerstoff zu Ozon. Ozon absorbiert langwelligere UV-Strahlung (bis ca. 300 nm). Dabei entstehen wiederum molekularer Sauerstoff und freie Sauerstoffatome, die sich allerdings unter Wärmeabgabe schnell wieder mit anderen Sauerstoffmolekülen zu Ozon verbinden. So wird in einem Kreislauf energiereiche Strahlung in Wärme umgewandelt und die Ozonschicht regeneriert sich ständig. Heutzutage stehen uns einige künstliche Lichtquellen zur Verfügung, welche UV-Strahlung emittieren. Die wohl bekannteste ist die Quecksilberdampflampe, welche in den verschiedensten Industriesektoren vertreten ist. Je nach Peak-Wellenlänge wird Sie zur Desinfektion von Wasser, Luft und Oberflächen oder zur Aushärtung von Lacken und Farben genutzt. Außerdem lassen sich Hauterkrankungen wie z.B. Neurodermitis durch gezielte UV-Bestrahlung behandeln.

Neben konventionellen Strahlungsquellen geht aufgrund der zunehmenden Leistungsfähigkeit und geringerer Kosten der Trend seit einigen Jahren hin zu LEDs und damit auch zu UV-LEDs.

UVA-Strahlung

Der zurzeit größte und stetig wachsende Einsatzbereich der UV-LED ist die Druck- und Klebstoffindustrie. In die-

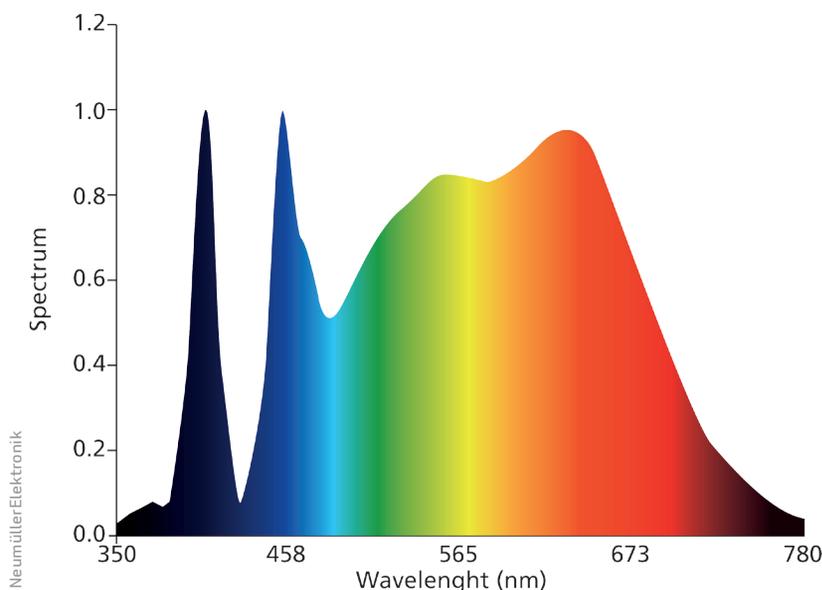


Bild 1: Spektrum für optimales Pflanzenwachstum (emittiert durch LEDs)

sem Anwendungsbereich ist die LED bereits weit verbreitet und auf dem Weg die konventionelle Technik vollständig abzulösen. Es gibt eine breite Vielfalt an Druckfarben und Lacken, die – abhängig davon zugesetzten Additiven – auf ein sehr schmales spezielles Wellenlängenspektrum reagieren. Mit ihrem schmalen Emissionsspektrum bieten LEDs hier eine perfekte Lösung und sorgen im Vergleich zu breitbandig abstrahlenden UVA-Röhren für eine effiziente Aushärtung.

Eine technische Herausforderung solcher LED Systeme ist der Wärmeabtransport. So haben sich in den letzten Jahren aufgrund ständig steigender Leistungen, die verfügbaren UV-LED-Gehäuse von der klassisch bedrahteten Bauformen zu thermisch stabileren SMD-Bauformen gewandelt. Um den Wärmeleitwert zu verbessern, werden bevorzugt Materialien wie Aluminium und Keramik verwendet. Zudem ermöglichen aktive Wasserkühlungssysteme, große Wärmemengen schnell und effizient abzutransportieren. Neben dem effizienten Wärmeabtransport lassen sich LED-Systeme auch auf die aktuell benötigte Leistung konfigurieren.

Weitere Anwendungsbereiche für UVA-Strahlung sind die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, die Echtheitsprüfung von Geldscheinen, die Forensik und die Erzeugung fluoreszierender Effekte. Heutzutage ist man in der Lage, mit LEDs und UV-LEDs nahezu das komplette Emissionsspektrum der Sonne zu emittieren. Damit ergeben sich auch Anwendungsmöglichkeiten in der Botanik. Chlorophyll absorbiert für die Photosynthese Licht im Wellenlängenbereich 400 - 480 nm (blau) und 550 - 700 nm (rot). Genau diese Wellenlängenbereiche lassen sich durch eine geschickte Kombination von UV-LEDs (400 nm) und weißen LEDs mit einem angepassten Spektrum perfekt treffen (**Bild 1**).

UVB-Strahlung

Für den UVB-Bereich ist die Zahl der Anwendungsfelder bislang noch begrenzt. UV-Strahlung in diesem Wellenlängenbereich wird aber bereits zur Behandlung von Hauterkrankungen wie Neurodermitis, Psoriasis (Schuppenflechte), Juckreize und Sonnenallergie genutzt. Die zu behandelnden Hautareale werden dabei gezielt UVB-Strahlung ausgesetzt. Als besonders effektiv erwiesen sich hierbei die Wellenlängen zwi-



Bild 2: Fluoreszieren von Bakterien durch UV-Strahlung

schen 310 - 315 nm. Zurzeit wird hierfür allerdings größtenteils noch konventionelle Röhrentechnik eingesetzt. Die LED mit Ihrem schmalen Abstrahlspektrum könnte sich in diesem Anwendungsgebiet ebenfalls als vorteilhaft erweisen, da bei zu langer oder unsachgemäßer Bestrahlung irreparable Schäden der Haut auftreten können. Durch den Einsatz der LED als Punktlichtquelle ließen sich Hautpartien besonders gezielt behandeln und das Risiko, nicht betroffene Partien zu schädigen, minimieren.

Studien haben gezeigt, dass sich die Haltbarkeit von Lebensmitteln durch UVB-Bestrahlung deutlich verlängert. Damit liegt der Einsatz von UV-LEDs in Kühlschränken nahe, um Gemüse, Obst, Fisch und Fleisch länger frisch und genießbarer zu halten.

Die Leistung der meisten verfügbaren UVB-LEDs liegt allerdings derzeit noch im einstelligen Milliwatt-Bereich, zu gering für einen effektiven Einsatz. Nur wenige Neuentwicklungen haben bereits den Sprung zu höherer optischer Leistung geschafft. Die derzeit leistungsfähigen LEDs, am Rande des UVB-Bereiches, emittieren bei 340 nm ca. 100 mW (Seoul Viosys).

UVC-Strahlung

Die UVC-Strahlung ist die kurzwelligste und energiereichste UV-Strahlung. Durch ihre Wirkung auf Erbgut von Zellen und Proteinen ist sie zwar gefährlich, lässt sich aber auch gezielt im industriellen als auch im medizinischen Bereich nutzen. Die Zahl der Menschen ohne

Zugang zu sauberem Trinkwasser wird von Weltgesundheitsorganisationen zurzeit auf mehr als 800 Millionen geschätzt. An den resultierenden Infektionskrankheiten sterben pro Tag ca. 10 000 Menschen. Hauptursache dafür ist der ständige Kontakt mit pathogenen Keimen. Trotz der allgemeinen Bekanntheit dieses Problems, ist es bis heute nicht gelungen, dieses Problem in den Griff zu bekommen. Durch die Bestrahlung des bakterienbelasteten Wassers mit UVC-Strahlung lassen sich Keime und Bakterien nahezu vollständig abtöten. Die UVC-Strahlung greift das Genom des Bakteriums an, was zu Schädigungen des Basenhaushaltes führt. Die Schäden der Bestrahlung hindern das Bakterium an der Replikation und damit an der weiteren Vermehrung. Bis jetzt werden zur Reinigung von Wasser Niederdruck-Quecksilberdampflampen (Quarzlampen), eingesetzt. In einer Studie des Halbleiterherstellers Seoul Viosys in Zusammenarbeit mit einem Forschungsinstitut wurde zur Desinfektion von Trinkwasser der Einsatz von UVC-LEDs getestet (**Bild 3**). In einem Experiment wurde das Bakterium E-coli mit ca. 14 mW UVC bestrahlt, entspricht aktuell ca. acht 275 nm LEDs. Durch die Bestrahlung konnte das Bakterium E-coli in einer 0,5 Liter Fläche in 30 Sekunden zu 95,93% beseitigt werden, nach weiteren 20 Sekunden waren sogar 99,99% der E-coli Bakterienkulturen eliminiert. Diese Technologie könnte also in Zukunft zur Trinkwasserreinigung in abgeschnittenen Regionen oder auch zur Wasserauf-

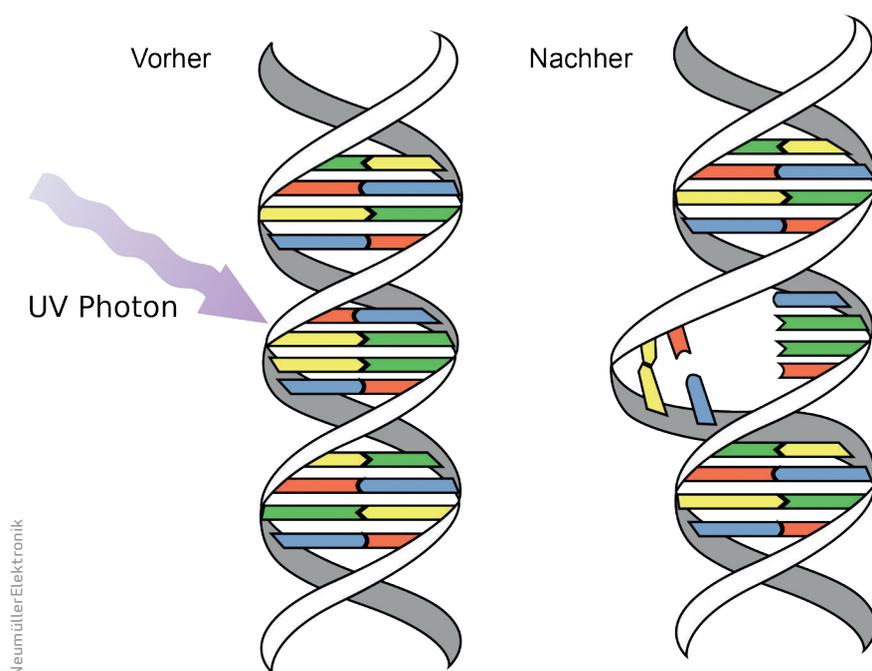


Bild 3: Prinzip der Desinfektion: Die desinfizierende Wirkung beruht auf dem Einfluss der UV-Strahlung auf das genetische Material und damit der Verhinderung der Reproduktion von Keimen

bereitung in Kläranlagen, Flugzeugen und U-Booten eingesetzt werden. Auch in Wasserspendern, Kaffeemaschinen oder Dunstabzugshauben könnten solche LEDs für ein zuverlässiges hygienisches Milieu sorgen.

Technische Herausforderungen

Beim Vergleich der technischen Parameter einer herkömmlichen Quarzlampe und denen einer LED zeigt sich, dass konventionelle Niederdrucklampen je nach Hersteller ca. 40% der elektrischen Leistung in UVC-Strahlung umwandeln. Die optische Leistung einer Niederdrucklampe ist aber nicht zu 100% auf den Peak konzentriert, sondern hat im Vergleich zur LED ein viel weiteres Abstrahlspektrum. Betrachten wir also nur den für die Applikation bedeutenden Peak, so relativiert sich der Wirkungsgrad der Quarzlampe entsprechend. Für die Aufspaltung der DNA der meisten Bakterien benötigt man einen Peak bei ungefähr 260 – 265 nm. Schlüsselst man nun das abgestrahlte Spektrum, die 40% UVC-Strahlung, auf die reale Leistung im erforderlichen Wellenlängenbereich auf, so wird deutlich, dass nur dieser Prozentsatz als realer Vergleichswert zur LED herangezogen werden kann. Somit wird die von der LED abgestrahlte Leistung um ein vielfaches besser genutzt als

die Strahlungsleistung herkömmlicher Technologien.

Neben dem Wirkungsgrad ist die Lebensdauer einer Quarzlampe (ca. 8 000 Stunden bei einer Niederdruck-Quecksilberdampflampe) wesentlich geringer als die einer UV-LED (ca. 50 000 Stunden). Die Niederdruck-Quecksilberdampflampe ist in Bezug auf Wartung und Entsorgung kostenintensiver als LEDs. Eine Halbleiterdiode ist zudem frei von gefährlichem Quecksilber und somit umweltfreundlicher. Außerdem lassen sich die LEDs ohne Aufwärm- und Abkühlzeiten an- und ausschalten, so dass die Leistung gezielt eingesetzt werden kann, wenn diese benötigt wird.

Luftaufbereitung

Neben der Desinfektion von Oberflächen und Wasser kann Luft mittels UV-Strahlung gereinigt werden. Ob die Luftaufbereitung von Massentierhaltungsanlagen, der eigenen vier Wände, Großküchen oder Niedrigenergiehäusern, die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig.

Aktuell werden in diesem Bereich konventionelle Leuchten eingesetzt, wobei gebildetes Ozon Keime, Bakterien und Gerüche neutralisiert. Das aus Sauerstoffmolekülen und einzelnen Sauerstoffatomen entstehende Ozon oxidiert

organische Stoffe wie Fette, Nikotinrauch, und andere geruchsbildende Stoffe. Zudem eliminiert Ozon aufgrund seiner desinfizierenden Wirkung in der Luft vorhandene Mikroorganismen.

Ein luftreiniger Effekt ist auch beim kombinierten Einsatz von UV-Strahlung in Verbindung mit Titandioxid (TiO_2) nachweisbar. Bei diesem photokatalytischen Effekt bestrahlt man Titandioxid mit UV-Licht, um eine Radikalreaktion auszulösen, die eine Desinfizierung bewirkt. Da hierbei keinerlei umweltbelastende Stoffe zum Einsatz kommen, könnte die Kombination aus UV-Strahlung und Titandioxid eine durchaus attraktive Alternative zu herkömmlich genutzter Technik darstellen. Einige Hersteller bieten bereits Lösungen an, welche sich den photokatalytischen Effekt zu Nutzen machen. Dieser Effekt lässt sich auch mit Halbleiterdioden erzeugen, da das Titandioxid besonders auf UVA-Strahlung (385 nm) reagiert. Solche LEDs sind bereits heute verfügbar und liefern ausreichend Leistung.

In einem Versuch mit einem mobilen Luftreiniger für Räume von bis zu 1 m^3 kamen spezielle 385 nm LEDs in Kombination mit Titandioxid zum Einsatz. Getestet wurde dieses Verfahren an Ammoniak, Toluol, Formaldehyd und Acetaldehyd. Die Tests benötigten keinerlei Filter und lieferten signifikant positive Ergebnisse: die Gerüche dieser Verbindungen ließen sich erfolgreich neutralisieren.

Fazit

Immer leistungsstärkere und kostengünstigere LED-Technik erschließt neue Anwendungsgebiete. Umweltfreundliche Halbleiterdioden bieten eine damit einen erheblichen Vorteil in einem breiten Anwendungsspektrum. Je nach Applikation und benötigter Wellenlänge ist bereits heute der Ersatz konventioneller Leuchten durch LEDs zu 100% möglich.

Jonatan Klee
Produkt Marketing UV-LED
Neumüller Elektronik GmbH
22926 Ahrensburg
Tel.: +49 4102 / 66601-17
Fax: +49 4102 / 66601-66
j.klee@neumueller.com
www.neumueller.com