

UV-LEDs auf dem Vormarsch - Effizient und innovativ

UV-Licht ist der energiereiche Bereich des Sonnenlichts, der für viele Wirkungen bekannt ist, positive wie negative. Nun ist er nicht nur für die Schäden in der Haut der Sonnenanbeter verantwortlich, sondern findet immer mehr Anwendung in der Industrie, Medizin, Kosmetik, und in der Forschung im Allgemeinen. Die traditionellen Quellen dieses Lichts sind Dampfampfen, die mit Quecksilber und weiteren chemischen Komponenten arbeiten. Auf vielen Gebieten haben die LEDs bereits die konventionellen Lampen und sogar ihre Sparvariante verdrängt. Gerade erobern die UV LEDs auch den ultra-violetten Bereich rasant und unwiederbringlich.

Ultraviolettes Licht (kurz UV) ist die für das menschliche Auge unsichtbare Strahlung. Wie der Name schon verrät, schließt sich das UV-Spektrum unmittelbar links an den sichtbaren Spektralbereich an. Dabei unterscheidet man die Arten UV-C (200 - 280 nm), UV-B (280 - 315 nm) und UVA (315 - 400 nm). UV-Strahlung unter 200 nm kann sich nur unter Schutzgas oder im Vakuum ausbreiten, weshalb die Einsatzgebiete stark beschränkt sind und daher in diesem Artikel nicht berücksichtigt werden.

UV-Strahlung wird in erster Linie künstlich hergestellt. Bereits 1892 wurde vom Berliner Physiker Martin Leo Arons die erste Quecksilberdampfampe erfunden. Seit 1934 sind Hochdruck-Quecksilberdampfampfen kommerziell verfügbar [1]. UV-LEDs hingegen haben ihren Einzugs in industrielle Anwendungen erst Anfang dieses Jahrtausends gefunden. Dies aber mit großem Erfolg, zumal LEDs gegenüber der UV Lampen viele Vorteile bringen:

Die kleine Größe in Kombination mit geringem Verbrauch und einfacher Stromversorgung ermöglichen perfekte Designanpassung, Robustheit und einfache Handhabung. Doch die Halbleitertechnologie kann noch viel mehr. Das Wegfallen des giftigen Quecksilbers bringt die Toxizität auf null. Der schmalbandige Peak der LEDs macht den UV Gebrauch wohldefiniert: UV Lampen benötigen mehrere Minuten beim Aufwärmen, UV LEDs sind sofort einsatzbereit.



Selbstverständlich haben neue Technologien auch Ihre Nachteile, bis die Massenfertigung läuft, bspw. sind die Anschaffungskosten höher. Diese werden jedoch durch sehr geringe Instandhaltungskosten und günstige Ausführungen des Gesamtsystems relativiert. Durch die hohe Lebensdauer – bereits jetzt schon mehrere 10 kh bei UVA! – werden keine Ersatzteile mehr gebraucht. Ein weiterer Vorteil der LEDs: Die kleine Bauteilgröße, eine einfache und verbrauchsarme Elektronik ermöglichen unkomplizierten Gerätebau.

Die Hitze ist nicht wie bei einer Lampe homogen über die ganze LED verteilt, die eigentliche Wärmeentwicklung fällt dagegen um einiges geringer aus. Hohe Leistungseffizienz, also, Pout/Pin, ist im UVA Bereich schon längst auf der Augenhöhe mit traditionellen Lampen. Die Ausgangsleistungen erreichen bei Multichip-Modulen schon 20 W. UVB und UVC LEDs bringen zwar noch viel weniger raus – 30 mW bei Singlechips, - aber dieser UV Anteil in den Lampenspektren ist ebenfalls klein.

Die LED-Technologie befindet sich in einer intensiven Entwicklung mit fortwährenden großen Performance-Fortschritten. Bereits bei der nächsten Chipgeneration soll die doppelte optische Leistung möglich sein. Zusätzlich erlauben der Leichtbau und die geringe Wärmeentwicklung das Platzieren der Lichtquelle direkt am oder sogar im zu bestrahlenden Medium, und somit hohe Strahldosen. Werden die UV Lampen zur Abtötung von Mikroorganismen eingesetzt, so lässt sich die Desinfektionsgüte gut durch die Strahldosis quantifizieren. Die UV Dosis ist ein Produkt der Intensität des UV Lichts bei der Bestrahlungszeit:

$$\text{UV Dosis (mJ/cm}^2\text{)} = \text{UV Intensität (mW/cm}^2\text{)} \times \text{Zeit (s)}$$

Nicht alle Mikroorganismen reagieren gleichermaßen auf UV Licht. Z.B., um 99,99% des meist vorkommenden Darmbakterium E.coli zu vernichten, würden 5 mJ/cm² reichen, d.h. bei Belichtungszeit 1s. Wenn die Zeit kein begrenzender Faktor ist, würden bereits nur 0,08 mW/cm² und 1 Minute benötigt [2].

UV LED und UV Lampen Performance [2]

	UV LED		UV Lampe
	UVC / UVB	UVA	
Größe	Max. 1 cm ²		Bis über 1 m
Toxizität	Keine		Hg
Spektrum	Einzelner Peak, wohldefinierte Wellenlänge		Mehrere Peaks resultierend aus Hg und den beigemischten Stoffen
Lebensdauer	Sehr wellenlängenabhängig; bis zu 20.000 h bereits jetzt	Bis zu 50.000 h, 100.000 h in Zukunft	1.000 - 20.000 h, durchschnittlich 2.000
Wärmeentwicklung	Gering		hoch
Wärmeabfuhr	Wärmeableitvorrichtung an der Hinterseite		Homogen über die ganze Fläche
Aufwärmzeit	Keine		Bis zu 10 Min.
Effizienz (Pout / Pin. %)	Wenige %	Bis zu 35%	10% - 45%
Robustheit	Schlagfest		Zerbrechliche Konstruktion aus Quarzglas
Design	Sehr flexibel und anpassungsfähig		Lang und gerade
Instandhaltungskosten	Gering dank langer Lebensdauer, günstiger Stromversorgung und Verpackung		Hoch wegen kurzer Lebensdauer

Anwendungen

UVA (315 nm – 400 nm)

Dass LEDs in Smartphones, Tablets sowie Displays und Sensoren verschiedenster Art zum Einsatz kommen, dürfte hinlänglich bekannt sein. Dass LEDs, welche in einem bestimmten Wellenlängenbereich emittieren, bereits an deren Herstellung maßgeblich beteiligt sind, vermutlich nicht. Dieser spezielle Wellenlängenbereich ist der UVA-Bereich.

UV LEDs zum Aushärten von Touch-Screens. UVA LEDs werden zum Aushärten von Klebstoffen eingesetzt; so werden bei berührungsempfindlichen Bildschirmen beispielsweise Displayglas, Touchscreen und LCD-Display vollflächig miteinander verbunden.

In den Anfängen der Smartphones wurden Touchscreen und Display noch ohne flächige Verklebung übereinander gelegt – zwischen den Schichten war Luft eingeschlossen. Je größer die Displays, desto schwieriger wurden jedoch Einfassung und Druckverteilung.

Die Vollverklebung ist ein wesentlicher Bestandteil der Fertigung geworden. So lassen sich immer flachere Smartphones produzieren und die Fertigung sowie der Zusammenbau wird zunehmend schneller und unkomplizierter [3].

Aushärten weiterer Klebstoffe. Auch beim Verkleben von DVDs, der Kabinenausstattung von Flugzeugen oder von Automobilelektronik kommen UVA LEDs zum Einsatz und verdrängen in diesen Gebieten zusehends UV-Lampen, Blitzröhren oder konventionelle thermische Trocknung und Aushärtung. Die Gründe hierfür liegen nicht nur in der langen Lebensdauer (mittlerweile weit über 20.000 Stunden) und den kurzen Schaltzeiten (keine Aufwärmphase), sondern auch im geringen Platzbedarf sowie dem Ausbleiben von Wärmestrahlung. Ein weiteres prominentes Beispiel ist das Verkleben von Laminatböden.

Farbtrocknung. Neben Klebstoffen werden auch Lacke oder Druckfarben ausgehärtet. Diese gehen von einer flüssigen Anfangsphase innerhalb weniger Sekunden in einen festen Endzustand über [4]. Grund ist eine chemische Reaktion, – die Polymerisation, - die durch die hochenergetische Strahlung der UVA LEDs herbeigeführt wird. Wesentliche Vorteile dieser Methode sind sehr kurze Trocknungszeiten, kein Abfärben und praktisch durch Trocknung unverändert bleibendes Farbstoffvolumen. Die typischen Wellenlängen von 365 nm, 385 nm, 395 nm und 405 nm werden seit beinahe 10 Jahren von UV LEDs Herstellern produziert und in ihrer Performance perfektioniert. Optische Leistungen bis 2 W/Single Chip sind keine Seltenheit.

Auch in der Dentalindustrie werden UVA LEDs eingesetzt. Jeder, der schon mal eine Kompositfüllung beim Zahnarzt bekam, erinnert sich bestimmt an ein kleines Gerät mit punktuellen blau-violetten Licht. Mithilfe der Aktivierung eines Initiators bei einer Wellenlänge von 300 bis 450 nm wird die Polymerisation des Komposits in Sekundenschnelle direkt im Zahn herbeigeführt, und die Füllung verhärtet [5].

Falschgeldnachweis. Eine sehr exotische Anwendung ist Falschgelddetektion. Im grenzenlosen Weiten des Darknets existieren Sachen, die sich ein gewöhnlicher Bürger nicht einmal vorstellen kann. Und so lassen sich schon mal für 200 echte Euro 500 falsche bestellen. In kleinen Scheinen, versteht sich. Besonders beliebt sind 50 €-Scheine. Die Qualität dieser Schnäppchen variiert enorm. Manch ein Schein lässt sich schon beim Anschauen entlarven, andere aber auch nicht durch anfassen, riechen, kneten. Die Blüten richten großen wirtschaftlichen Schaden an. Und so sind in den modernen Scheinen mehrere verschiedenartige Marker eingebaut, um den Untergrundkünstlern das Handwerk zu erschweren oder gar unmöglich zu machen. Einige dieser Marker lassen sich erst durch UVA Licht sichtbar machen.

Dokumentenprüfung und mehr. Bei Führerschein, Pass oder Ausweis stirbt die Papierform aus. Die Plastikkarte hält Einzug in unsere Geldbörse auch hierfür. Ähnlich wie bei Geldscheinen werden auf den Dokumenten UVA-Marker platziert. Die Informationsspeicherkapazität auf solch einer Karte ist enorm ausbaufähig und wird in Zukunft sicherlich mehr und mehr genutzt.

Ob Falschgeldnachweis oder Dokumentenprüfung, die LED Technologie ermöglicht kleine, handliche und günstige Geräte, die praktisch auf jedem Postamt, oder sogar an jeder Supermarktkasse bald zu finden sein werden.

UVB (280 nm – 315 nm)

Therapie und Wohlfühlen. Wer kennt sie nicht, die Winterdepression! Monat um Monat vergeht mit kurzen Tagen, Nebel, Regen, Schnee, aber kaum Sonne. Und wenn sie scheint, dann nur kurz und fahl. Zu wenig Sonnenlicht schlägt auf das Gemüt. Aber nicht nur das – Sonnenlicht regt die Produktion von Vitamin D in der Haut an, und das ist wichtig für den Kalziumeinbau in die Knochensubstanz. Vom gesamten Sonnenspektrum ist es der UVB Anteil bei etwa 305 nm, der dafür verantwortlich ist. Der bekannte und in Verruf geratene Sonnenlichtersatz sind die Bräunungslampen. Diese basieren auf Quecksilberdampf und erzeugen UV Licht vieler verschiedener Wellenlängen. Meist wird auch noch der UVB Anteil herausgefiltert, da er lange als krebserregend galt. Ob schädlich oder gesundheitsfördernd entscheidet die Dosis.

Grundsätzlich ist eine Lichttherapie mit UVB bei einigen Hauterkrankungen sinnvoll. Für Vitiligo typische weiße Flecken auf der Haut mögen einen Betroffenen mit hellem Hauttyp zwar stören, aber erträglich erscheinen. Doch je dunkler der Hauttyp, desto gescheckter die Erscheinung und unangenehmer das Selbstempfinden. Die nachgewiesene positive Wirkung von UVB bringt Erleichterung. Oder Linderung im Falle von Psoriasis oder Wundheilstörungen.

Doch gerade bei den Hauterkrankungen ist es wichtig, die Wellenlänge des Lichts und die Dosis exakt zu kontrollieren. Und da kommen die neuen UVB LEDs ins Spiel. Das schmalbandige Spektrum und keine Aufwärmzeiten bringen enorme Vorteile gegenüber traditionellen Lichtquellen. Des Weiteren machen Kompaktheit, geringes Gewicht, einfache Handhabung und kleiner Stromverbrauch es möglich, die Therapie zu sich nachhause zu bringen.

Positiven Einfluss durch UVB-Licht hat man ebenfalls auf Depressionen, Jet-Lag und Schlafstörungen nachgewiesen. Gerade die mentalen Krankheiten spielen eine immer wichtigere Rolle in unserem dynamischen Leben. Diffus streuende UVB LED Lampen oder gezielte und wohl dosierte Beimischung von UVB zum Raumlicht sind nur wenige der sich eröffnenden Möglichkeiten, dagegen zu wirken. Nicht nur in Skandinavien sind die extra-Lichtportionen im Winter lebensnotwendig. Wenn es nicht Nebel oder Regen ist, der uns das Sonnenlicht vorenthält, dann ist es der Büroarbeitsplatz. Ein kleines Stück der Sonne ins Haus holen – unbezahlbar!

UVC (200 nm - 280 nm)

Trinkwassergewinnung durch Wasserentkeimung. Der Mensch kann viele Tage ohne Nahrung überleben, aber nur wenige ohne Wasser. So ist Trinkwasser das wichtigste Nahrungsmittel, und Wasser gibt es genug: ein Würfel mit allem Wasser der Erde hätte eine Kantenlänge von 1180 Kilometern [6]. Nur wenige Promille davon stehen als Süßwasser und somit als potentielles Trinkwasser zur Verfügung. Trinkwasser ist aufbereitetes Süßwasser und hat einen hohen Reinheitsgrad. Es ist ungefährlich zum Verzehr einsetzbar, ohne Schadstoffe oder krankheitserregende Mikroorganismen und beinhaltet im Idealfall sogar Mineralstoffe.

Nicht überall ist Trinkwasser in ausreichenden Mengen zugänglich: In manchen Regionen ist das Süßwasser verunreinigt oder stammt aus Niederschlägen. Verschmutztes Wasser kann zu Krankheiten, auch mit Todesfolge, führen. Damit es sich für den Verzehr eignet, muss es aufbereitet und entkeimt werden. Ein sehr anspruchsvolles Ziel gerade in den bevölkerungsreichsten, aber medizinisch und hygienisch stark benachteiligten Regionen der Erde wie Afrika oder Indien!

Ein zur Entkeimung eingesetztes Verfahren ist Bestrahlung mit UV Licht, geschmacksneutral, ohne Veränderung der chemischen Zusammensetzung. Der UVC Anteil entspricht den Wellenlängen 100 – 280 nm. Diese sehr kurzwellige Strahlung wird durch die Erdatmosphäre absorbiert, gelangt also nicht an die Erdoberfläche, ist also nur künstlich herstellbar. Speziell 250 - 280 nm gelten als germizid, sprich, keimtötend: das UVC Licht wird von der DNA der Mikroorganismen absorbiert und dadurch zersetzt. Keine Reproduktion ist mehr möglich, Viren und Keime werden ausgelöscht. Untersuchungen von Prof. Dr. Ralf Hellmann, FH Aschaffenburg, zeigten, dass bei der Beleuchtung mit der Wellenlänge 280 nm die Entkeimungseffizienz für alle von ihm untersuchten Bakterienarten am höchsten war: untersucht wurden Escherichia Coli, Enterobacter Cloacae und Kebsiella Pneumoniae [7].

UVC LEDs sind die ideale Lichtquelle dafür. Häufig werden als UV-C Lichtquellen Quecksilberdampflampen eingesetzt. Diese sind jedoch groß, benötigen anspruchsvolle Stromquellen, beinhalten giftiges Quecksilber, strahlen nicht nur bei 280 nm ab, Geräte müssen intensiv gewartet und die Lampen oft ausgewechselt werden. UVC LED hat nicht nur geringe Abmessungen. Sie kann mit Gleichstrom betrieben und somit unmittelbar an Solarzellen angeschlossen werden. Damit lassen sie sich ortsunabhängig einsetzen - also auch in Gebieten, ohne zuverlässige Elektrizitätsversorgung, aber mit viel Sonnenlicht.

Zusammenfassung

UV LEDs werden immer mehr zu einem ernsthaften Vertreter der UV Licht Quellen. Die aktuelle Effizienz und Lebensdauer sind absolut konkurrenzfähig, vor allem durch die mobile Point-of-Use-Einsatzfähigkeit: langfristig wäre sogar der Einsatz in den Wasserhähnen nicht mehr aus der Luft gegriffen. Einfache Handhabung, Sofortbereitschaft nach dem Einschalten und Fehlen jeglicher Gefahrenstoffe sind weitere Vorteile dieser modernen und innovativen Technologie.

[1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Quecksilberdampflampe>

[2] Yole report UV LEDs, 2015

[3] www.iphone-support.de/wissens-wiki/displayvollverklebung/index.html

[4] de.wikipedia.org/wiki/Strahlenh%C3%A4rtung; Version vom 02.02.2015

[5] de.wikipedia.org/wiki/Komposit_%28Zahnmedizin%29; Version vom 02.02.2015

[6] <http://lexikon.wasser.de/index.pl?begriff=Wasservorkommen&job=te>

[7] elektor Special Project: LEDs 2, S.40 ff, www.h-ab.de/uploads/media/WasserentkeimungUV.pdf