



Mögliches Verbot einiger UV-Lampentypen in der Europäischen Union ab 2027?

Fraunhofer Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung

Innovationshub „Smarte UV-Systeme“

Am Vogelherd 90
98693 Ilmenau

Ansprechpartner:

Thomas Westerhoff
Telefon +49 3677 461-107
suvs@iosb-ast.fraunhofer.de
www.iosb-ast.fraunhofer.de

Gesundheitsgefahr Quecksilber

Quecksilber ist ein hochtoxisches Element, von dem erhebliche gesundheitliche Gefahren ausgehen. Als Neurotoxin verursacht es bleibende Hirn- und Nierenschäden. Zudem wirkt es sich auf die fötale und frühkindliche Entwicklung negativ aus.

Es wurde daher von der EU, basierend auf der Minamata-Konvention der Vereinten Nationen, als lebensgefährlich bei Einatmung und schädlich für Organe und Umwelt eingestuft. Forscher prognostizieren, dass der Quecksilbergehalt in den Weltmeeren bis 2050 auf das Fünffache der Werte aus dem 16. Jahrhundert ansteigen könnte, wenn keine wirksamen Maßnahmen zur Reduzierung des Quecksilberausstoßes ergriffen werden. Meeresfisch, insbesondere Aale und Thunfische, sind heute schon so stark mit Quecksilber belastet, dass insbesondere Schwangeren empfohlen wird, auf diesen zu verzichten.

In Anbetracht der Gefahren, die von Quecksilber für Menschen und Umwelt ausgehen und den steigenden Konzentrationen in der Umwelt, hat die EU bereits 2005 eine Quecksilber-Strategie ausgearbeitet, die 2010 überarbeitet wurde. Deren Ziel ist es, gesundheitsschädliche quecksilberhaltige Lampen durch energieeffizientere Beleuchtungsalternativen schrittweise zu ersetzen. Das Übereinkommen von Minamata wird seit dem 1. Januar 2018 durch die Quecksilber-Verordnung 2017/852 der Europäischen Union

umgesetzt. Mittlerweile wurde die Verordnung aktualisiert. Die angepasste Quecksilber-Verordnung 2024/1849 wird seit dem 13. Juni 2024 umgesetzt. Bisher sind 151 Ländern dem Übereinkommen beigetreten; der aktuelle Beitrittsstand der Vertragsstaaten ist auf der Webseite der UN zu finden.

Hintergrund: Die EU-Verordnung 2017/852 legt fest, dass viele quecksilberhaltige Produkte nicht mehr hergestellt, importiert und ausgeführt werden dürfen. Die Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments dient darüber hinaus der Beschränkung von bestimmten gesundheitsschädlichen Rohstoffen, die in Elektronik- und Elektrogeräten verwendet werden.

Stand Anfang 2025

Während in den vergangenen Jahren bereits viele quecksilberhaltige Leuchtmittel wie Energiesparlampen sowie Leuchtstofflampen für die Raumbeleuchtung bereits vom Markt genommen wurden bzw. nur noch bestehende Lagerbestände verkauft werden dürfen, besteht derzeit für quecksilberhaltige



Dampfentladungslampen für Desinfektionszwecke im UV-Bereich noch eine Ausnahmeregelung bis zum 24. Februar 2027. Aktuell ist nicht sicher, ob und in welcher Form diese Ausnahmeregelung noch ein weiteres Mal verlängert wird. Denn insbesondere für Desinfektionsanwendungen setzen sich jedoch UVC-LEDs immer mehr durch wodurch eine Alternativtechnologie für bestimmte Anwendungen bereits verfügbar ist. Derzeit im Vergleich zu quecksilberhaltigen Leuchtmitteln vermeintlich teurer, können sie jedoch in puncto Strahlungsleistung mit diesen durchaus mithalten und übertreffen diese sogar durch andere mögliche Emissionswellenlängen in ihrer Desinfektionswirkung deutlich. Im Nachfolgenden sollen diverse Narrative genauer unter die Lupe genommen werden.

Vorteile von UVC-LEDs

UVC-LEDs bieten heute schon gegenüber klassischen Quecksilberstrahlungsquellen mehrere entscheidende Vorteile.

UVC-LEDs lassen sich im Herstellungsprozess in ihrer Wellenlänge variieren. Dies ist bei klassischen Gasentladungslampen nicht möglich. Durch eine Verschiebung der Emissionswellenlänge und einer Verbreiterung des Spektrums steigt jedoch die Desinfektionseffizienz stark an. Bei manchen Mikroorganismen kann so bei gleicher Bestrahlungsdosis teilweise eine ein bis zwei log-Stufen (Faktor 10-100) höhere Inaktivierung erreicht werden. Auch lassen sich verschiedene Wellenlängen in einem LED-Array

kombinieren und so die Effizienz von reiner DNA-Schädigung der Mikroorganismen auch auf andere Wirkmechanismen (z.B. Protein-schädigung) erweitern.

Klassische UV-Lampen haben meist die Form langer zylindrischer Röhren. Dies schränkt die Freiheiten im effizienten Reaktordesign deutlich ein. UVC-LEDs sind hingegen kleine Punktstrahler, die sich nicht nur auf planaren Arrays, sondern auch dreidimensional auf gekrümmten Oberflächen platzieren lassen. So kann die Abstrahlcharakteristik optimal an das Desinfektionsproblem angepasst werden. Die Abstrahlung kann durch kleine kostengünstige Linsen für jede Einzel-LED weiter variiert und optimiert werden. Bei klassischen Lampen kann hier nur eingeschränkt mit großflächigen Reflektoren gearbeitet werden.

UVC-LEDs lassen sich schnell schalten und altern im Gegensatz zu klassischen Lampen durch diese Schaltzyklen nicht. Insbesondere in der Point-of-Use-Desinfektion (z.B. direkt am Wasserhahn) bietet dies enormes Energieeinsparpotential, da UVC-LEDs nur dann eingeschaltet werden, wenn Wasser entnommen wird. Klassische Lampen laufen hier in der Regel 24/7 durch und verbrauchen dabei Unmengen an elektrischer Energie.

UVC-LEDs erreichen auf ihrer Oberfläche sehr hohe Intensitäten von bis zu 10 W/cm². Dies kann die Größe von Reaktoren bei gutem Design deutlich verkleinern.

UVC-LEDs arbeiten im Niederspannungsbereich, wodurch die elektrische Sicherheit eines UV-Systems erhöht wird. Dies ist gerade bei

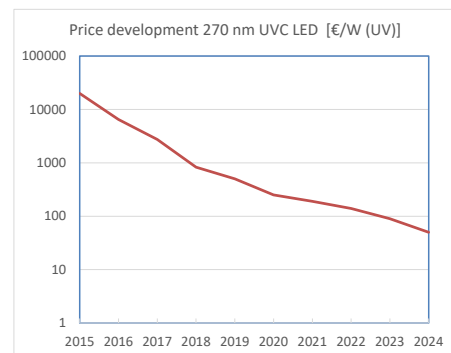
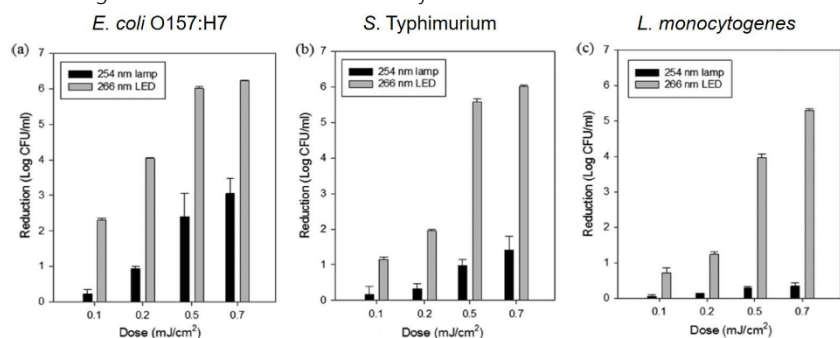
medizinischen Anwendungen wichtig, da hier oft eine Grenze von 48V eingehalten werden muss.

Ein Einsatz von LEDs direkt im Wasser ist mit entsprechenden hochisolierenden Beschichtungen ebenfalls möglich, wobei das Wasser oder ein anderes zu desinfizierendes Medium effektiv zur Kühlung verwendet werden kann. Der Einsatz teurer Hüllrohre ist hier nicht mehr nötig.

Sind LEDs wirklich zu teuer?

Oft wird argumentiert, dass UVC-LEDs noch zu teuer seien und sich LED-basierte Systeme daher kaum verkaufen ließen. Dies stimmt jedoch nur eingeschränkt. Die Vorteile von UVC-LEDs überwiegen heute schon die Nachteile des Preises. Lediglich die momentan geringe Verfügbarkeit ist problematisch. Beides wird aber entfallen, sobald die Nachfrage steigt. Bei höheren geforderten Stückzahlen und besserer Auslastung der Produktionslinien wird der Preis deutlich sinken.

In den letzten Jahren ist der Preis pro Watt UV-Strahlung aus UVC-LEDs drastisch gesunken. Während vor 10 Jahren ein Watt UV-Strahlung (bei 265nm) aus einer UVC-LED noch gut 20.000 € kostete, sind es heute nur noch knapp 50 €. Die Abnahmemenge (Staffelpreise) beim Lieferanten spielt für Fertiger ebenfalls eine entscheidende Rolle. Seit Oktober 2024 sind UVC-LEDs mit 150 mW optischer Leistung bei einer Wellenlänge von 265 nm für etwa 7 €/Stück bei einer Abnahmemenge von 10.000 Stück lieferbar.





Durch die bereits beschriebene teilweise deutlich höhere mikrobiologische Desinfektionseffizienz benötigen UVC-LED-Systeme aber eine geringere Bestrahlungsdosis und damit auch weniger optische Leistung als klassische Quecksilberlampen, was den Preis bezogen auf die Desinfektionseffizienz nochmal deutlich senkt. Ebenso ist zu beachten, dass bei Quecksilberlampen die Leistungsangabe immer als elektrische Leistung erfolgt. Bei UVC-LEDs wird hingegen immer die optische Leistung angegeben. Dies führt oft zu Verwirrungen bei der Preisbewertung im Vergleich der Technologien.

Ist der Gesamtsystempreis ohnehin hoch, zum Beispiel bei Medizinprodukten, spielt ein höherer Preis der Strahlungsquelle ohnehin keine Rolle. In vielen Bereichen der klinischen Desinfektion kann UV-Strahlung wesentlich effizienter und vor allem kostengünstiger zur Desinfektion eingesetzt werden als Desinfektion mit chemischen Mitteln. Bei Letzteren fallen hohe Verbrauchsmittelkosten an. Zudem gelangen Desinfektionsmittel oft ins Abwasser und die Umwelt, wo sie Folgeschäden verursachen.

Weitere Performancesteigerungen sind durch das beschriebene optimiertes Reaktordesign möglich. Hier bieten UVC-LEDs eine wesentlich größere Flexibilität als klassische Systeme.

Die Situation lässt sich mit der Diskussion über Verbrenner- und Elektroautos vergleichen. Auch hier steht eine neue Technologie in Konkurrenz zu einer alten, etablierten. Die Technik bei Verbrennern ist ausgereift und kaum noch effizienter zu machen. Elektrofahrzeuge hingegen sind in vielen Parametern deutlich besser als Verbrenner. Lediglich bei der Reichweite, Gewicht und Preis liegen sie derzeit noch hinter der alten Technologie zurück. Dennoch setzen heute schon viele Menschen auf Elektroautos, obwohl deren Anschaffung teuer ist. Diese Kosten werden aber durch geringere Betriebskosten im Lebenszyklus wieder kompensiert. Der Anschaffungspreis ist eben nicht das entscheidende Kriterium. Elektrofahrzeuge werden steuerlich günstiger gestellt und durch die CO₂

Abgabe der wird Kraftstoff für Verbrenner schrittweise verteuert.

Diese Mittel der Verteuerung der alten Technologie durch eine Sonderabgabe stünde der EU auch in Bezug auf klassische Quecksilberlampen zur Verfügung. So kann Druck auf den Markt für eine schnellere Transformation ausgeübt werden.

Wie könnte die EU entscheiden?

Dass die LED das Strahlungsmittel der Zukunft ist, ist unbestritten. Da sie heute schon in kleineren Desinfektionssystemen, insbesondere in der Point-of-Use Wasserdeseinfektion als auch portablen Oberflächendesinfektionssystemen erfolgreich eingesetzt werden, ist zu vermuten, dass für solche Systeme die Ausnahmeregelung nicht verlängert wird und diese dann ab dem 24. Februar 2027 nur noch mit LEDs betrieben werden dürfen. Für größere Systeme, wie sie beispielsweise in Anlagen mit Mitteldrucklampen der kommunalen Wasseraufbereitung zu finden sind, ist derzeit aus wirtschaftlichen Gründen noch kein Einsatz von LEDs sinnvoll. Hier dürfte die Ausnahmeregelung für derartige Lampen auf Antrag nochmals verlängert werden, was ein paar weitere Jahre Zeitraum für Neuentwicklungen verschafft. Doch aufgeschoben ist nicht aufgehoben. Anträge auf Verlängerung der Ausnahmeregelung können zusammen mit einer schlüssigen Begründung bis zum 23.08.2025 bei der zuständigen EU-Behörde eingereicht werden.

Was bedeutet es für Lampenhersteller?

Die Hersteller der möglicherweise betroffenen Lampentypen stehen vor dem nicht zu unterschätzenden Problem, dass ihr Geschäftsmodell komplett wegbricht. Ein Auslaufen der Ausnahmeregelung würde bedeuten, dass sie diese Lampen nicht mehr herstellen dürfen. Es ist zu erwarten, dass diese Hersteller mit allen Mitteln und Argumenten versuchen werden, die Ausnahmeregelung erneut zu

verlängern. Reine Lampenhersteller sollten jedoch eine Transfer- oder Exitstrategie entwickeln.

Retrofit oder neue Systeme?

Ihr volles Potential spielen UVC-LEDs nur in neuen, an sie angepassten Systemen aus. Ob für bestehende Anlagen eine Retrofit-Lösung sinnvoll ist, kann pauschal nicht beantwortet werden. Retrofit bedeutet, dass LED-Strahler entwickelt werden müssten, die bei gleichen elektrischen Anschlussbedingungen eine Röhrenform haben. Hier ist jedoch das größte Problem die Kühlung der LEDs. Im Gegensatz zu Quecksilberlampen, die eine höhere Temperatur benötigen, um effizient zu laufen, sind bei LEDs niedrige Temperaturen vorteilhafter. Hohe Temperaturen beschleunigen die Alterung. Als Systemhersteller wird man sich aber vor dem Hintergrund der Menge Ihrer Systeme in der täglichen Anwendung entscheiden müssen, ob die bisherigen Strahlungsquellen in einem vergleichbaren Formfaktor (Retrofit) durch UVC-LEDs ersetzt werden können, sobald ihre Lampen das Lebensende erreicht haben. Es dürfte ausgeschlossen sein, dass sich alle Kunden zeitnah neue LED-basierte Anlagen anschaffen werden. Ein mögliches Szenario wäre, das sich die EU dazu entschließt, Bestandsanlagen noch eine gewisse Zeit mit bereits produzierten klassischen Lampen (bereits produzierten Lagerbeständen) versorgen zu lassen, bei Neusystemen jedoch auf den Einsatz von LEDs drängt.

Was sollten Gerätehersteller tun?

Als Gerätehersteller von klassischen Desinfektionssystemen bedeutet ein mögliches Auslaufen der Ausnahmeregelung einen dringenden Handlungsbedarf. Es besteht nicht die Frage, ob das Verbot kommt, sondern wann. Jedes Unternehmen, welches rechtzeitig handelt (First Mover) und neue Produkte entwickelt, hat entscheidende Marktvorteile. Oft muss bisheriges,



langjährig erarbeitetes Knowhow über Bord geworfen werden, da das Design eines UVC-LED-Desinfektionssystems sich grundlegend von dem klassischer Systeme mit Quecksilberlampen unterscheidet. Schon beim Raytracing während des Reaktordesigns muss vom Flächenstrahler zu Punktstrahlern, die je nach verwendetem LED-Typ unterschiedliche Abstrahlcharakteristiken haben, umgedacht werden. Einfache, vielleicht bisher noch praktikable Berechnungskonzepte mittels Excel sind hier nicht mehr anwendbar. Es bedarf komplexerer Simulationsmethoden, bei denen nicht nur das Raytracing, sondern zum Beispiel auch bei der Luft- und Flüssigkeitsdesinfektion die Fluidodynamik an das Strahlungsfeld gekoppelt simuliert werden muss. Im Gegensatz zu klassischen Lampen sollten LEDs möglichst gut gekühlt werden. Daher sind auch thermische Simulationen des Systems im Entwicklungsprozess unabdingbar. Belohnt wird der Aufwand jedoch mit kompakteren, gut optimierten und langlebigen Systemen, die durch flexiblere Reaktorgeometrie völlig neue Möglichkeiten bieten.

UV-LED Forschung bei Fraunhofer?

Die Forschungsgruppe „Smarte UV-Systeme“ am Fraunhofer Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung forscht seit mehr als 10 Jahren am praktischen Einsatz von UV-LEDs in unterschiedlichsten Anwendungen. Wir verfügen über ein gut ausgestattetes UV-Labor, welches speziell auf UV-LED-Anwendungen ausgelegt ist. Ebenso sind wir in der Lage, mittels multiphysikalischer Simulation auch komplexe Systemgeometrien unter allen Aspekten (Strahlungsfeld, Strömungsmechanik, Thermodynamik) zu simulieren und zu optimieren. Kenntnisse zur mikrobiologischen Desinfektionseffizienz unterschiedlicher Emissionswellenlängen sowie zu Materialverträglichkeit und Alterungseffekten nutzen wir für effizientes und langlebiges Systemdesign. Weiterhin bieten wir auch

Messdienstleistungen wie spektrale und goniometrische Vermessung von Strahlungsquellen, Transmissions- und Reflexionsmessungen im UV-VIS-Bereich zwischen 200 nm und 830 nm sowie FTIR-Analysen an. Die Entwicklung und das Design von UVC-LED-Treibern und anderen Elektronikern gehören in unser Repertoire.

Wir unterstützen Sie gern, die Transformation von quecksilberhaltigen Strahlungsquellen hin zur umweltfreundlichen LED-Technologie in Ihren Produkten erfolgreich zu vollziehen.

Quellen

<https://worldoceanreview.com/en/work/pollution-of-the-oceans/a-problem-of-immense-scale/>

<https://minamataconvention.org/en>

<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2011/65/2024-08-01>

<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/852/2024-07-30>

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_20240184_9

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/chemische-stoffe/haeufige-fragen-zu-quecksilber#wie-sehr-ist-die-umwelt-durch-quecksilber-belastet>

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.024>

<https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1144798>

<https://doi.org/10.2166/wh.2010.124>