

# Innovationen bei der Nutzung von UV-C-Licht zur Desinfektion und Prävention von Infektionen (insbesondere mit SARS-CoV-2)

Themenkurzprofil Nr. 50 | Sonja Kind | Februar 2022

Im Zuge der aktuellen Coronapandemie stellt sich – jenseits der Entwicklung von Impfstoffen – die Frage, welche Technologien helfen können, das aktuelle weltweite Infektionsgeschehen sowie zukünftige vergleichbare Entwicklungen effektiv und rasch einzuhegen. Technologien unter Nutzung ultravioletter (UV)-C-Strahlung bieten eine Lösung, kontaminierte Oberflächen, Luft oder Flüssigkeiten zu desinfizieren. Die Nutzung von UV-C-Licht kann zukünftig ein wichtiger Faktor sein, um die rasche Ausbreitung von Viren wie SARS-CoV-2 zu unterbinden.

UV-C-Licht ist seit Langem bekannt dafür, viruzid zu sein, also Viren zu inaktivieren. Diese Eigenschaft wird bislang beispielsweise zur Desinfektion von Schwimmbekkenwasser genutzt. Eine grundsätzliche Einschränkung bei der Nutzung resultiert daraus, dass UV-C-Licht auch für menschliche Gewebe (speziell Haut und Augen) sehr schädlich ist und daher nicht in Räumen genutzt werden kann, in denen sich Personen aufhalten. Dementsprechend lassen sich Oberflächen in einem Raum zwar effektiv desinfizieren, aber nur, solange keine Personen anwesend sind.

Die Coronapandemie wurde zum Antreiber der Nutzung auf UV-C basierender Desinfektionstechnologien. Dabei wurden neben Produkten für die professionelle Anwendung vermehrt auch Geräte für den privaten Gebrauch angeboten. Allerdings bestehen insbesondere bei offenen UV-Leuchten für Verbraucher/innen Risiken der Falschanwendung.

Auch zukünftig werden die größten Marktpotenziale im Bereich professioneller Anwendung erwartet, und zwar primär für die Desinfektion von Wasser sowie für die Bekämpfung von Krankenhauskeimen. Zum Einsatz könnten statt der bislang vorherrschenden

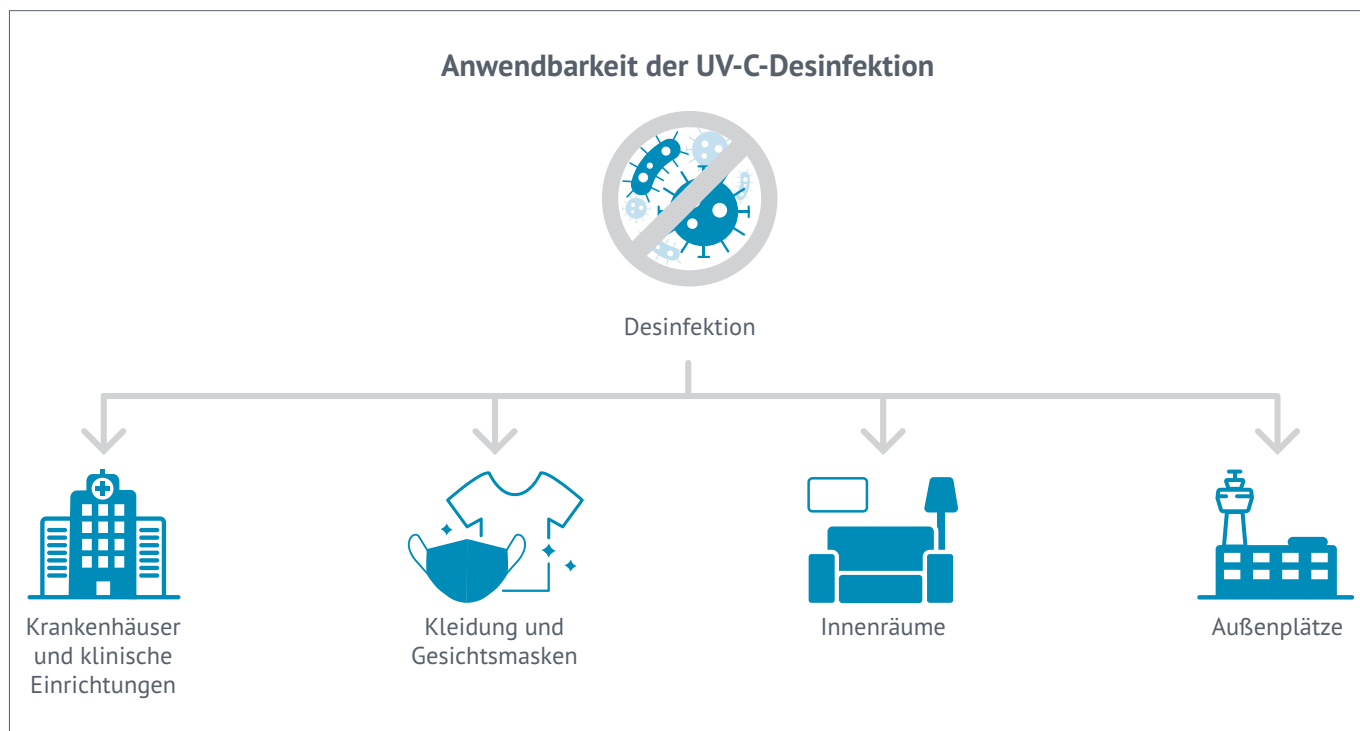
Quecksilberdampflampen vor allem innovative UV-C-LEDs kommen, da sie ungiftig und kleiner sind. Auch die Nutzung leicht verringerter Wellenlängen könnte die Schädlichkeit für Menschen deutlich reduzieren und so Anwendungen zur Oberflächen- und Luftdesinfektion in Räumen mit anwesenden Personen möglich machen. Belastbare Studien zur langfristigen Unschädlichkeit verschiedener Wellenlängen für die menschliche Haut liegen aber noch nicht vor.

UV-C-LEDs sind derzeit noch nicht kommerziell verfügbar und es bedarf noch weiterer Forschung und Entwicklung, damit die Marktpotenziale genutzt werden können. Es fehlt an Daten, welche Wellenlängen, Bestrahlungsdosen und -zeiten für verschiedene denkbare Anwendungen von UV-C-Lampen gegen das Coronavirus SARS-CoV-2 am besten geeignet sind; auch müssen Lebensdauer und Leistung noch erhöht werden.

## Hintergrund und Entwicklungsstand

Desinfektion ist eine wichtige Hygienemaßnahme, die dazu dient, die Verbreitung von Krankheiten zu vermeiden, indem Pathogene – beispielsweise Bakterien, Viren, Parasiten und Pilze – abgetötet oder inaktiviert werden. Ziel laut dem Deutschen Arzneibuch (DAB) ist es, dass „totes oder lebendes Material in einen Zustand versetzt [wird], dass es nicht mehr infizieren kann“ (BfArM 2020). Desinfiziert werden neben Händen und Haut Oberflächen jeglicher Art, außerdem verwendete Instrumente und Geräte, Wäsche und ganze Räume sowie Lebensmittel oder Abfälle. Für die Desinfektion von Oberflächen kommen in der Regel physikalische Verfahren (z.B. Hitze, Auskochen, Strahlung) oder Chemikalien wie Oxidationsmittel und Alkohole zum Ein-

## Anwendbarkeit der UV-C-Desinfektion



satz. Flüssigkeiten können zudem über Filtration mithilfe von Membrantechnologien entkeimt werden. Abhängig vom Erreger und den zu desinfizierenden Bereichen kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz.

Die Krankenhaushygiene und die ambulante medizinische Versorgung sind der Kernbereich für Desinfektionsanwendungen zur Infektionsprävention (RKI 2019). Dabei stellt die Zunahme antibiotikaresistenter Keime in den vergangenen Jahren immer größere Anforderungen an ein effektives Desinfektions- und Hygienemanagement (Management & Krankenhaus 2021). Darüber hinaus ist die Desinfektion in öffentlichen Räumen wie Flughäfen, im ÖPNV oder von Einkaufszentren ein wichtiger Bereich der Infektionsprävention. Zuletzt hat die Coronapandemie einen sehr großen Bedarf an Hygiene- und Desinfektionsmaßnahmen erzeugt und enorme zusätzliche Aufmerksamkeit auf das Thema gelenkt (Bhardwaj et al. 2021). Die Händedesinfektion gehört zu den vier Grundmaßnahmen zur Eindämmung von SARS-CoV-2 (neben Abstandhalten, dem Tragen von Masken sowie regelmäßigem Lüften von Räumen).

### UV-Strahlung ist in der Desinfektion bewährt und auch wirksam gegen Coronaviren

In den letzten Jahren wurden verschiedene physikalische und chemische Verfahren für die Virusinaktivierung erprobt und weiterentwickelt, wie der Einsatz elektromagnetischer Wellen (neben UV- z.B. auch die energiereichere Gamma-Strahlung), eine Behandlung mit Ozongas oder die Verwendung von Chemikalien wie Jod, Wasserstoffperoxid und kaltes Plasma (ionisierte Luft). UV-C-Licht gilt als vielversprechend für die Abtötung von Viren und wird zurzeit besonders für den Einsatz gegen Coronaviren diskutiert (Bhardwaj et al. 2021). Die antimikrobielle Wirkung von ultravioletter Strahlung ist schon lange bekannt und wird

seit Jahrzehnten in der Wasseraufbereitung und in Krankenhäusern zur Abtötung von Keimen eingesetzt (ZVEI 2021, S.4). Die Verwendung von UV-C-Strahlung ist eine validierte Vorgehensweise zur Desinfektion von Pathogenen nicht nur auf verschiedenen Oberflächen, sondern auch von Raumluft und zur Wasseraufbereitung. Teilweise wird UV-C-Strahlung auch zur Entkeimung von Lebensmitteln eingesetzt (Kowalski 2009). Besonders wirksam zeigt sich die UV-Bestrahlung gegen Erreger von Cholera, Polio, Typhus und Hepatitis (TrojanUV o.J.). War die Technik der UV-C-Desinfektion zwischenzeitlich etwas aus der Mode, erlebt sie gerade durch neue Lichtquellen und Anwendungsmöglichkeiten insbesondere gegen Coronaviren einen Boom (Budinger 2020).

### UV-C-Licht beschädigt die Erbsubstanz von Keimen und verhindert deren Vermehrung

Ultraviolette Strahlung ist für das menschliche Auge unsichtbar. Das ultraviolette Spektrum wird in die Bereiche UV-A, UV-B und UV-C mit unterschiedlichen Wellenlängen unterteilt (Heßling et al. 2020).

Spektralbereiche von UV-Licht	Wellenlänge
UV-A	400 bis 315 nm
UV-B	315 bis 280 nm
UV-C	280 bis 100 nm

Quelle: ZVEI 2021

Die UV-Strahlung beschädigt die Nukleinsäuren von Mikroorganismen und verhindert so deren Reproduktion. Das UV-C-Spektrum reicht von einer Wellenlänge von 100

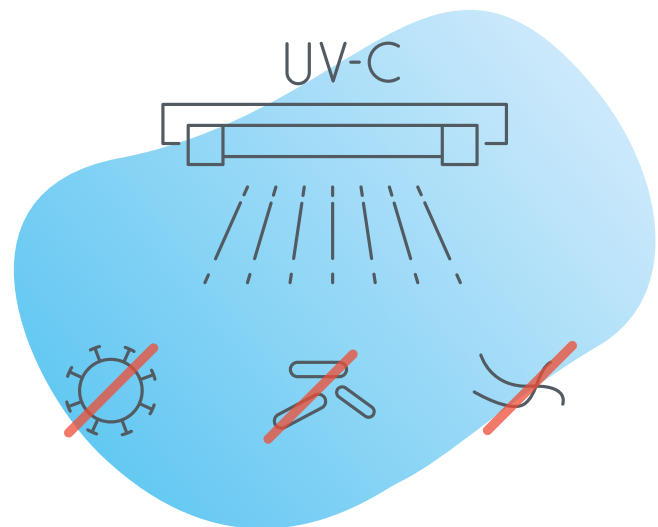
bis 280 nm und hat eine keimabtötende Wirkung (Raeiszadeh/Adeli 2020). Die kurzwellige UV-C-Strahlung wird von RNA oder DNA absorbiert. Dabei können zwischen benachbarten Nukleotiden Doppelbindungen gelöst und Dimere (zwei fest miteinander verknüpfte Moleküle) zwischen benachbarten Basenpaaren erzeugt werden (Asmuss et al. 2021, S.70). Nukleinsäuren absorbieren das Licht im UV-Bereich von ca. 180 bis 300 nm, wobei das Absorptionsmaximum von DNA/RNA bei einer Wellenlänge von 260 bis 265 nm liegt (ZVEI 2021, S.5). Die zu Desinfektionszwecken genutzte Wellenlänge liegt in der Regel bei 254 nm (Asmuss et al. 2021, S.71). Dies entspricht der maximalen Strahlungsintensität der üblicherweise eingesetzten Quecksilberlampen. Hier zeigte UV-C Licht bislang das größte Potenzial, Viren in der Luft, in Flüssigkeiten oder auf Oberflächen zu reduzieren (Bhardwaj et al. 2021).

### Künstliche Quellen zur Erzeugung von UV-C-Licht

UV-C-Strahlung auf der Erde wird stets von künstlichen Quellen erzeugt. Die natürliche, von der Sonne emittierte UV-C-Strahlung hingegen wird von der Erdatmosphäre absorbiert (BfS 2021). Es gibt verschiedene künstliche UV-C-Strahlungsquellen, die sich im Wesentlichen durch die jeweilige abgestrahlte UV-C-Wellenlänge unterscheiden (Asmuss et al. 2021; ZVEI 2021).

Die älteste und bislang gebräuchlichste Quelle für UV-C-Strahlung sind **Quecksilberniederdruckentladungslampen**. Es gibt sie als Leuchtstofflampen in Röhrenform oder kompakt als Glühbirne. Die Niederdruckentladungslampen haben ein bläuliches Leuchten und eine Strahlungsausbeute von 30 bis 40%. Fast 85% der Gesamtstrahlung wird bei 254 nm emittiert. Demgegenüber haben Hochdruckentladungslampen eine größere Bandbreite der UV-C-Strahlung. Sie werden oftmals im industriellen Bereich, z.B. bei der Wasseraufbereitung, eingesetzt. Beide Lampentypen zählen zu den Gasentladungslampen, die sich durch ihre Druckstärken in der Röhre (Entladungsgefäß) unterscheiden. Ein großer Nachteil der Nieder- und Hochdruckentladungslampen besteht vor allem im Einsatz des giftigen Elements Quecksilber.

Eine weitere Variante sind **Xenonlampen**, die, mit einem entsprechenden Filter versehen, hauptsächlich UV-C-Licht emittieren können. Ihr Einsatzgebiet liegt vorwiegend in Krankenhäusern, etwa zur Desinfektion von Operationsälen. Ein weiterer Lampentyp ist die **Excimerlampe** (Kofferwort aus „excited“ [angeregt] und „dimer“ [Molekülverbund]), ebenfalls eine Niederdruckentladungslampe, die mit dem Gas Kryptonchlorid gefüllt ist. Die Strahlungsintensität überwiegt bei 222 nm. Diese Wellenlänge zählt zum Far-UV-C-Licht mit einem Spektrum zwischen 207 und 222 nm. Die Strahlungsausbeute der Excimerlampen liegt mit 8% allerdings deutlich unter der von Quecksilberniederdruckentladungslampen. Zukünftig verstärkt eingesetzt werden könnten **UV-C-LED** auf Basis von Aluminiumgal-



liumnitrid (ZVEI 2021, S.5f.). Die typische Wellenlänge liegt bei 270 bis 280 nm. Nachteile der UV-C-LED bestehen noch in der geringen Bandbreite, der Strahlungsausbeute von maximal 5% und einer geringen Bestrahlungsfläche (FDA 2021). Es wird seit einigen Jahren an der Verbesserung der Eigenschaften von UV-C-LED geforscht, in Deutschland u.a. im von 2013 bis 2021 vom BMBF geförderten Projekt „Advanced UV for Life“<sup>1</sup> unter Beteiligung von fast 50 Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft (BMBF o.J.a). 2021 wurde verkündet, neue UV-LEDs zur Marktreife gebracht zu haben (BMBF o.J.b).

### Professionelle und konsumentennahe UV-C-Systeme zur Oberflächen- oder Luftentkeimung

Erreger werden im Alltag insbesondere durch den Kontakt mit Oberflächen und die Einatmung von Aerosolen weitergegeben. Daher steht die Entkeimung von Oberflächen und von Luft im Mittelpunkt von desinfizierenden UV-C-Anwendungen. Für die **Oberflächenentkeimung** stehen sowohl freistrahrende als auch geschlossene Systeme zur Verfügung. Bei den freistrahrenden Systemen treffen die UV-C-Strahlen ungehindert auf die Oberflächen. Räumlichkeiten wie Konferenzräume, Theater, Restaurants oder Aufzüge werden zur Desinfektion mit UV-C-Strahlung ausgeleuchtet. Die Geräte können stationär sein oder mobil betrieben werden (z.B. fahrende Roboter, Indoordrohnen<sup>2</sup>). Diese Vorgehensweise erfordert allerdings besondere Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz von Menschen und Tieren. Demgegenüber bieten geschlossene Systeme einen größeren Schutz. Typische Anwendungen finden sich in der Lebensmittelindustrie, wo Produkte über Laufbänder durch geschlossene Bereiche transportiert und bestrahlt werden. Neuere Anwendungen bestehen in der Desinfektion von Rolltreppenhandläufen (ZVEI 2021). Für die **Luftentkeimung** stehen ebenfalls verschiedene Systeme zur Verfügung, darunter fest im Gebäude verbaute

1 <https://www.advanced-uv.de> (22.2.2022)

2 <https://digitalaerolus.com/aertos-120-uv-c-disinfection-drone/> (22.2.2022)

raumluftechnische Anlagen, bei denen eine UV-C-Strahlungsquelle in einem geschlossenen Lüftungskanal angebracht wird. Daneben gibt es mobile oder dezentrale Luftentkeimungsgeräte, die als mobile Standgeräte oder stationär an der Wand oder Decke zum Einsatz kommen. Die Luft wird durch die Geräte geführt und nach der Entkeimung mit UV-C-Strahlung wieder zurück in den Raum geleitet. Zusätzlich zu diesen geschlossenen Systemen existiert ein offenes Upper-Air-Desinfektionssystem, bei dem mittels eines unter der Decke montierten Geräts die oberen Luftschichten im Raum desinfiziert werden. Die natürliche Bewegung der Luft lässt diese permanent an dem Gerät vorbeiströmen (ZVEI 2021). Allerdings besteht hier im ungünstigen Fall die Gefahr einer Reflexion von Strahlung in den Raum.

Im Zuge der Coronapandemie wurden neben diesen professionellen Geräten zunehmend Geräte für Privatanwendungen zum Verkauf angeboten. Typische Produkte sind UV-C-Raumlampen mit offener Strahlung zur Desinfektion von Privaträumen, UV-C-Taschen und -Boxen etwa zur Sterilisation von Mobiltelefonen oder Brillen sowie UV-C-Handlampen, mit denen über eine offene Strahlung Bereiche ausgeleuchtet werden können. Überdies werden auch immer mehr Haushaltsgeräte wie Kühlschränke, Wäschetrockner, Deckenventilatoren<sup>3</sup> oder Babyflaschenreinigungsgeräte mit UV-C-Funktionalitäten ausgestattet (Fox 2021).

## Gesellschaftliche und politische Relevanz

### UV-C-Licht birgt Strahlungsrisiken und schädigt Haut und Augen

Die UV-Desinfektion hat im Vergleich zu einer Desinfektion mit Chemikalien den Vorteil, dass keine zusätzlichen Stoffe verwendet werden oder giftige Nebenprodukte und Rückstände übrigbleiben. Auch entfallen der Transport, die Handhabung und Lagerung von Chemikalien (TrojanUV o.J.)

Allerdings ist der Einsatz von UV-C-Strahlung mit Gesundheitsrisiken für die exponierten Gewebe von Mensch und Tier – vor allem Haut und Augen – verbunden. Sofortige Schädigungen der Haut durch UV-C können in Form von Hautreizungen oder pathologischen Degenerationen der kollagenen Bindegewebe der tieferen Hautschichten auftreten. Am Auge kann die UV-C-Strahlung zu einer Hornhaut- oder Bindehautentzündung führen. Langfristige Effekte durch UV-C-Strahlung sind Schäden in der Erbsubstanz, die nicht oder nicht korrekt von den körpereigenen Reparatursystemen wiederhergestellt werden, sodass infolge von Mutationen ein Risiko für die Entstehung von Krebs resultiert (Asmuss et al. 2021, S.71; BfS 2021). Von der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) wurde UV-C daher als krebserregend eingestuft.

<sup>3</sup> <https://cleanairsystem.com/> (22.2.2022)



Je nach Gestaltung der verwendeten Geräte entstehen unterschiedliche Strahlungsrisiken. Speziell bei offenen Systemen kann Strahlung durch reflektierende Materialien auf Menschen treffen. Daher müssen solche Geräte über Sensoren die Nähe von Menschen und Tieren erkennen und sich nötigenfalls sofort abschalten. Als unbedenklich gelten Anwendungen, bei denen die UV-C-Quelle abgeschirmt ist und wenn sich keine Menschen im Raum aufhalten (BfS 2021). Bei allen anderen Anwendungen, etwa bei offenen Strahlungsquellen an der Decke, müssen individuelle, auf den Ort zugeschnittene Lösungen gefunden werden.

Zurzeit gelten auf dem internationalen Markt laut BfS (2021) Geräte als sicher, wenn diese kurzwellige Strahlung im Bereich um 222 nm (Far-UV-C) abgeben. Es wird angenommen, dass deren Eindringtiefe so gering ist, dass keine DNA-Schäden entstehen. Erste tierexperimentelle Studien belegen zwar entsprechende Unterschiede zu der sonst üblicherweise eingesetzten Strahlung mit 254 nm. Die Forschungsergebnisse erlauben jedoch noch keine belastbaren Aussagen zu gesundheitlichen Risiken bei Langzeitexposition, bei verletzter oder geschädigter Haut und bei sensitiven Personengruppen wie Kindern. Das BfS (2021) rät daher derzeit vom Einsatz offener Strahlungssysteme wie Handlampen für den Privatgebrauch ab.

Zusätzlich zu den Strahlungsrisiken können weitere Gefahren im Umgang mit UV-C-Lampen und bei der Erzeugung von UV-C-Licht entstehen. So können sich giftige Dämpfe bilden, wenn Quecksilberlampen beim Gebrauch zerbrechen. Zudem besteht ein Risiko in der Ozonbildung – besonders bei Luftreinigern. Dies gilt insbesondere für Geräte, die im Bereich der Wellenlänge von Far-UV-C (222 nm) arbeiten. Hier müssen Hersteller Vorkehrungen treffen, die ein unkontrolliertes Entweichen von Ozon ausschließen (Raesizadeh/Adeli 2020, S.2948).

Zusätzlich zu den hier aufgeführten Risiken für Lebewesen können auch Materialien durch die Bestrahlung geschä-

diget werden, in Form von Ausbleichung, Aushärtung sowie Verfärbung oder Versprödung (ZVEI 2021, S.9).

### Forschungs- und Entwicklungsbedarfe bei UV-C-Anwendungen zur Inaktivierung von SARS-CoV-2

Die antimikrobielle Wirkung von UV-C-Strahlung gegen Coronaviren ist durch zahlreiche Publikationen belegt (Asmuss et al. 2021, S.70; Darnell et al. 2004; Heßling et al. 2020). Doch obwohl UV-C-Strahlung bekanntermaßen pathogene Mikroben inaktivieren kann, fällt die spezifische Wirkung auf verschiedene Viren sehr unterschiedlich aus, da deren Resistenz gegenüber Strahlung variiert. Die desinfizierende Wirkung von UV-C-Licht hängt ab von der Bestrahlungsdauer und -stärke (bezeichnet als Strahlendosis), der Entfernung zum Objekt und der Art der bestrahlten Oberfläche (licht.de o.J.). Die Effizienz der Desinfektionswirkung wird auch dadurch beeinflusst, ob die Viren der Strahlung direkt ausgesetzt sind oder z.B. durch Schmutz, Staub oder Flüssigkeiten abgeschirmt werden (FDA 2021).

SARS-Cov-2 zählt zu den Coronaviren mit einer einzelsträngigen RNA. Viren aus dieser Familie sind ca. 100 bis 150 nm groß und mit Spikeproteinen bedeckt. Einige Varianten der Coronaviren erzeugen nur leichtere Erkältungen, andere, wie MERS-CoV oder SARS-CoV-2, schwerwiegende Infektionen (Heßling et al. 2020). Bei den Coronaviren wird davon ausgegangen, dass diese Virengruppe aufgrund ihrer ähnlichen Eigenschaften untereinander eine vergleichbare UV-Absorption der RNA und damit ähnliche Inaktivierungseigenschaften durch UV-C-Strahlung aufweisen (Heßling et al. 2020).

Studien deuten auf eine erfolgreiche Inaktivierung von SARS-CoV-2-Viren mittels UV-C-Strahlung hin (Chiappa et al. 2021; Heilingloh et al. 2020; Raeiszadeh/Adeli 2020;

Storm et al. 2020). Es besteht laut der Food and Drug Administration (FDA 2021) jedoch bislang eine begrenzte Forschungslage dazu, mit welcher Wellenlänge, Dosierung und Dauer eine effiziente Desinfektion von SARS-CoV-2-Viren durch UV-C erreicht werden kann. Erste Ergebnisse zum Einsatz des wahrscheinlich weniger risikoreichen Far-UV-C-Lichts (222 nm) zeigen, dass Viren bei diesem Spektrum inaktiviert werden (Bhardwaj et al. 2021; Buonanno et al. 2020; Kitagawa et al. 2021; Welch et al. 2018).

Ob Far-UV-C-Strahlung tatsächlich mit geringeren Gesundheitsrisiken verbunden ist, bedarf jedoch noch weiterer Forschung. Ebenso muss noch eingehender untersucht werden, wie gut die desinfizierende Wirkung mithilfe der UV-C-Strahlung von LED-Lampen erzielt werden kann (Raeiszadeh/Adeli 2020, S.2946).

### Verbraucherrisiken können durch Zertifizierungen, Richtlinien und Aufklärung abgefedert werden

Im Internet werden UV-C-Geräte für die Desinfektion teilweise sehr günstig für den privaten Gebrauch angeboten (Crist 2020). Der TÜV Süd hat bei Testuntersuchungen von ausgewählten Produkten festgestellt, dass vorgegebene Grenzwerte der Strahlung teilweise um ein Vielfaches überschritten werden, sodass sich Gefahren für Verbraucher/innen bei Privatanwendungen ergeben (ARD 2021). Auch wenn die Hersteller Anleitungen und Sicherheitshinweise zur Verfügung stellen, ist nicht unbedingt davon auszugehen, dass die Desinfektion im privaten Anwendungsbereich korrekt und sicher ausgeführt wird. So sind Dauer und Abstand der Strahlenexposition für Laien nur schwer zu bestimmen. Handgeräte können beispielsweise auch falsch eingesetzt werden, etwa für die Wunddesinfektion. Hier gilt es, die Endverbraucher/innen entsprechend aufzuklären und zu schützen.





Von verschiedenen nationalen und internationalen Institutionen wurden Hinweise und Richtlinien zum Umgang mit UV-C-Strahlung veröffentlicht, darunter von der FDA (2021). Mit der DIN EN ISO 15858:2017-01 werden die Sicherheitsanforderungen für den Gebrauch von UV-C-Lampen spezifiziert: maximale Expositionszeit ungeschützter Augen und Haut von  $60 \text{ J/m}^2$  bei  $254 \text{ nm}$  für 8 Stunden am Tag. Das Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risk (SCHEER 2017) hat eine Position zu den biologischen Effekten von UV-C-Strahlung auf die Gesundheit veröffentlicht. Überdies wird in der Richtlinie 2006/25/EG über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) das Expositionslimit für UV-C-Strahlung für Arbeitnehmende auf  $30 \text{ J/m}^2$  für 8 Stunden pro Tag festgelegt.

Das BFS (2021) warnt ausdrücklich davor, die Geräte zur Abtötung von Keimen auf Lebewesen zu verwenden und ruft zur Vorsicht beim Umgang mit UV-C-Desinfektionssystemen auf, bei denen eine Exposition von Personen nicht ausgeschlossen werden kann. Die Verbraucherzentralen raten gänzlich davon ab, offen strahlende UV-C-Lampen für die Eigenanwendung zu Hause zu kaufen (Verbraucherzentrale 2021).

#### Märkte für UV-C-Strahlung liegen vor allem in professionellen Anwendungsfeldern

Eine Betrachtung von Marktprognosen zeigt, dass die zukünftigen Märkte weniger bei den Privatanwendungen, sondern im professionellen Bereich liegen. Die wichtigsten zukünftigen Anwendungsfelder für UV-Desinfektion liegen

in den Bereichen Wasser- und Luftreinigung sowie bei der Desinfektion von Nahrungsmitteln. Vor allem der steigende Bedarf bei der Wasserbehandlung dürfte die Marktentwicklung prägen, doch auch die Luftreinigung sowie die Bekämpfung von Krankenhauskeimen gelten als wichtiger Treiber. Der Markt für UV-Desinfektionsanwendungen ist stark fragmentiert und teilt sich unter zahlreichen Akteuren auf (Technavio 2020). Nordamerika vereint den größten Marktanteil auf sich.

Prognosen der zukünftigen Marktentwicklung für UV-C-Desinfektionsgeräte unterscheiden sich in den jeweils betrachteten Projektionszeiträumen, den erwarteten Umsatzzahlen sowie den jährlich angenommenen Wachstumsraten. Allied Market Research (2020) erwartet beispielsweise – ausgehend von einem Marktvolumen von 1,3 Mrd. US-Dollar 2019 – einen Anstieg auf 5,7 Mrd. US-Dollar bis 2027 (jährliche Wachstumsrate zwischen 2020 und 2027 von 17,1%). Eine ähnliche Größenordnung des Marktwachstums für UV-C-Desinfektionsprodukte prognostiziert Future Market Insight (2020): ausgehend von 1,2 Mrd. US-Dollar 2019 auf 6 Mrd. US-Dollar 2030. Demgegenüber geht Grand View Research (2020) von einem fast doppelt so hohen Ausgangsmarkt mit 2,3 Mrd. für 2019 aus, erwartet jedoch ähnlich hohe Wachstumsraten von jährlich 19% in den Jahren 2020 bis 2027.

Darüber hinaus werden von den Marktforschungsunternehmen auch Teilsegmente näher beschrieben. Verified Market Research (2021) sieht allein im Marktsegment der UV-C-Desinfektionsroboter ein Wachstum: von 172,7 Mio. US-Dollar 2019 auf 5,57 Mrd. US-Dollar 2027, also eine Wachstumsrate von 33% zwischen 2020 und 2027.

Detaillierte Betrachtungen wurden zudem für den UV-LED-Markt angestellt. In einer vor der Pandemie erstellten Marktanalyse wurde der UV-LED-Markt für 2016 auf ein Volumen von 203,9 Mio. US-Dollar und für 2023 auf 1,2 Mrd. US-Dollar geschätzt (mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 28,4%) (Statista 2018). In jüngeren Prognosen wird von einem deutlich größeren Marktvolumen ausgegangen, für das die Pandemie als ein wichtiger Treiber gilt. So gab es 2020 sogar Engpässe in den Lieferketten und Unternehmen arbeiteten daran, ihre Produktionskapazitäten für UV-LED zu vergrößern. Yole Développement (2020) erwartet eine Umsatzgröße von 2,5 Mrd. US-Dollar für 2025 und geht mit 61% von einem sehr hohen jährlichen Wachstum von 2019 bis 2025 aus. Die erstellten Prognosen und angenommenen Wachstumsraten für UV-LED variieren bei verschiedenen Marktforschungsinstituten zwischen 203 und 350 Mio. US-Dollar in den Jahren 2016 und 2019 sowie 1,2 und 2,5 Mrd. US-Dollar im Zeitraum von 2025 bis 2028 (Allied Market Research 2020; Global Market Insights 2020; Verified Market Research 2021).

#### Verbraucher- und forschungspolitischer Handlungsbedarf

Gesellschaftliche und politische Herausforderungen mit Blick auf die Nutzung UV-C-Strahlung bestehen vor allem hinsichtlich der Risiken beim Einsatz von UV-C-Geräten im beruflichen Umfeld und bei Privatanwendungen. Mit Richtlinien und Sicherheitsempfehlungen wurden bereits wichtige Vorkehrungen getroffen, um Arbeitnehmer/innen wie auch Verbraucher/innen zu schützen. Letztere müssen jedoch vor allem beim Gebrauch von offenen Strahlungslampen über die damit verbundenen Risiken von Herstellerseite aufgeklärt werden. Insgesamt bleiben die Anwendung von UV-C und die damit verbundenen Risiken ein wichtiges Feld für den wissenschaftlichen Diskurs und weitere Forschungen.

Der Markt für UV-C-Desinfektionsanwendungen wird in den nächsten Jahren wachsen – nicht zuletzt angetrieben

durch die Pandemie. Hier versprechen neuere Lichtquellen wie die UV-C-LED ein großes Potenzial. Allerdings ist hier noch Forschung und Entwicklung zu betreiben, damit die Potenziale voll genutzt werden können. Damit Deutschland an dem Markt partizipieren kann, erscheint es notwendig, die schon begonnenen Anstrengungen in Forschung und Entwicklung zu UV-LED fortzusetzen. Aktuell bestehen Anwendungsfelder für UV-C-Strahlung mit großem Marktvolumen vor allem in professionellen Kontexten (Abwasseraufbereitung, Oberflächendesinfektion in Krankenhäusern, Lebensmitteldesinfektion), während die breitflächige Anwendung in öffentlichen Räumen wie Flughäfen und Busstationen aufgrund der mit einer offenen Strahlung verbundenen Risiken zum jetzigen Zeitpunkt noch limitiert ist. Sofern die Strahlungsrisiken minimiert werden, können sich auch für Anwendungen in öffentlichen Räumen große Potenziale bieten.

---

#### Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Das Thema bietet Ansatzpunkte für die Vertiefung im Bereich Marktentwicklung und Anwendungspotenziale sowie sicherheitsrelevanter Aspekte, z.B. mit Blick auf Far-UV-C und UV-C-LEDs. Zum aktuellen Zeitpunkt erlaubt das vorliegende Themenkurzprofil einen Überblick über den Status quo zum Entwicklungsstand und gibt Orientierung zu sicherheitsrelevanten Aspekten. Die in den nächsten Jahren zu erwartenden Forschungs- und Entwicklungsfortschritte sollten beobachtet werden, um einen weitergehenden Bedarf für eine vertiefende Bearbeitung zur Technikfolgenabschätzung einschätzen zu können.



## Literaturverzeichnis

- ▶ Allied Market Research (2020): UV LED Market Size, Share, Scope – Industry Trends & Analysis by 2027. <https://www.alliedmarketresearch.com/uv-led-market> (22.2.2022)
- ▶ ARD (2021): UVC-Lampen gegen Coronaviren? <https://www.ardmediathek.de/video/markt/uvc-lampen-gegen-coronaviren/wdr-fernsehen/Y3JpZDovL3dkci5kZS9CZWl0cmFnLTBmNGI3NWQ4LTE4N2MtNDQzZC04MzZjLTNhNTEwNjI3M2UwNA/> (22.2.2022)
- ▶ Asmuss, M., Schmidt, S., Weiskopf, D. (2021): Strahlenschutzaspekte bei der Anwendung von UV-C-Strahlung zu Desinfektionszwecken. In: UMID (1), S. 69–77
- ▶ BfArM (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (2020): Deutsches Arzneibuch (DAB) 2020. Stuttgart
- ▶ BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) (2021): UV-C-Strahlung zur Desinfektion. [https://www.bfs.de/DE/themen/opt/anwendung-alltag-technik/uv/uv-c-strahlung/uv-c-desinfektion\\_node.html](https://www.bfs.de/DE/themen/opt/anwendung-alltag-technik/uv/uv-c-strahlung/uv-c-desinfektion_node.html) (22.2.2022)
- ▶ Bhardwaj, S., Singh, H., Deep, A., Khatri, M., Bhaumik, J., Kim, K.-H., Bhardwaj, N. (2021): UVC-based photoinactivation as an efficient tool to control the transmission of coronaviruses. In: Science of The Total Environment 792, S.148548
- ▶ BMBF (o.J.a): Mit UVC-Licht gegen Krankheitserreger. <https://www.innovation-strukturwandel.de/de/mit-uvc-licht-gegen-krankheitserreger-2755.html> (22.2.2022)
- ▶ BMBF (o.J.b): Neue UV-LEDs sind marktreif. [https://www.innovation-strukturwandel.de/strukturwandel/de/report/\\_documents/artikel/n-q/neue-uv-leds-sind-marktreif.html](https://www.innovation-strukturwandel.de/strukturwandel/de/report/_documents/artikel/n-q/neue-uv-leds-sind-marktreif.html) (22.2.2022)
- ▶ Budinger, V. (2020): Corona wirft neues Licht auf alte Technik. Desinfiziert mit UV-C. Deutsche Apotheker Zeitung, 1.9.2020, <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/news/artikel/2020/09/01/corona-wirft-neues-licht-auf-alte-technik> (3.9.2021)
- ▶ Buonanno, M., Welch, D., Shuryak, I., Brenner, D. (2020): Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. In: Scientific Reports 10(1), Artikel 10285
- ▶ Chiappa, F., Frascella, B., Vigezzi, G., Moro, M., Diamanti, L., Gentile, L., Lago, P., Clementi, N., Signorelli, C., Mancini, N., Odone, A. (2021): The efficacy of ultraviolet light-emitting technology against coronaviruses: a systematic review. In: Journal of Hospital Infection 114, S. 63–78
- ▶ Crist, R. (2020): UVC wands kill viruses. Experts warn they're also a ‚major safety issue‘. CNET, 20.10.2020, <https://www.cnet.com/home/smart-home/uvc-light-wands-kill-viruses-experts-warn-major-safety-issue-coronavirus-covid-19/> (15.2.2022)
- ▶ Darnell, M., Subbarao, K., Feinstone, S., Taylor, D. (2004): Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. In: Journal of Virological Methods 121(1), S. 85–91
- ▶ FDA (Food and Drug Administration) (2021): UV Lights and Lamps: Ultraviolet-C Radiation, Disinfection, and Coronavirus. <https://www.fda.gov/medical-devices/coronavirus-covid-19-and-medical-devices/uv-lights-and-lamps-ultraviolet-c-radiation-disinfection-and-coronavirus> (22.2.2022)
- ▶ Fox, H. (2021): Why you should think twice before buying a UVC disinfecting device. Which? 3.5.2021, <https://www.which.co.uk/news/2021/05/why-you-should-think-twice-before-buying-that-uvc-disinfection-gadget/> (3.9.2021)
- ▶ Future Market Insights (2020): UVC Disinfection Products Market: Industry Analysis, Size, Share, Trends and Forecast to 2030. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/uvc-disinfection-products-market> (3.9.2021)
- ▶ Global Market Insight (2020): UV LED Market Size 2021-2027. (Wadhvani, P.; Yadav, S.) <https://www.gminsights.com/industry-analysis/uv-led-market> (22.2.2022)
- ▶ Grand View Research (2020): Ultraviolet Disinfection Equipment Market Report, 2020-2027. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/ultraviolet-uv-disinfection-equipment-market> (3.9.2021)
- ▶ Heilingloh, C., Aufderhorst, U., Schipper, L., Dittmer, U., Witzke, O., Yang, D., Zheng, X., Sutter, K., Trilling, M., Alt, M., Steinmann, E., Krawczyk, A. (2020): Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. In: American Journal of Infection Control 48(10), S.1273–1275
- ▶ Heßling, M., Hönes, K., Vatter, P., Lingenfelder, C. (2020): Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation – review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. In: GMS Hygiene and Infection Control 15, Doc08
- ▶ Kitagawa, H., Nomura, T., Nazmul, T., Omori, K., Shigemoto, N., Sakaguchi, T., Ohge, H. (2021): Effectiveness of 222-nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination. In: American Journal of Infection Control 49(3), S.299–301
- ▶ Kowalski, W. (2009): Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. UVGI for Air and Surface Disinfection. Berlin/Heidelberg
- ▶ Licht.de (o.J.): UV-C-Strahlungsquellen/Entkeimungsgeräte. <https://www.licht.de/de/grundlagen/lichtlexikon/details-lichtlexikon/uv-c-strahlungsquellen> (22.2.2022)
- ▶ Management & Krankenhaus (2021): „Über Krankenhauskeime spricht aktuell niemand“. Interview mit Thomas Meyer, <https://www.management-krankenhaus.de/news/ueber-krankenhauskeime-spricht-aktuell-niemand> (22.2.2022)
- ▶ Raeiszadeh, M., Adeli, B. (2020): A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations. In: ACS Photonics 7(11), S.2941–2951
- ▶ RKI (Robert Koch-Institut) (2019): Infektions- und Krankenhaushygiene. Stand: 7.1.2019, [https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/krankenhaus-hygiene\\_node.html](https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/krankenhaus-hygiene_node.html) (22.2.2022)



- ▶ SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risk) (2017): Opinion on biological effects of UV-C radiation relevant to health with particular reference to UV-C lamps. <https://data.europa.eu/doi/10.2875/569379> (22.2.2022)
- ▶ Statista (2018): UV LED market size from 2016 to 2023. <https://www.statista.com/statistics/877885/global-uv-led-market-size/> (22.2.2022)
- ▶ Storm, N., McKay, L., Downs, S., Johnson, R., Birru, D., de Samber, M., Willaert, W., Cennini, G., Griffiths, A. (2020): Rapid and complete inactivation of SARS-CoV-2 by ultraviolet-C irradiation. In: Scientific Reports 10(1), Artikel 22421
- ▶ Technavio (2020): Ultraviolet Disinfection Equipment Market by Application and Geography – Forecast and Analysis 2020-2024. <https://www.technavio.com/report/ultraviolet-disinfection-equipment-market-industry-analysis> (22.2.2022)
- ▶ TrojanUV (Trojan Technologies) (o.J.): Einführung in die UV-Desinfektion. <https://www.trojanuv.com/de/uv-basics/>(22.2.2022)
- ▶ Verbraucherzentrale (2021): UV-C-Lampen für zuhause: Helfen sie gegen das Coronavirus? <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/umwelt-haushalt/produkte/uvclampen-fuer-zuhause-helfen-sie-gegen-das-coronavirus-58058> (22.2.2022)
- ▶ Verified Market Research (2021): UV-C Disinfection Robots Market Size and Forecast. <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/uv-c-disinfection-robots-market/> (22.2.2022)
- ▶ Welch, D., Buonanno, M., Grilj, V., Shuryak, I., Crickmore, C., Bigelow, A., Randers-Pehrson, G., Johnson, G., Brenner, D. (2018): Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. In: Scientific Reports 8(1), Artikel 2752
- ▶ Yole Développement (2020): UVC LEDs: one solution to contain the COVID-19 pandemic. [http://www.yole.fr/UV\\_LEDs\\_MarketUpdate.aspx](http://www.yole.fr/UV_LEDs_MarketUpdate.aspx) (22.2.2022)
- ▶ ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) (2021): ZVEI-Positionspapier UV-C-Anwendungen zur Entkeimung von Oberflächen und Luft. Frankfurt a.M.

Das Horizon-Scanning ist Teil des methodischen Spektrums der Technikfolgenabschätzung im TAB.

**Horizon**  
**SCANNING**

Mittels Horizon-Scanning werden neue technologische Entwicklungen beobachtet und diese systematisch auf ihre Chancen und Risiken bewertet. So werden technologische, ökonomische, ökologische, soziale und politische Veränderungspotenziale möglichst früh erfasst und beschrieben. Ziel des Horizon-Scannings ist es, einen Beitrag zur forschungs- und innovationspolitischen Orientierung und Meinungsbildung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zu leisten.

In der praktischen Umsetzung werden im Horizon-Scanning softwaregestützte Such- und Analyseschritte mit expert/innenbasierten Validierungs- und Bewertungsprozessen kombiniert.

Herausgeber: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

Gestaltung und Redaktion: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Bildnachweise: © sergeyryzhov/iStock (S. 1), © TAB (S. 2), © Shivendu Jauhari/iStock (S. 3), © AVAKAphoto/iStock (S. 4), © Mixmike/iStock (S. 5), © Shidlovski/iStock (S. 6), © andriano\_cz/iStock (S. 7)

ISSN-Internet: 2629-2874