

Positionspapier

UV-C-Anwendungen zur Entkeimung von Oberflächen und Luft

Februar 2021
Fachverband Licht

Inhalt

Vorwort	3
1 Einleitung	4
2 UV-Strahlung	4
3 UV-C-Strahlungsquellen	5
3.1 Niederdruckentladungslampen	5
3.2 Excimer-Lampe	6
3.3 UV-C-LED	6
4 Anwendungen	6
4.1 Oberflächenentkeimung	6
4.1.1. Freistrahkende Systeme	6
4.2 Luftentkeimung	7
4.2.1 Raumluftechnik	7
4.2.2. Sekundärluft	8
5 Wirksamkeit	9
6 Auslegung und Planung	9
7 Risikoabschätzung	9
8 Literaturhinweise	10
9 Bildverzeichnis	11

Vorwort

Das vorliegende Positionspapier richtet sich an Vertreter von Verwaltung und Politik, von Ministerien, Behörden und Ämtern, Verbänden, Medien, Mitgliedsunternehmen der Lichtindustrie, sowie an die interessierte Öffentlichkeit.

Dieses Papier erläutert die Möglichkeiten von verschiedenen Anwendungen mit UV-C (Ultraviolette Strahlung) zur zuverlässigen Entkeimung von Luft und Oberflächen. Damit kann auch dem wachsenden Problem der Ausbreitung multiresistenter Keime in und außerhalb medizinischer Einrichtungen wirksam begegnet werden. Der ZVEI sieht darin einen Beitrag zur rascheren Eindämmung der durch das SARS-CoV-2 Virus hervorgerufenen Pandemie. Gleichzeitig möchte er erreichen, dass der Vorbeugung solcher Infektionskrankheiten durch nachhaltige und resiliente Gebäudekonzepte deutlich mehr Aufmerksamkeit zukommt.

Aus Sicht des ZVEI werden in der öffentlichen Diskussion häufig Risiken und Chancen dieser bewährten Technologie über- oder unterbewertet, was Unsicherheit bei Anwendern schafft und eine optimale Nutzung von UV-C zur Desinfektion von Oberflächen und zur Verbesserung von Raumluftqualität verhindert. Da die möglichen technischen Lösungen vielfältig sind und eine sichere Anwendung, eine professionelle Planung, Produktion, Installation und Wartung verlangen, möchte dieses Positionspapier das notwendige Expertenwissen allgemein verständlich zugänglich machen.

Der Fokus richtet sich auf UV-C-Anwendungen. Es werden keine medizinischen, epidemiologischen, virologischen oder infektiologischen Schlüsse gezogen.

1 Einleitung

UV-C (kurzwellige Ultraviolett-Strahlung) wird seit Jahrzehnten in der Wasseraufbereitung und in Krankenhäusern gegen verschiedene pathogene Keime eingesetzt (1). Im Einsatz gegen Mikroorganismen, Viren und Keime hat sich UV-C-Strahlung als geeignetes Mittel bewährt, auch aktuelle Studien bestätigen die wirkungsvolle Bekämpfung des SARS-CoV-2-Erregers. (2)

Es gibt nach dem heutigen Stand der Wissenschaft mehrere Übertragungswege des SARS-CoV-2-Virus. Einmal als Schmierinfektion auf Oberflächen. Eine Gegenmaßnahme ist die Desinfektion von Oberflächen mit Desinfektionsmitteln oder durch direkte Bestrahlung mit UV-C-Quellen und natürlich Hände waschen. Bei der Infektion durch die Luft unterscheidet man die Infektion durch Tröpfchen und Aerosole. Maßnahmen gegen Tröpfcheninfektion sind Mund-Nasen-Schutz sowie ein Abstand von 1,5 Metern. Maßnahmen gegen die Infektion durch mit Viren behaftete Aerosole sind FFP2-Masken, genügendes Lüften, Luftentkeimung und Inaktivierung durch direkte UV-C-Strahlung oder mobile Luftentkeimer mit innenliegenden UV-C-Quellen. (3)

Auch künftig werden Mikroorganismen und Viren wie auch deren Mutationen durch UV-C wirkungsvoll bekämpft werden.

2 UV-Strahlung

UV-Strahlung ist optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm. Der Bereich der ultravioletten Strahlung wird unterteilt in UV-A-Strahlung (315 bis 400 nm), UV-B-Strahlung (280 bis 315 nm) und UV-C-Strahlung (100 bis 280 nm). UV-Strahlung ist für das menschliche Auge visuell nicht wahrnehmbar.

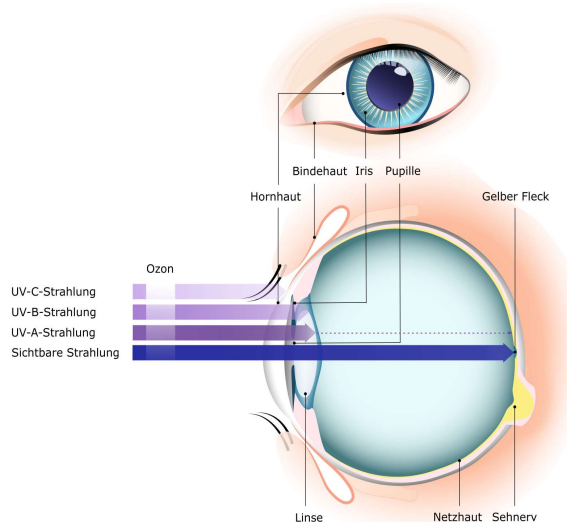


Abb. 1: Wahrnehmbarkeit von UV-Strahlung und sichtbarem Licht im Auge.

UV-C-Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 bis 280 nm wird bereits in der Atmosphäre absorbiert, weshalb Lebewesen, Mikroorganismen und Viren keine natürlichen Resistenzen entwickeln konnten. UV-C-Strahlung wird direkt von der DNA/RNA

absorbiert, zerstört dabei die Struktur und verhindert so die Reproduktion und damit die Infektionsfähigkeit der Mikroorganismen. Das Absorptionsmaximum der DNA/RNA liegt bei einer Wellenlänge von 265 nm.

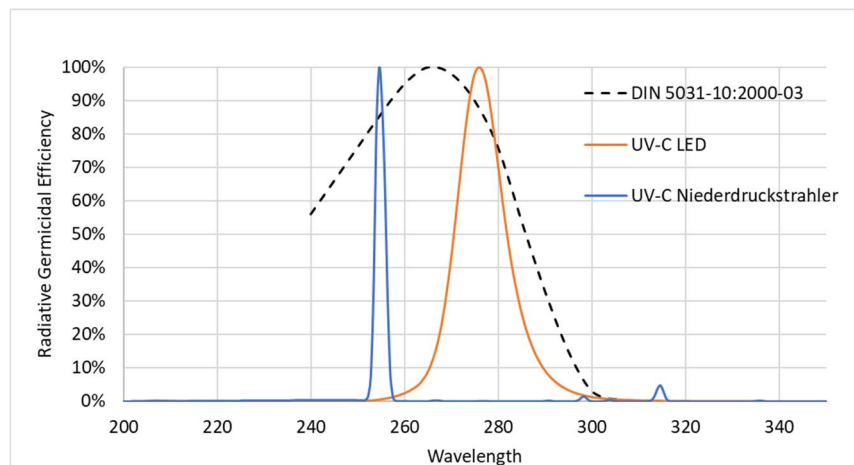


Abb. 2: Genormtes DNA-Wirkungsspektrum überlagert mit den Spektren von UV-C-Niederdruck-Strahlungsquelle und UV-C-LED (4)

Für die Inaktivierung eines Virus bzw. Abtötung eines Mikroorganismus benötigt man je nach Art eine bestimmte Dosis. Diese berechnet sich aus der Bestrahlungsstärke und der benötigten Bestrahlungszeit.

3 UV-C-Strahlungsquellen

Zur Erzeugung von UV-Strahlung wird ähnlich wie im Bereich der Allgemeinbeleuchtung auf die Gasentladung und die Halbleitertechnik zurückgegriffen. Die vorwiegend eingesetzte Technik für UV-C-Strahlungsquellen sind Quecksilber-Niederdruckentladungslampen in der Bauform von herkömmlichen Leuchtstofflampen in Röhrenform oder als Kompaktversion.

3.1 Niederdruckentladungslampen

UV-C-Niederdruck-Strahlungsquellen emittieren 85 Prozent der Gesamtstrahlung bei 254 nm. Neben dieser Resonanzlinie gibt es eine weitere bei 185 nm bei der bis zu zwölf Prozent der Strahlungsleistung erreicht werden. Ergänzend gibt es im visuellen Spektralbereich Emissionslinien mit ca. drei Prozent der Strahlungsleistung, die für das bläuliche Leuchten solcher Lampen verantwortlich sind. Die UV-C-Effizienz (Strahlungsausbeute) einer Niederdruckstrahlungsquelle liegt bei 30 bis 40 Prozent.



Über die Wahl des Glases können sogenannte ozonfreie Produkte realisiert werden, indem die Emission der 185 nm-Linie absorbiert wird.

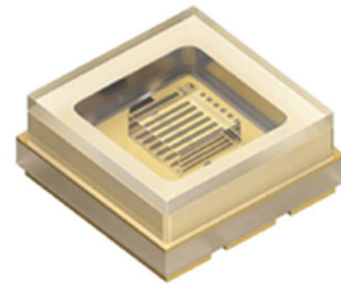
3.2 Excimer-Lampe

Die Excimer-Lampe ist eine Niederdruckentladungslampe, bei der als Gasfüllung Krypton-Chlorid eingesetzt wird. Sie strahlt schmalbandig bei 222 nm aus und in geringer Emission bis etwa 260 nm. Die UV-C-Effizienz (Strahlungsausbeute) einer Excimer Lampe liegt bei ca. acht Prozent.

In Verbindung mit einem engen Bandpass-Filter, der spektrale langwelligere Anteile absorbiert, werden Excimer-Lampen als offen strahlende Systeme diskutiert. So lange die wissenschaftlichen Untersuchungen nicht abgeschlossen sind, kann der ZVEI diese Technologie nicht bewerten. (5)

3.3 UV-C-LED

Die Basis für UV-C-LEDs ist Aluminiumgalliumnitrid (AlGaN). Kommerzielle UV-C-LEDs haben heute noch eine Strahlungsausbeute bis fünf Prozent. Auch bei der Lebensdauer liegen heutige UV-C-LEDs noch deutlich hinter weißen LEDs. An diesen Eigenschaften wird mit Hochdruck gearbeitet, sodass in den nächsten Jahren eine deutliche Steigerung erwartet werden kann. Typische Wellenlängen liegen bei 270-280 nm. LEDs haben einen sehr geringen Anteil sichtbarer Strahlung. Somit lässt sich visuell nur schwer bestimmen, ob Strahlung von der LED emittiert wird.



4 Anwendungen

4.1 Oberflächenentkeimung

Im täglichen Leben haben wir, insbesondere durch unsere Hände, Kontakt zu verschiedenen Oberflächen, Gegenstände und Lebewesen. Gerade durch solch eine Kette von Berührungen kann es zur Weitergabe von Erregern kommen. Im anschließenden Abschnitt wird auf die Entkeimung von Oberflächen eingegangen. Entsprechende Feldversuche und Laboruntersuchungen von früheren Fällen wie Corona-Viren, Influenza-Viren oder Tuberkulose sind in der Literatur (2) mehrfach nachgewiesen. Neueste Laboruntersuchungen mit den aktuellen SARS-CoV-2-Viren wurden durchgeführt (6) und die Effizienz der Direktstrahlung auch bei den aktuellen Viren nachgewiesen.

4.1.1. Freistrahkende Systeme

Freistrahkende Systeme können aufgrund der direkten und ungehinderten Bestrahlung von Oberflächen mit UV-C-Strahlung sehr effektiv sein, sind aber hinsichtlich der zu treffenden Sicherheitsvorkehrungen sehr anspruchsvoll. Solche freistrahkenden

Systeme können stationär oder mobil (in Form von fahrbaren Robotern) realisiert werden. Im Fall von stationären Systemen wäre der Einsatz bei der "Ausleuchtung/Desinfektion" von Konferenzräumen, Theatern, Restaurants und sogar in Aufzügen sinnvoll, solange sich keine Personen oder Haustiere ungeschützt im Strahlungsbereich der UV-C-Quellen befinden.

Freistrahrende professionelle System sollten nur mit Planungsunterlagen und individueller Gefährdungsbeurteilung in Betrieb genommen werden.

Von der nicht professionellen Nutzung mobiler freistrahrender UV-C-Handgeräte zur Desinfektion wird abgeraten. Menschen und Lebewesen sind vor direkter und indirekter Strahlung durch geeignete Maßnahmen zu schützen. Augen, Hautflächen, Hände etc. dürfen nicht der Strahlung ausgesetzt werden.

4.1.2. Geschlossene Systeme

Geschlossene Systeme sind in der Lebensmittelindustrie bereits seit Jahren im Einsatz. Dabei durchlaufen Verpackungsmaterialien oder Transportbänder geschlossene Bereiche, in denen Materialien in der Produktion mit UV-C-Strahlung entkeimt werden.

Neuerdings werden auch Handläufe von Rolltreppen über UV-C desinfiziert. Dabei wird das rücklaufende Band in einer geschlossenen Kammer an einer UV-C-Quelle vorbeigezogen.

Eine eher neue Anwendung ist die Entkeimung von Leih-Ware, wie z.B. Laptop, Smartphone usw. Die UV-C-Strahlung dringt dabei nicht in die Materialien ein und verursacht so auch keine Schäden in der Elektronik.

Bei der Oberflächenentkeimung ist darauf zu achten, dass keine Abschattungen stattfinden. Die UV-C-Strahlung kann nur an Flächen wirken, wenn diese auch direkt oder über Reflektion durch die Strahlung erreicht werden.

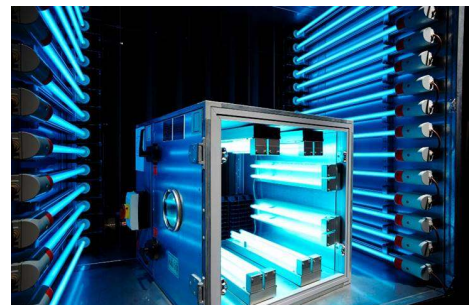
4.2 Luftentkeimung

4.2.1 Raumluftechnik

Als raumluftechnische (RLT) Anlagen werden Systeme bezeichnet, die Luft in Gebäuden leiten und behandeln. Dabei werden Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftqualität geregelt. Diese Anlagen sind fest im Gebäude verbaut.

Grundsätzlich müssen RLT-Anlagen die Luftqualität verbessern, dazu gehört z. B. eine Reduktion von Keimen. Diese kann durch Filtration oder durch eine Kombination von Filtern mit einer UV-C-Stufe erreicht werden. Dabei werden UV-C-Strahlungsquellen in die geschlossenen Lüftungskanäle eingebracht.

Als Grundlage dienen die Anforderungen an RLT-Anlagen aus der VDI 3803 Blatt 1 aus dem Jahr 2020. (7)



4.2.2. Sekundärluft

Dort wo RLT-Anlagen nicht nachgerüstet werden können, können mobile bzw. dezentrale Luftentkeimungsgeräte sinnvoll eingesetzt werden. Dezentrale Geräte bieten als flankierende Maßnahmen zur empfohlenen Lüftung zusätzlichen Schutz vor Ansteckung durch aerosolinduzierte Infektionen. Dabei können mobile Stand- oder stationäre Wand- und Deckenein- und -anbaugeräte zum Einsatz kommen.

Geschlossene Systeme

In erster Linie werden Luftentkeimungsgeräte mit induzierter Luftführung angeboten. Dabei werden Aerosole durch aktive Lüfter durch ein Gerät geführt. Innerhalb des Geräts werden die Aerosole mit UV-C-Strahlung entkeimt und anschließend wieder in den Raum zurückgeführt. Die wichtigsten Daten neben der umgewälzten Luftmenge pro Stunde sind die mittlere Bestrahlungsdosis und Inaktivierungsrate bei Einmalpassage, die elektrische Leistungsaufnahme, Art der Strahlungsquellen, Nennbenutzungsdauer mit Angabe des Restwertes und der Geräuschpegel. Diese Gerätesollten den geltenden Sicherheitsnormen entsprechen. (8, 9)

Der Hersteller sollte dabei Planungsunterlagen zur Auslegung und Positionierung bereitstellen. Ggf. können Simulationsmodelle zur genauen Planung hilfreich sein.

Upper Air Desinfektion

UV-C-Luftdesinfektionsprodukte (Upper Air) werden unterhalb der Decke im Raum montiert und desinfizieren mit ihrer Strahlung ausschließlich die oberen Luftschichten im Raum. Der UV-C-Strahlenbereich wird durch spezielle Reflektoren und die Lamellenkonstruktion gesteuert. Die Lamellen erlauben eine möglichst horizontale Ausrichtung der UV-C-Strahlen, was Deckenreflexionen vermeiden soll.



Die natürliche Bewegung der Luft ermöglicht die Bestrahlung aller Luftpartikel mit UV-C-Strahlen. Diese Bewegung kann durch mechanische Belüftung unterstützt werden. Infolgedessen wird eine große Luftmenge permanent behandelt, wodurch die Krankheitserreger inaktiviert werden.

Da UV-C unsichtbar ist für das Auge, muss das UV-C-System unter angemessenen Sicherheitsvorkehrungen installiert werden, entsprechende Warnhinweise sind anzubringen, mögliche Reflexionen von der Decke, den Wänden und Gegenständen im Strahlungsbereich sind zu prüfen und alle Nutzer des Systems sind entsprechend zu unterweisen. Die maximale Bestrahlungsstärke auf Augenhöhe ist auf $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ bei 254 nm und $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ bei 270 nm über eine Expositionszeit von acht Stunden zu begrenzen (10).

5 Wirksamkeit

Entscheidend für die Wirksamkeit der Entkeimung ist die Strahlungsdosis. Diese kann je nach Applikationsanforderungen, aus den Geräteabmessungen, Strömungsverhältnissen und Zielorganismen bestimmt werden. Tabellenwerke und Planungswerkzeuge sind publiziert. (2)

Bezogen auf SARS-CoV-2 sollte eine Mindestdosis von 70 J/m^2 erreicht werden, um 99 Prozent Entkeimungsleistung zu erzielen. (11) Ein Vergleich mit Schwebstofffiltern ist nur bedingt möglich. Für Filter wird die Abscheiderate von Partikeln beschrieben, für UV-C jedoch die Reduzierung infektiöser Keime.

6 Auslegung und Planung

Um eine maximale Effektivität von Luft- und Flächenreinigern zu erreichen, sollte die Auslegung und Positionierung nach Herstellerempfehlung durch eine Fachfirma geplant werden. Es spielen individuelle Faktoren wie Oberflächen und deren Beschaffenheit, Raumvolumen, Nutzung des Raums, Anzahl der Personen im Raum sowie die Aufenthaltsdauer eine wesentliche Rolle. (12)

7 Risikoabschätzung

Unsachgemäß angewendet kann sich UV-C-Strahlung schädigend auf Menschen, andere Lebewesen und Materialien wirken. Eine professionelle Ausführung, Kennzeichnung und Dokumentation der Geräte und deren Installation und Betrieb ermöglichen eine hohe Wirksamkeit und eine sichere Nutzung. (13)

Bei Überschreitung der zulässigen UV-Strahlungsdosis nach DIN EN 62471 von 30 J/m^2 können sich unter anderem folgende Auswirkungen ergeben (9,14):

- Reizung der Augen oder der Haut: UV-C-Strahlung kann am Auge zu einer Photokeratitis (Hornhautentzündung) und zur Photokonjunktivitis (Bindehautentzündung) führen.
Mögliche Wirkungen der UV-C-Strahlung auf der Haut können ein Erythem (Rötung) oder eine Elastose (pathologische Degeneration der kollagenen Bindegewebe der Dermis) oder weitere Schädigung sein.
Weitere gesundheitliche Schädigungen durch langandauernde Bestrahlung werden weiter erforscht und können nicht ausgeschlossen werden.
- Reflektierte Strahlung: Bei der Anwendung von UV-C-Strahlung in besetzten Räumen muss sichergestellt werden, dass die indirekte UV-C-Strahlung (z.B. im oberen Raum) nicht von UV-C-reflektierenden Materialien auf Menschen trifft. Die Sicherheit von Personen muss gewährleistet sein und Grenzwerte sind durch den Betreiber/Installateur einzuhalten.
Bekannte Effekte der UV-C-Strahlung auf Materialien sind Ausbleichung, Aushärtung, Verfärbung und Versprödung. Die Dauer der Bestrahlung, die bei

einzelnen empfindlichen Materialien zur Schädigung führt, ist noch nicht hinreichend erforscht.

Bei Geräten, die UV-C direkt in den Raum abstrahlen, in dem sich Menschen oder andere Lebewesen befinden können, müssen Schutzmaßnahmen vorhanden sein, wie z. B. Präsenzsensoren, die zur sofortigen Abschaltung der Strahlung führen, bevor Personen oder Tiere in den Strahlungsbereich gelangen. UV-C darf nicht über längere Zeit auf UV-empfindliche Materialien einwirken. (15, 16)

Der ZVEI empfiehlt, auf Geräte zu verzichten, die Ozon in die Raumluft abgeben.

8 Literaturhinweise

1. J. Dreier, A. Bermpohl, P. Jeschin, B. Becker, K. Kleesiek, Transmission von Viren durch Raumluftechnische Anlagen und Inaktivierung durch UVC-Strahlung, Mikrobiologie 68 (2008)
2. A. Bianco, et al., "UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication," medRxiv 2020.06.05.20123463.
3. "Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook; UVGI for Air and Surface Disinfection; Wladyslaw Kowalski, 2009," [Online].
4. DIN 5031-10:2018, Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren
5. H. Kitagawa, et al., "Effectiveness of 222-nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination," American Journal of Infection Control, 4 September 2020.
6. Nadia Storm, L. G. A. McKay, S. N. Downs, R. I. Johnson, D. Birru, M. de Samber, W. Willaert, G. Cennini & A. Griffiths; Rapid and complete inactivation of SARS-CoV-2 by ultraviolet-C irradiation, nature resorts, Scientific Reports (2020) 10:22421
7. VDI 3803 Blatt 1, Raumluftechnik - Bauliche und technische Anforderungen - Zentrale RLT-Anlagen, 2020
8. DIN EN 60335-2-65; ;VDE 0700-65; Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Teil 2-65: Besondere Anforderungen für Luftreinigungsgeräte
9. DIN EN 62471:2009, Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen
10. Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS)
11. M. Heßling, K. Hönes, P. Vatter, Ch. Lingenfelder Ultraviolette Bestrahlungsdosen für die Inaktivierung von Coronaviren – Review und Analyse von Coronavirininaktivierungsstudien, GMS Hygiene and Infection Control 2020, Vol. 15, ISSN 2196-5226
12. S. N. Rudnick, D. K. Milton, Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration, Indoor Air 2003; 13: 237–245
13. UV-C SAFETY GUIDELINES - Position Statement on Germicidal UV-C Irradiation, Global Lighting Association May 2020

14. RICHTLINIE 2006/25/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES, 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung)
15. DIN EN ISO 15858:2017; UV-C-Einrichtungen - Sicherheitsinformationen - Zulässige Exposition von Personen
16. DIN EN 14255-1:2005; Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung - Teil 1: Von künstlichen Quellen am Arbeitsplatz emittierte ultraviolette Strahlung

9 Bildverzeichnis

- Seite 4: Prof. Roland Greule, HAW Hamburg
- Seite 5: BÄRO GmbH & Co. KG, Leichlingen
UV-Technik Speziallampen GmbH, Ilmenau
- Seite 6: OSRAM GmbH, München
- Seite 7: BÄRO GmbH & Co. KG, Leichlingen
- Seite 8: Signify GmbH, Hamburg



UV-C-Anwendungen zur Entkeimung von Oberflächen und Luft

Herausgeber:
ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.
Fachverband Licht
Lyoner Str. 9
60528 Frankfurt am Main
Verantwortlich:
Soheil Moghtader
Telefon: +49 69 6302-201
E-Mail: Soheil.Moghtader@zvei.org
www.zvei.org
Februar 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzung, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.