

Teil 1

Luftdesinfektion in RLT-Anlagen mit einer Kombination aus UVC-Strahlung und mechanischer Luftfilterung

Zur Beeinflussung der Luftqualität von Innenräumen in Gebäuden werden Luftfilter in Lüftungs- und Klimaanlage verwendet. Sie verringern die Feinstaubkonzentration in der Luft und erhöhen die Luftqualität maßgeblich. In Kombination mit Ultraviolett-Strahlung (UVC) kann eine ausreichende Luftdesinfektion erreicht werden, die der Gesundheit der Menschen, die sich in diesen Räumen aufhalten, zugutekommt. Die Wirkungsweise und die Praxistauglichkeit der UVC-Bestrahlung im Luftstrom – insbesondere im Vergleich zur und in Kombination mit der mechanischen Filterung – wird hier detailliert dargestellt.

TEXT: *Christoph Kaup*

Um die richtige Auswahl der Luftfilterung zu ermöglichen, sind klar definierte und allgemein gültige Prüf- und Klassifizierungsverfahren für Luftfilter entsprechend ihres Abscheidegrades gerade für die Abscheidung von Feinstaub notwendig. Die Filter-Normenreihe ISO 16890 beschreibt eine Abscheidegradklassifizierung auf der Grundlage des ermittelten Fraktionsabscheidegrades (ePM). Der Abscheidegrad des Filterelements in RLT-Anlagen wird dabei als Funktion der Partikelgröße im Bereich von 0,3 µm bis 10 µm ermittelt¹⁾.

UV-Bestrahlung in Raumluftechnischen Anlagen wurde bisher sehr erfolgreich zur Wasserentkeimung in Luftbefeuchtungseinrichtungen und zur Entkeimung von Oberflächen eingesetzt. Die direkte Bestrahlung des Luftvolumenstromes kam bisher selten zur Anwendung²⁾. Als Folge der aktuellen Corona-Pandemie hat sich dies jedoch grundlegend geändert, denn aktuell wird der Einsatz von UVC-Strahlung in der Raumluftechnik intensiv diskutiert.

Ultraviolettstrahlung zur Luftdesinfektion in Raumluftechnischen Geräten

Als Ultraviolettstrahlung (UV) bezeichnet man die elektromagnetische Strahlung, die zwischen der sichtbaren Grenze des kurz-

welligen Lichts der Sonnenstrahlung und dem Bereich der Röntgenstrahlung angesiedelt ist und zwischen 400 nm und 100 nm liegt. Man unterscheidet die folgenden Bereiche:

UVA 400 – 315 nm
UVB 315 – 280 nm
UVC 280 – 200 nm
UV_{Vakuum} < 180 nm

Strahlenquanten ≤ 185 nm spalten Sauerstoffmoleküle in Atome, die sich wiederum mit Sauerstoffmolekülen zu Ozonmolekülen (O₃) verbinden.

Für die Fragestellung der biologischen UV-Einwirkung auf Mikroorganismen steht vor allem der Wellenlängenbereich von UVC im Vordergrund des Interesses. Zur Wirkung der UVC-Strahlung auf biologische Materie muss daher eine Absorptionseffizienz in den wichtigsten biologischen Bausteinen, nämlich den Proteinen und Nucleinsäuren, vorhanden sein. Das Maximum des Absorptionsspektrums der charakteristischen Aminosäuren liegt bei 280 nm, das auch in den Proteinen und Nucleinsäuren additiv anzutreffen ist und bei etwa 260 nm liegt. So zeigt sich, dass die bakterizide Wirkung von UVC-Strahlung und das Absorptionsspektrum von DNS (Desoxyribonucleinsäuren) bei etwa 260 nm ein Maximum hat (Bild 1). Somit wirkt die Strahlung

auf den Zellkern ein und ist in diesem Spektralbereich prinzipiell in der Lage, Mikroorganismen abzutöten, indem die Vermehrungsfähigkeit durch die Schädigung des Erbguts gehemmt wird. Diese Abtötungswirkung der Mikroorganismen dient Desinfektions- und Sterilisationsmaßnahmen und damit in der Hygiene der Verhütung von Infektionen. Sie dient der gezielten Entkeimung mit dem Zweck, die Übertragung pathogener Keime zu verhindern, während dagegen bei der Sterilisation die Abtötung sämtlicher vorhandener Keime erfolgt.

Speziell für die Desinfektion eignen sich künstliche Strahlungsquellen (Hg-Niederdruckstrahler), die als Gasentladungslampen im Wesentlichen die Spektrallinien bei 185 nm und 254 nm Wellenlänge zur Emission anregen. Da die Photonen der Spektrallinie bei 185 nm genügend energiereich sind, um Sauerstoff-Moleküle zu spalten, kann Ozon gebildet werden. Dieses Gas wirkt als starkes Oxidationsmittel zwar nun selbst entkeimend, gleichzeitig hat es eine negative Auswirkung als Reizgas auf die Schleimhäute des Menschen. Es steht im Verdacht, Krebs zu erzeugen, so dass die Bildung von Ozon nur in bestimmten Ausnahmefällen zugelassen werden darf und generell vermieden werden soll. Um die Ozonbildung zu vermeiden, werden die Strahlungsquellen mit einem Glasmaterial hergestellt, das die Spektrallinie bei 185 nm absorbiert. Damit werden Strahlungsquellen eingesetzt, deren Wirkung praktisch ausschließlich auf der Emission der Spektrallinie bei 254 nm beruht³⁾.

Die Inaktivierung der Mikroorganismen geschieht augenblicklich. Ihr Ausmaß hängt von der UVC-Strahlungsdosis ab. Eine Resistenz gegen UVC-Strahlung können Keime nicht aufbauen. Zur Abtötung von Mikroorganismen wird im allgemeinen eine Strahlungsdosis von üblicherweise 20 bis 100 Ws/m² benötigt, wobei einzelne Organismen sehr unterschiedliche Strahlungsempfindlichkeiten aufweisen, die von 7 Ws/m² (Escherichia coli in Luft) bis zu 1 000 Ws/m² (Pilze) reichen können. Die Strahlungsdosis wird als Strahlungsenergie pro Flächeneinheit angegeben:

- Strahlungsstärke (W/m²) = Strahlungsleistung (W) / Fläche (m²)
- Strahlungsdosis (Ws/m²) = Strahlungsstärke (W/m²) x Einwirkzeit (s)

Sie ist also das Produkt aus Bestrahlungsstärke und der Bestrahlungszeit. Als D₁₀-Werte bezeichnet man die UVC-Strahlungsdosis, die eine bestimmte Ausgangskeimanzahl um eine Zehnerpotenz (Log-Stufe) vermindert (um 90 Prozent). **Tabelle 1**

F U ß N O T E N

- 1) Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem, basierend auf dem Feinstaubabscheidegrad (ePM) (ISO 16890–1:2016); Deutsche Fassung EN ISO 16890–1:2016.
- 2) Kaup, C.: Ultraviolettstrahlung zur Luftdesinfektion in RLT-Geräten. HLH bd. 51 (2000) Nr. 07, S. 24-31.
- 3) Schmidt-Burbach, Gerhardt M.: Die Ultraviolettstrahlung und ihre Anwendung zur Desinfektion und Sterilisation, Biotechnische Umschau 1 (1977) Heft 11.
- 4) Philips Produkt-Information. Desinfektion mit UV-Strahlung – Strahlungsquellen, technische Hinweise, Anwendung, 1995
- 5) Wallhäußer, Karl-Heinz: Praxis der Sterilisation – Desinfektion – Konservierung, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1995.
- 6) Heßling, M.; Hönes, K.; Vatter, P.; Lingenfelder, P.: Ultraviolette Bestrahlungsdosen für die Inaktivierung von Coronaviren – Review und Analyse von Coronavirusinaktivierungsstudien.

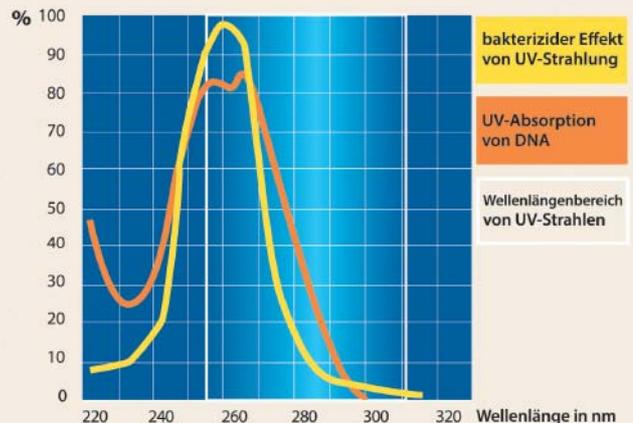


Bild 1: Spektrum / Abtötung von Mikroorganismen. Grafik: Schiller-Krenz

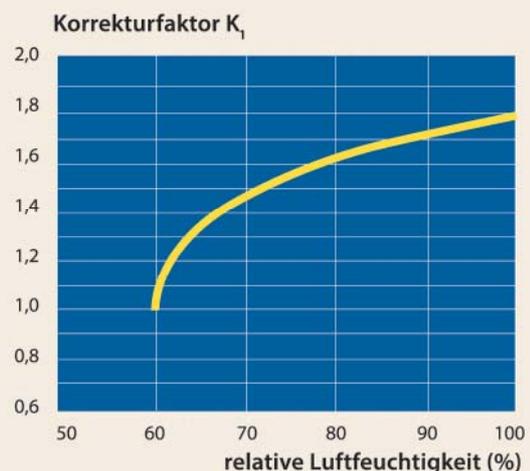


Bild 2: Zusammenhang relative Feuchte und erforderliche Dosis. Grafik: Schiller-Krenz

	90 %ige Entkeimung	99,9 %ige Entkeimung
	1 x D ₁₀ Dosis	3 x D ₁₀ Dosis
Escherichia coli (Luft)	7 Ws/m ²	21 Ws/m ²
Legionella pneumophila	9 Ws/m ²	27 Ws/m ²
Staphylococcus aureus	22 Ws/m ²	66 Ws/m ²
Influenza A	34 Ws/m²	102 Ws/m²
Salmonella enteritidis	40 Ws/m ²	120 Ws/m ²
Corona Viren SARS-CoV-2	40 Ws/m²	120 Ws/m²
Pseudomonas aeruginosa	55 Ws/m ²	165 Ws/m ²

Tabelle 1: Dosiswerte für die wichtigsten Hospitalismuskeime^{4), 5), 6)}

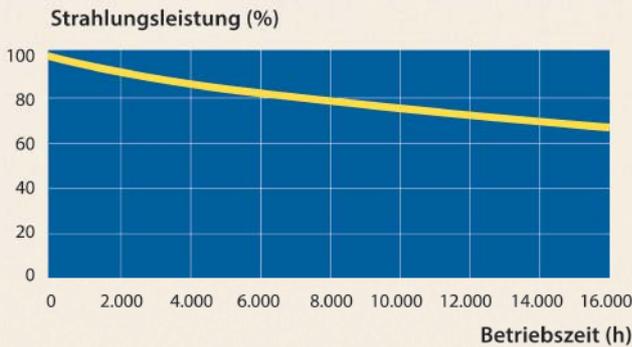


Bild 3: Strahlungsleistung von UVC-Niederdruckstrahlern zur Betriebsdauer. Grafik: Schiller-Krenz

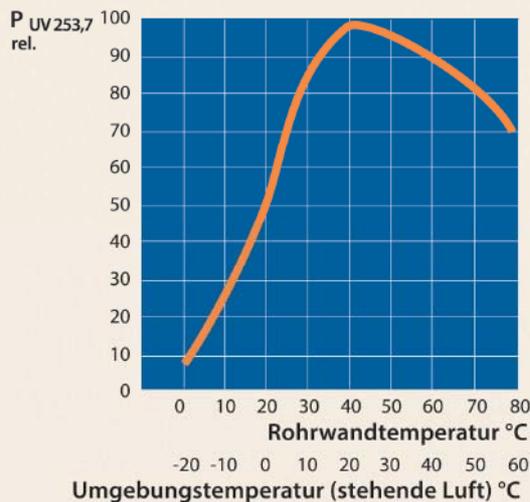


Bild 4: Zusammenhang UVC-Leistung in Abhängigkeit der Temperatur. Grafik: Schiller-Krenz

zeigt als Beispiel Dosiswerte für die wichtigsten Keime im Krankenhausbereich.

Der Entkeimungseffekt ist darüber hinaus vom Grad der Luftverschmutzung (Schattenbildung) und der Luftfeuchtigkeit abhängig. Bereits bei 80 Prozent relativer Feuchte sind die Luftkeime mit einer Wasserhaut umgeben, die eine bis Faktor 5 geringere Empfindlichkeit der Keime gegenüber UVC-Strahlung im Vergleich zu trockener Luft zur Folge haben kann (Bild 2). Eine Luftfilterung ist damit auch zur Reduzierung der Staubbelastung und somit der Verringerung der Schattenbildung zwingend erforderlich.

Einsatz der UV-Luftdesinfektion in RLT-Geräten

Für die Luftdesinfektion, das heißt die Reduzierung des Luftkeimgehaltes auf einen möglichst niedrigen Pegel, können prinzipiell neben der Luftfilterung die UVC-Bestrahlung, Ozon und die chemische Desinfektion eingesetzt werden. Hiervon scheidet im Allgemeinen Ozon und die chemische Desinfektion wegen ihrer Giftigkeit im Dauerbetrieb für den Menschen aus. Somit verbleibt in RLT-Geräten zur Desinfektion im Dauerbetrieb neben der mechanischen Filterung die UV-Entkeimung mittels UVC-Strahlung, und zwar speziell für die Räume, in denen eine aerogene Infektion prinzipiell möglich ist.

Das Keimvorkommen im Luftstrom kann verschiedenen Ursprungs sein. So können eine verkeimte Außenluft oder Umluftanteile mit einer Keimbelastung eine Rolle spielen, genauso wie verkeimte Oberflächen von Komponenten, Befeuchtern, Kühlern, Filtern innerhalb des RLT-Geräts. Grundsätzlich ist die Bestrahlungskammer im RLT-Gerät so zu dimensionieren, dass eine auf pathogene Keime bezogene Bestrahlungsdosis (etwa 20 bis 100 Ws/m²) im Durchgang mindestens zu einer über 90 bis 99 prozentigen Inaktivierungsrate führt. Besonders vegetativ pathogene Keime können durch die UVC-Bestrahlung deutlich reduziert werden.

Es muss betont werden, dass eine UVC-Bestrahlung eine mechanische Filterstufe nicht ersetzen kann. Vielmehr ist die UVC-Strahlungsaktivierung eine ergänzende Maßnahme zur mechanischen Filterung. Sie kann aber als Alternative zum HEPA-Filter (High Efficiency Particulate Air filter) eingesetzt werden. Die Lebensdauer der verwendeten Strahler liegt bei etwa 16 000 Stunden.

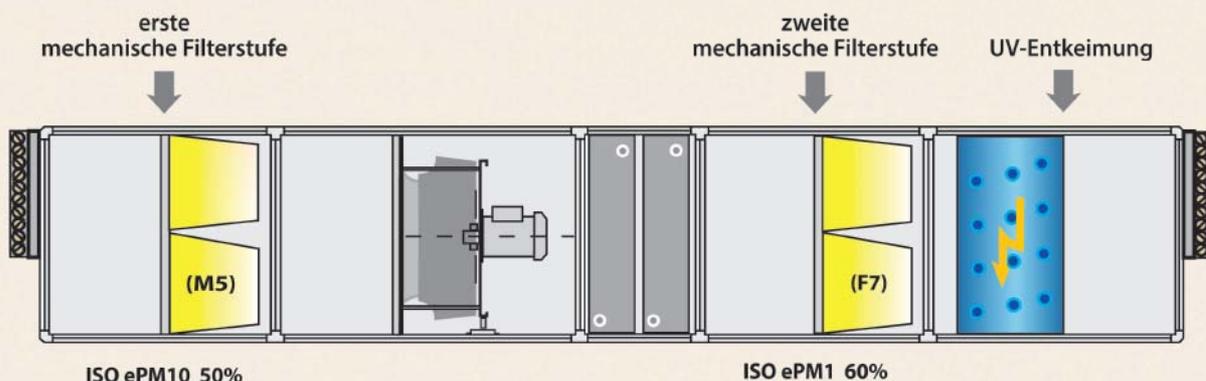


Bild 5: UVC-Bestrahlungskammer im RLT-Gerät. Grafik: Schiller-Krenz

den bei maximal drei Schaltungen pro Tag. Der mittlere Strahlungsabfall am Ende der Lebensdauer beträgt etwa 25 Prozent (Bild 3). Die optimale Umgebungstemperatur der Strahler liegt bei 20 bis 30 °C (Bild 4). Damit sollte die Bestrahlungskammer nicht nur aus Gründen der Desinfektion am Ende des RLT-Gerätes angeordnet werden, sondern auch wegen der vorhandenen Umgebungsparameter, die hier bei etwa 22 °C und 30 bis 60 Prozent relative Feuchte liegen (Bild 5). Dieser Hinweis findet sich auch in der VDI-Richtlinie 3803 Blatt 1 7).

Zur optimalen Entkeimung sollte die innere Schale der Bestrahlungskammer mit UV-Strahlen reflektierendem, vorbehandeltem Aluminium hergestellt werden, das eine hohe passive Strahlungsdosis gewährleistet. Der Reflexionsgrad von Stahlblechen liegt bei etwa 25 bis 30 Prozent, der von behandeltem Aluminium bei 70 bis 75 Prozent. Durch die Passivstrahlung mittels Reflexion kann dann die Strahlungsintensität um den Faktor 1.2 bis 1.85 erhöht werden (Bild 6) 8).

Daneben ist die laufende Überwachung der Strahlungsintensität der UVC-Strahlung zwingend notwendig, um eine ausreichende Strahlendosis auch dauerhaft zu gewährleisten. Zur Überwachung der Strahler sollten Betriebsstundenzähler und Strommessgeräte verwendet werden. Alternativ bieten sich UVC-Strahlungssensoren an, die einen Rückgang der Strahlungsleistung durch Beschattungseffekte und Verschmutzung bei Bedarf sogar online und stetig erfassen können.

Des Weiteren hat die Positionierung direkt nach der zweiten Filterstufe den Vorteil, dass zum einen das Filtermedium der zweiten Stufe auf der Reinluftseite mit UVC-Licht direkt bestrahlt wird und ein weiterer Entkeimungseffekt der Filteroberfläche zu erwarten ist und zum anderen die UV-Strahler optimal vor Schmutzpartikeln geschützt sind und damit Beschattungseffekte vermieden werden (Bild 7, Bild 8).

© VDI Fachmedien GmbH & Co. KG, Düsseldorf 2020

F U ß N O T E N

- 7) VDI 3803 Blatt 1: Raumlufttechnik – Bauliche und technische Anforderungen – Zentrale RLT-Anlagen (VDI-Lüftungsregeln), 05/2020.
8) N.N.: Philips UV-Strahlung, 5/1995.

F O R T S E T Z U N G F O L G T

Im zweiten Teil des Fachbeitrags werden die Ausführung und Wirkung der mechanischen Luftfilterung, der UVC-Strahlung und die Kombination beider Verfahren auf Bakterien und Viren ausführlich beschrieben, ebenso der Einsatz von Ozon als Oxydationsmedium. Er erscheint in der nächsten Ausgabe der HLH (Bd. 71 (2020) Nr. 11-12).



**Prof. Dr.-Ing.
Christoph Kaup**

ist Honorarprofessor am Umwelt-Campus Birkenfeld und Geschäftsführender Gesellschafter der Howatherm Klimatechnik GmbH, Brücken.

Bild: SchillerKrenz

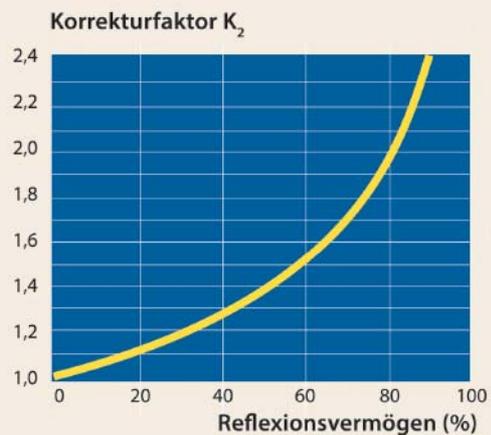


Bild 6: Zusammenhang Reflexionsvermögen und erforderliche Dosis.
Grafik: Schiller-Krenz

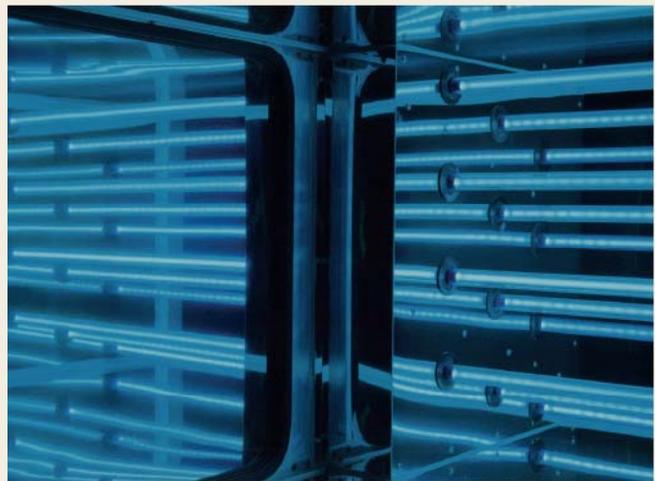


Bild 7: Hochreflektierende UVC-Bestrahlungskammer im RLT-Gerät.
Bild: Schiller-Krenz



Bild 8: Schaltschrankeinheit im RLT-Gerät. Bild: Schiller-Krenz