

Teil 2

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

Im ersten Teil dieses Fachbeitrags (HLH Bd. 71 (2020) Nr. 10) wurden die positive Beeinflussung der Luftqualität von Innenräumen in Gebäuden und der Wirkungsbereich durch den Einsatz der UVC-Strahlung zur Desinfektion in RLT-Geräten detailliert beschrieben. Im zweiten Teil werden nun die Ausführung und Wirkung der mechanischen Luftfilterung, der UVC-Strahlung sowie die Kombination beider Verfahren auf Bakterien und Viren erörtert.

TEXT: Christoph Kaup

Mechanische Filterstufen werden in RLT-Anlagen meist in Form von Taschenfiltern eingesetzt. Nach VDI 3803 Blatt 1 soll eine Filterqualität von mindestens ISO ePM1 60 % zur Sicherstellung der Zuluftqualität eingesetzt werden. Mit dieser Filterqualität werden in der Regel Partikel in der Größenordnung um $0,3 \mu\text{m}$ mit etwa 40 bis 60 Prozent abgeschieden. Die meisten Bakterien haben einen Durchmesser von etwa $0,4$ bis $1 \mu\text{m}$, während Viren einen Durchmesser von 20 bis etwa 300 nm haben. Messungen beim Institut für Lufthygiene in Berlin zeigten jedoch eine deutlich höhere Abscheiderate von Bakterien, als dies bei der Größe der Bakterien zu erwarten war. Beim verwendeten Test-Bakterium *Micrococcus luteus* wurde mit einem ISO ePM1 50 % Filter (ehemals F7) eine Abscheiderate von $1.356 \text{ KBE}/\text{m}^3$ (KBE = Koloniebildende Einheit) auf $135 \text{ KBE}/\text{m}^3$, also 90 Prozent erreicht, obwohl das genutzte Bakterium mit einer Größe von etwa $0,5 \mu\text{m}$ theoretisch nur mit rund 60 bis 70 Prozent hätte abgeschieden werden dürfen. Eine weitere Messung mit einem ISO ePM1 80 % (ehemals F9) ergab eine Abscheideleistung von $1.405 \text{ KBE}/\text{m}^3$ (vor dem Filter) auf $120 \text{ KBE}/\text{m}^3$ (nach dem Filter), also von 91,5 Prozent (Bild 9).

Weiterführende Messungen wurden im Rahmen einer Industrieforschung am Institut für Laboratoriums- und Transfusionsmedizin, Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen, Uni-

versitätsklinik der Ruhr-Universität Bochum, Bad Oeynhausen durchgeführt. Dort wurde zur Überprüfung des Rückhaltevermögens von M5- und F7-Filtern eine standardisierte RLT-Anlage untersucht, die mit kommerziell erhältlichen Taschenfilterelementen ausgerüstet war. In die Versuchs-RLT-Anlage wurden über einen Aerosolgenerator definierte Virenmengen eingebracht. Der mediane Durchmesser der erzeugten Aerosolpartikel lag bei $3,8 \mu\text{m}$. Sowohl für die Bestimmung der Infektiosität als auch für die PCR (Polymerase-Kettenreaktion, englisch: polymerase chain reaction) erfolgte die Luftprobenahme am Luftauslass mittels Membranfiltration. Die Analyse der Verweilzeit des Bakteriophagen MS2 in einer RLT-Modellanlage zeigte, dass selbst nach vier Stunden noch mehr als 100 infektiöse Partikel pro Kubikmeter Zuluft nachweisbar waren. Die Virenfamilie MS2, auch Leviviridae genannt, wird ebenfalls als Bakteriophagen bezeichnet. Ähnliche Ergebnisse wurden ebenfalls für andere Viren ermittelt. Selbst komplexe Viren scheinen eine entsprechend hohe Stabilität in Luftströmen zu haben. Auch für das SARS-CoV-2 Virus¹⁰⁾ wurde eine Stabilität in Luft von mehreren Stunden nachgewiesen¹¹⁾.

Daher wurde untersucht, welches Rückhaltevermögen mechanische Filterelemente in RLT-Anlagen für Viren haben. Als Stand der Technik sind für den Umluftbetrieb mindestens ISO ePM10 50 % (ehemals M5) Filterelemente vorgesehen, während für Zuluftsysteme mindestens ein ISO ePM1 50 % (e-

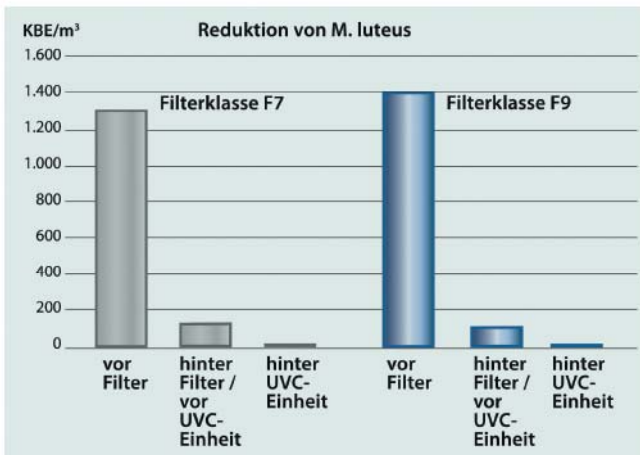


Bild 9: Abscheideleistung von Bakterien bei Feinfiltern⁹⁾.
Grafik: Schiller-Krenz

mals F7) Filterelement in RLT-Anlagen einzusetzen ist. Diese Forderung gilt auch für die Filterung von Mischluft.

Bei Integration eines M5- oder F7-Filterelementes im Prüfstand wurde deutlich, dass Aerosole des Virus MS2 nicht vollständig durch diese Filterelemente zurückgehalten werden. Damit kam es zwar zu einer mechanischen Reduzierung der Viren um eine log-Stufe (ISO ePM1 50 % ehemals F7) beziehungsweise 0,2 log-Stufen (ISO ePM10 50 % ehemals M5) im Vergleich zu der Kontrolle ohne Filter, jedoch ist diese insbesondere beim M5-Filterelement wenig effektiv (Bild 10).

Das Ergebnis ist trotzdem sehr positiv zu bewerten und erstaunlich, da der Durchmesser des untersuchten Virus bei etwa 30 nm liegt. Demnach beruht die Abscheideleistung nicht auf der direkten Abscheidung der Viren, sondern auf der indirekten Abscheidung der erzeugten Aerosolpartikel. Die Viren werden quasi „Huckepack“ in und mit den Aerosolpartikeln abgeschieden.

Gerade die aktuelle Diskussion zum Corona-Virus hat deutlich gemacht, dass der Hauptübertragungsweg für SARS-CoV-2 die respiratorische Aufnahme virushaltiger Flüssigkeitspartikel ist, die beim Atmen, Husten, Sprechen und Niesen entstehen. Je nach Partikelgröße unterscheidet man zwischen Tröpfchen (größer als 5 µm) und Aerosolen (feinste luftgetragene Flüssigkeitspartikel und Tröpfchenkerne, kleiner als 5 µm), wobei der Übergang zwischen beiden Formen fließend ist. Während insbesondere größere respiratorische Tröpfchen schnell zu Boden sinken, können Aerosole sogar über längere Zeit in der Luft schweben und sich in geschlossenen Räumen verteilen¹²⁾. Diese Aerosole werden jedoch wirksam mit rund 90 Prozent Abscheidegrad durch Feinfilter mindestens der Qualität ISO ePM1 50 % (ehemals F7) abgeschieden. Damit kann auch für heute übliche Filterstufen eine signifikante Reduktionswirkung auf Viren festgehalten werden.

Wirkung der UVC-Strahlung auf Viren

Nach Etablierung des Phagen-Modellsystems wurde zur Überprüfung der aerogenen Transmission von Viren über RLT-Anlagen ein eukaryontisches Modellvirus zur Prüfung der gewonnenen Ergebnisse verwendet. Das Feline Calicivirus (FCV) wird als Modellvirus für humane Noroviren eingesetzt, beispielsweise zur Prüfung von Desinfektionsmitteln.

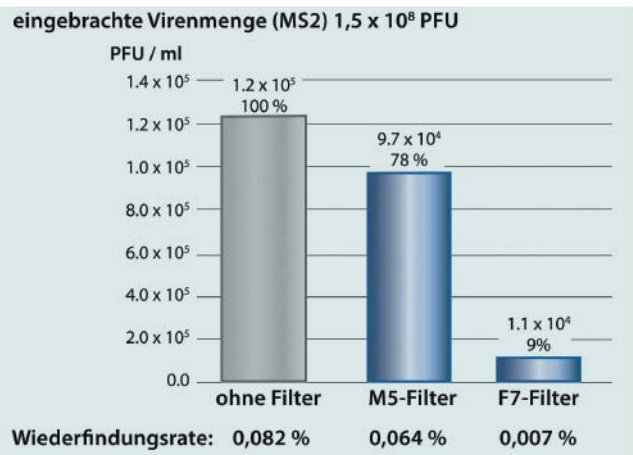


Bild 10: Abscheideleistung (PFU) von Viren bei Fein- und Mediumfiltern¹¹⁾.
Grafik: Schiller-Krenz

In dieser Untersuchungsreihe kam eine UVC-Bestrahlung mit Phillips-Röhren (2 x 95 W pro Moduleinheit für jeweils 400 m³/h) zum Einsatz. Die Anlage wurde ohne Filterung eingesetzt. In der Versuchsreihe wurde der Titer der FCV-Suspension nach zehn Minuten Vernebelung ohne UVC-Strahlung ermittelt und mit den Ergebnissen mit UVC-Strahlung verglichen. Es konnte eine Reduktion der Feline Caliciviren im Durchschnitt von vier log-Stufen ermittelt werden (Bild 11).

Es wurden zwei weitere Versuchsreihen an unterschiedlichen Tagen mit der Anlage durchgeführt. In beiden Versuchsreihen konnte unter gleichen Bedingungen eine Reduktion des Feline Calicivirus im Durchschnitt von vier log-Stufen wiederholt erzielt werden (Bild 11). Der D₁₀-Dosiswert für das Feline Calicivirus¹⁴⁾ liegt bei 60 Ws/m². Die gewonnenen Daten belegen also die Effektivität von UVC-Modulen hinsichtlich der Inaktivierung luftgetragener Viren. Die Effizienz der Reduktion wird maßgeblich durch die Bauart der Anlage und durch die Intensität der UVC-Strahlung bedingt.

Ozon als Oxydationsmedium

Wie bereits ausgeführt, muss verhindert werden, dass Ozon als Reizgas in die klimatisierten Räume gelangt, in denen sich Menschen aufhalten. Unter gewissen Umständen ist allerdings der Einsatz von ozonbildenden UVC-Strahlern sinnvoll. Enthält zum Beispiel die Luft Geruchsstoffe, so können diese meist durch

F U ß N O T E N

- 9) Gutachten über die Wirksamkeit der UVC-Luftentkeimungseinheit Howatherm UV-Unit in Klimazentralgeräten in Kombination mit einer vorgeschalteten Filterstufe, ILH Berlin, 08/2000.
- 10) van Doremalen, N.; Bushmaker, T.; Morris, D. H.; Holbrook, M. G.; Gamble, A.; Williamson, B. N.; Tamin, A.; Harcourt, J. L.; Thornburg, N. J.; Gerber, S. I.; Lloyd-Smith, J. O.; de Wit, E.; Munster, V. J.: Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 compared to SARS-CoV-1.
- 11) Dreier, J.; Bermpohl, P.; Becker, P.; Kleeseik, K.: Transmission von Viren durch Raumluftechnische Anlagen und Inaktivierung durch UVC-Strahlung, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 68 (2008) Nr. 9 – September.
- 12) Kriegel, M.; Hartmann, A.: Ausbreitungsdistanz und -dynamik von Aerosolen in Innenräumen durch Konvektionsströme, DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10391>, HRI, TU-Berlin.

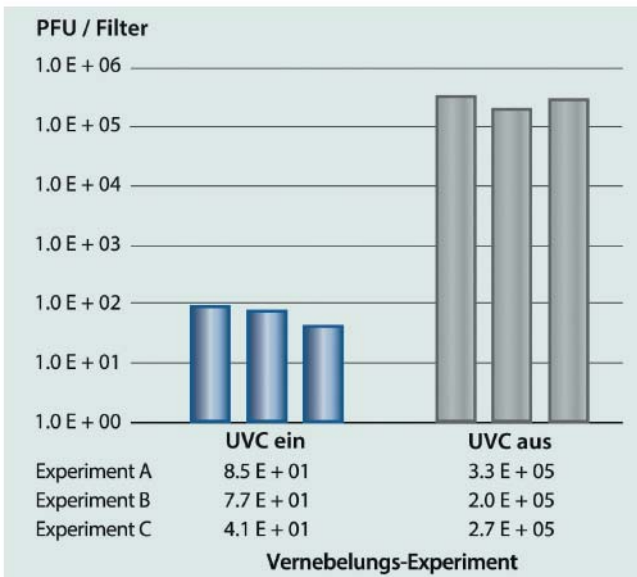


Bild 11: Reduktion Felines Calicivirus ohne und mit UVC-Strahlung in einer RLT-Anlage (Ergebnisse aus drei parallelen Versuchen an drei unabhängigen Untersuchungstagen)¹³⁾. Grafik: Schiller-Krenz

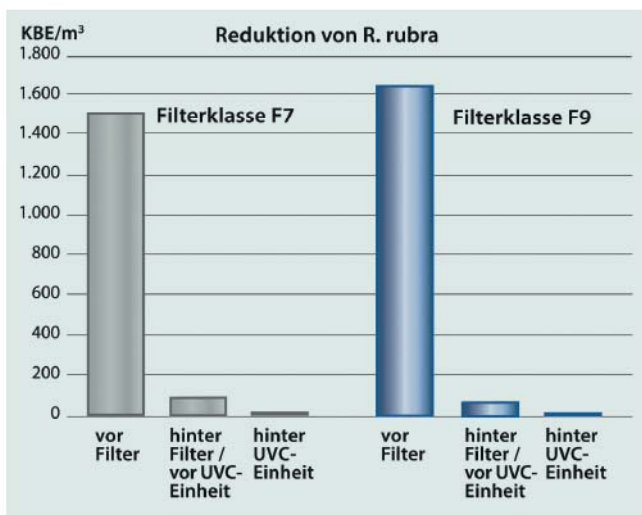


Bild 12: Abscheideleistung von Bakterien bei Feinfiltern¹⁵⁾. Grafik: Schiller-Krenz

Ozon oxidiert werden. Diesen Effekt bezeichnet man als sogenannte kalte Verbrennung. Auch ist Ozon (O₃) kein sehr stabiles Molekül. Die Halbwertszeit von Ozon beträgt bei 20 °C drei Minuten und wird gleichzeitig durch die vorhandene UVC-Strahlung bei 254 nm noch weiter verkürzt.

Somit kann bei längeren Luftverteilungsnetzen Ozon durchaus sinnvoll genutzt werden, um auch das Kanalsystem zu desinfizieren und organische Bestandteile im Luftstrom zu oxidieren. Beim Einsatz von Ozon als Oxidationsmittel ist auf eine entsprechende Materialwahl zu achten, da Korrosionsprozesse durch Ozon deutlich verstärkt werden. Durch eine entsprechende Überwachung mittels geeigneter Ozon-Sensorik kann dann eine Eintragung von Ozon in die zu klimatisierenden Räume wirkungsvoll verhindert werden. Falls eine Korrosion im Luftverteilungsnetz durch eine entsprechende Materialwahl nicht verhindert werden kann, sollte am Ende der Bestrahlungskammer ein Aktivkohleelement als Katalysator angeordnet werden, das einen Zerfall von Ozon in Sau-

erstoffmoleküle sicherstellt, bevor das Ozon das Kanalnetz erreicht. Vorteilhaft können auch am Ende der Bestrahlungskammer Kombinationsfilter, die aus einem Aktivkohle- und einem Partikelfilter bestehen, eingesetzt werden.

Kombination aus mechanischer Filterung und UV-Strahlungsdesinfektion

Gerade im Zusammenwirken mit der mechanischen Filterung ergibt sich eine hohe Zuverlässigkeit der Entkeimungsmaßnahme. Denn je kleiner die Keime in ihrem Durchmesser sind, desto schlechter wird die Abscheidewirkung der mechanischen Filterung. Umgekehrt proportional zum Durchmesser ist die Entkeimungswirkung der UVC-Bestrahlung zu bewerten, die tendenziell mit abnehmendem Durchmesser der Keime größer wird, da die Strahlungseindringtiefe steigt.

Zum Nachweis dieser These wurden am Institut für Lüftthygiene weitere Keime in der Kombination aus mechanischer Filterung und UVC-Bestrahlung untersucht.

In Bild 9 ist ebenfalls zu erkennen, dass die Kombination aus Luftfilter und UVC-Entkeimungseinheit insgesamt zu einer Verringerung der Konzentration an *Micrococcus luteus* in der Luft führte, mit Filter ISO ePM1 50 % (ehemals F7) um 99,6 Prozent und mit Filter ISO ePM1 80 % (ehemals F9) bis 99,7 Prozent.

Die Luftfilter der Filterklasse ISO ePM1 50 % erreichten eine Verringerung der Hefenkonzentration (*Rhodotorula rubra*) von 1.624 KBE/m³ auf 49 KBE/m³. Hinter der UVC-Einheit (Stufe 3) lag die Konzentration bei 10 KBE/m³. Analog hierzu führten auch die Luftfilter der Filterklasse ISO ePM1 80 % zu einer starken Verringerung der Konzentration von ursprünglich 1.752 auf 21 KBE/m³. Hinter der UVC-Einheit konnten anschließend noch 4 KBE/m³ nachgewiesen werden. Die Kombination Luftfilter und UVC-Entkeimungseinheit bewirkte insgesamt eine Verringerung der Konzentration an *R. rubra* in der Luft um 99,4 bis 99,8 Prozent.

Abschließend wurde die Konzentration an Schimmelpilzen in der angesaugten Außenluft durch die Luftfilter der Filterklasse ISO ePM1 50 % (F7) untersucht, die sich von 4.016 auf 62 KBE/m³ reduzierte. Durch die UVC-Einheit (Stufe 3) kam es zu einer weiteren Reduktion auf 51 KBE/m³. Die Luftfilter der Filterklasse F9 führten zu einer Verringerung der Schimmelpilzkonzentration von 3.551 auf 50 KBE/m³. Hinter der UV-Einheit wurden 40 KBE/m³ nachgewiesen. Die Kombination Luftfilter und UVC-Entkeimungseinheit führte insgesamt zu einer Verringerung der Konzentration an Schimmelpilzen aus der angesaugten Außenluft um 98,7 bis 98,9 Prozent. Dabei ist am Beispiel der Schimmelpilze gut zu erkennen, dass die mechanische Filte-

F U ß N O T E N

- 13) Kleeseik, K.: Analyse der Verbreitung aerogener Viren über Raumlufttechnische Anlagen und Entwicklung von Desinfektionsmaßnahmen, Forschungsvorhaben S 770 gefördert durch die Stiftung Industrieforschung, 2009.
- 14) Thurston-Enriquez, J.; Haas, C.; Jacangelo, J.; Riley, K.; Gerba, C.: Inactivation of Feline Calicivirus and Adenovirus Type 40 by UV Radiation, *Appl Environ Microbiol.* 2003 Jan; 69 (1): pp.: 577-582.
- 15) Gutachten über die Wirksamkeit der UVC-Luftentkeimungseinheit Howatherm UV-Unit in Klimazentralgeräten in Kombination mit einer vorgeschalteten Filterstufe, ILH Berlin, 08/2000.
- 16) Wallhäuser, Karl-Heinz: Praxis der Sterilisation – Desinfektion – Konservierung, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1995.

rung nahezu die Hauptaufgabe der Abscheideleistung übernimmt, während bei diesem Beispiel die Entkeimungswirkung durch die UVC-Strahlung mit rund 20 Prozent sehr gering ausfällt.

Dass die Wirkung in der Praxis nachweisbar ist, bestätigen die Messungen, die am Institut für Lufthygiene der TU Berlin durchgeführt wurden. Durch die Bestrahlung mit zwölf Strahlern (jeweils 40 W) konnte eine Entkeimungswirkung bezogen auf das Test-Bakterium *Micrococcus luteus* von über 99 Prozent erreicht werden. Da die Letaldosis¹⁶⁾ (99,9 Prozent Reduktion) des verwendeten Test-Bakteriums *Micrococcus luteus* bei 264 Ws/m³ im Gegensatz zu 120 Ws/m³ des SARS-CoV-2 liegt, kann eine stärkere Wirkung auf die wichtigsten Hospitalismuskeime erwartet werden.

Schlussfolgerung

Aus den Ausführungen wird ersichtlich, dass eine UVC-Bestrahlung im Luftstrom zu einer deutlichen Keimreduzierung führt und damit eine effektive Bekämpfung des Keimwachstums in RLT-Geräten darstellt. Allerdings macht eine UVC-Entkeimung nur in Verbindung mit der mechanischen Filterung Sinn. Einsatzgebiete sind speziell alle Bereiche, in denen eine aerogene Übertragung von pathogenen Keimen möglich ist, aber auch Bereiche der Lebensmittelindustrie und vergleichbare Umgebungen.

Daneben wird auch deutlich, dass sich die Anforderungen an die UVC-Entkeimung nach dem geforderten Desinfektionsgrad richten müssen, wobei die abzutötenden Keime zu definieren sind. Die UVC-Entkeimung ist eine Alternative zur HEPA-Filterung. Der Vorteil dieser Technik liegt darin, dass die UVC-Strahlung ein biologisches Filter darstellt, das keine Keim-Resistenzen erzeugt. Auch akkumulieren sich keine Keime im Filter, wie dies

bei mechanischen Filtern der Fall ist. Zudem verbraucht eine UVC-Bestrahlung nur dann Energie wenn sie benötigt wird. Der Druckverlust ist praktisch nicht vorhanden. Dabei muss fallweise geprüft werden, ob Ozon als Oxydationsmittel eingesetzt werden kann oder muss. Eine schädliche Ozon-Konzentration im Raum muss jedenfalls zwingend vermieden werden. Wenn möglich, sollten auch korrosionsgefährdete Bereiche durch Ozon-Katalysatoren geschützt werden.

Abschließend sollte erwähnt werden, dass eine direkte UVC-Bestrahlung auch auf den Menschen negative Auswirkungen hat. Bei direkter UVC-Bestrahlung kommt es zu Hauterythemen (Sonnenbrand) und zu Konjunktivitis (Bindehautentzündung). Hier ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die indirekte Bestrahlung des Zuluftstroms im RLT-Gerät unkritisch ist, da keine direkten Strahlungsanteile in den zu klimatisierenden Raum gelangen können und das Wartungspersonal durch Türkontaktschalter gegen eine unbeabsichtigte Strahlung geschützt wird. ■



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

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