

HLH

Heizung
Lüftung/Klima
Haustechnik

Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Organ der VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (VDI-TGA)

Sonderdruck

UV-Bestrahlungskammer im RLT-Gerät

Raumlufttechnik

Optimierung der
Betriebsweise raumluf-
technischer Anlagen

Hermann-Rietschel-Colloquium

Freie Lüftung in
Bürogebäuden

Verbrauchserfassung

Platinsensoren für die
Wärmemengenmessung

Entkeimung

Ultraviolettstrahlung zur Luftdesinfektion in RLT-Geräten

Christoph Kaup, Brücken

Ultraviolettbestrahlung in Raumlufttechnischen Anlagen wurde bisher sehr erfolgreich zur Wasserentkeimung in Luftwäschern eingesetzt. Aber die direkte Bestrahlung des Zuluftvolumenstromes kam bisher praktisch nicht zur Anwendung. Im Folgenden soll daher die Wirkungsweise und die Praxistauglichkeit der UV-Bestrahlung in der Raumlufttechnik detailliert dargestellt werden.

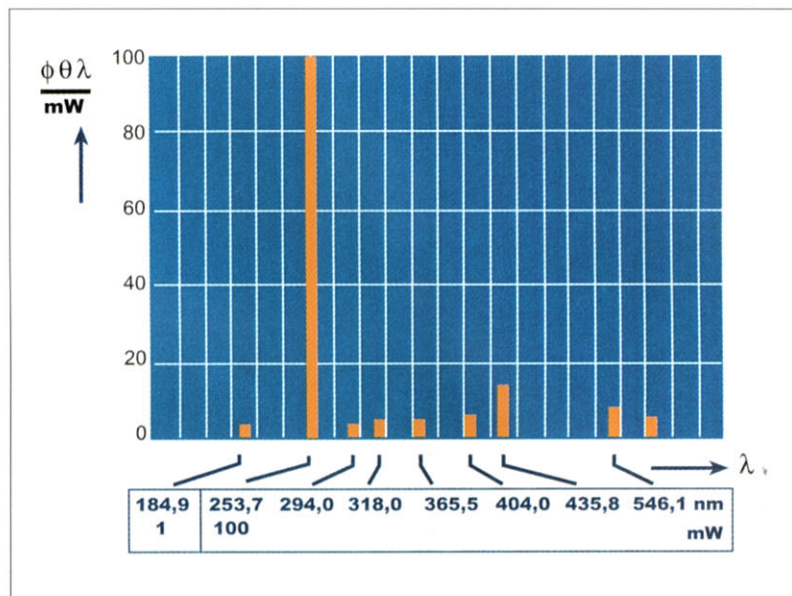


Bild 1

Niederdruck-Entladespektrum für Quecksilber

Als Ultraviolettstrahlung (UV) bezeichnet man die elektromagnetische Strahlung, die zwischen der sichtbaren Grenze des kurzwelligen Lichts der Sonnenstrahlung und dem Bereich der Röntgenstrahlung angesiedelt ist und zwischen 400 nm und 100 nm liegt.

Man unterscheidet die folgenden Bereiche:

UV A	400	–	315	nm
UV B	315	–	280	nm
UV C	280	–	200	nm
UV Vakuum	< 180 nm			

Strahlenquanten ≤ 185 nm spalten Sauerstoffmoleküle in Atome, die sich wiederum mit Sauerstoffmolekülen zu Ozonmolekülen (O_3) verbinden. Für die Fragestellung der biologischen UV-Einwirkung steht vor allem der Wellenlängenbereich von UVC im Vordergrund des Interesses. Zur Wirkung der UV-Strahlung auf biologische Materie muss daher eine Absorptionseigenschaft in den wichtigsten biologischen Bausteinen, nämlich den Proteinen und Nukleinsäuren vorhanden sein. Das Maximum des Absorptionsspektrums der charakteristischen Aminosäuren liegt bei 280 nm, das damit auch in den Proteinen und Nukleinsäuren additiv anzutreffen ist und bei ca. 260 nm liegt. So zeigt sich,

dass die bakterizide Wirkung von UVC und das Absorptionsspektrum von DNS (Desoxyribonucleinsäuren) ein Maximum bei etwa 260 nm haben.

Damit ist die Annahme berechtigt, dass die UV-Strahlung auf den Zellkern einwirkt und somit eine Strahlung im Spektralbereich um 260 nm prinzipiell in der Lage ist, Mikroorganismen abzutöten. Diese Abtötungswirkung der Mikroorganismen durch UVC-Strahlung um 260 nm dient Desinfektions- und Sterilisationsmaßnahmen und damit in der Hygiene der Verhütung von Infektionen. Hierbei dient die Desinfektion der gezielten Entkeimung mit dem Zweck die Übertragung pathogener Keime zu verhindern, während dagegen eine Sterilisation die Abtötung sämtlicher vorhandener Keime zur Aufgabe hat. Speziell für die Desinfektion eignen sich künstliche Strahlungsquellen (Hg Niederdruckstrahler), die als Gasentladungslampen im wesentlichen die Spektrallinien bei 185 nm und 254 nm

Autor



Dr.-Ing. Christoph Kaup, Jahrgang 1963, studierte Verfahrenstechnik bis 1985 mit Diplom, Anschließend Studium des Wirtschaftsingenieurwesens bis 1987 mit Diplom. 1992 Promotion zum Dr.-Ing. Seit 1993 Geschäftsführer eines Mittelstandsunternehmens für innovative Produkte der Lüftungs- und Klimatechnik.

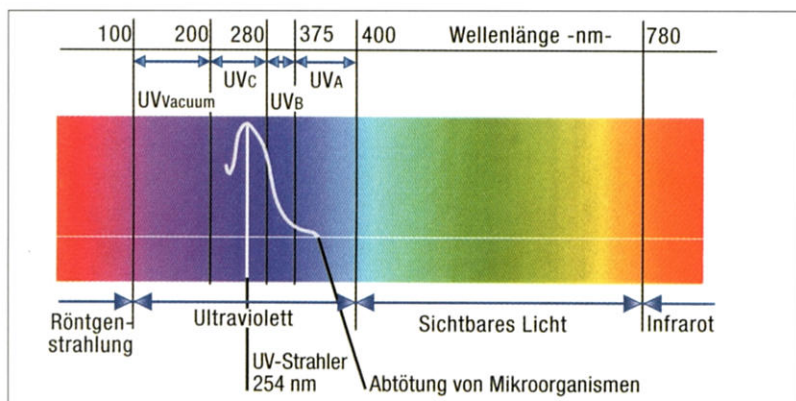


Bild 2

Spektrum / Abtötung von Mikroorganismen

Wellenlänge zur Emission anregen (siehe Bild 1). Da die Photonen der Spektrallinie bei 185 nm genügend energiereich sind, um Sauerstoffmoleküle zu spalten, wird Ozon gebildet. Dieses Gas wirkt zwar nun selbst entkeimend, indem es als starkes Oxidationsmittel wirkt, gleichzeitig wirkt Ozon aber auch als Reizgas auf die Schleimhäute des Menschen, so dass die Bildung von Ozon nur in bestimmten Ausnahmefällen zugelassen werden darf und generell vermieden werden sollte. 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 beruht [1] (Bild 2).

Die Inaktivierung der Mikroorganismen geschieht praktisch augenblicklich. Ihr Ausmaß hängt von der UVC-Dosis ab. Eine Resistenz gegen UVC-Strahlung kann nicht aufgebaut werden. Zur Abtötung von Mikroorganismen wird im allgemeinen eine Strahlungsdosis von 20 bis 100 W s/m² benötigt, wobei einzelne Organismen sehr unterschiedliche Strahlungsempfindlichkeiten aufweisen, die von 7 W s/m² (*Escherichia coli* in Luft) bis zu 1000 W s/m² (Pilze) reichen können. Die Strahlungsdosis wird als Strahlungsenergie pro Flächeneinheit angegeben:

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

Sie ist also das Produkt aus Bestrahlungsstärke und der Bestrahlungszeit. Als D₁₀-Werte bezeichnet man die UV-

Tabelle 1

Dosiswerte für die wichtigsten Hospitalismuskeime

	90 %ige Entkeimung 1xD ₁₀ Dosis	99,9 %ige Entkeimung 3xD ₁₀ Dosis
<i>Escherichia coli</i> (Luft)	7 W s/m ²	21 W s/m ²
<i>Legionella pneumophila</i>	9 W s/m ²	27 W s/m ²
<i>Staphylococcus aureus</i>	22 W s/m ²	66 W s/m ²
<i>Proteus vulgaris</i>	27 W s/m ²	81 W s/m ²
<i>Salmonella enteritidis</i>	40 W s/m ²	120 W s/m ²
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	55 W s/m ²	165 W s/m ²
<i>Bacterium subtilis</i>	60 W s/m ²	180 W s/m ²

Faktor zur Berechnung der erforderlichen Strahler bei Luftfeuchtigkeit > 60 %

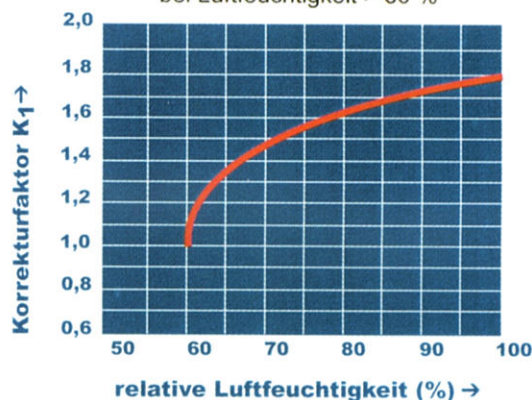


Bild 3

Zusammenhang relative Feuchte und erforderliche Dosis

Dosis, die eine bestimmte Ausgangskeimanzahl um eine Zehnerpotenz vermindert (auf 90 %).

Tabelle 1 zeigt z. B. Dosiswerte für die wichtigsten Keime im Krankenhausbereich.

Der Entkeimungseffekt ist auch vom Grad der Luftverschmutzung (Schatten effekt) und der Luftfeuchtigkeit abhängig. Bereits bei 80 % rel. Feuchte sind die Luftkeime mit einer Wasserhaut umgeben, die eine bis Faktor 5 geringere Empfindlichkeit der Keime gegenüber UV-Strahlung im Vergleich zur trockenen Luft zur Folge hat (Bild 3).

Eine Luftfilterung ist damit zur Reduzierung der Staubbelastung und somit zur Reduzierung der Schattenbildung zwingend erforderlich.

Einsatz in RLT-Geräten

Für die Luftdesinfektion, d.h. die Reduzierung des Luftkeimgehaltes auf einen möglichst niedrigen Pegel können prinzipiell neben der Luftfilterung die UV-Bestrahlung, Ozon und die chemische Desinfektion eingesetzt werden. Hiervon scheiden i.a. Ozon und die chemische Desinfektion wegen ihrer Giftigkeit im Dauerbetrieb aus.

Somit verbleiben zur Desinfektion in RLT-Geräten im Dauerbetrieb neben der mechanischen Filterung die UV-Entkeimung mittels UVC-Strahlung und zwar speziell für die Räume, in denen sich abwehrgeschwächte Patienten befinden wie Intensivstationen, Säuglingsstationen, oder solche Räume in denen sich viele Menschen befinden, bei denen eine aerogene Infektion prinzipiell möglich ist. Das Keimvorkommen in der Zuluft kann verschiedenen Ursprungs sein: verkeimte Außenluft oder Umluftanteile, Verkeimung der Komponenten, wie Befeuchter, Filter, etc. und durch verkeimte Oberflächen im RLT-Gerät. Grundsätzlich ist die Bestrahlungskammer im RLT-Gerät so zu dimensionieren, dass eine auf pathogene Keime bezogene Bestrahlungsdosis (ca. 20 bis 100 W s/m²) im Durchgang mindestens zu einer etwa 90 %igen Inaktivierungsrate

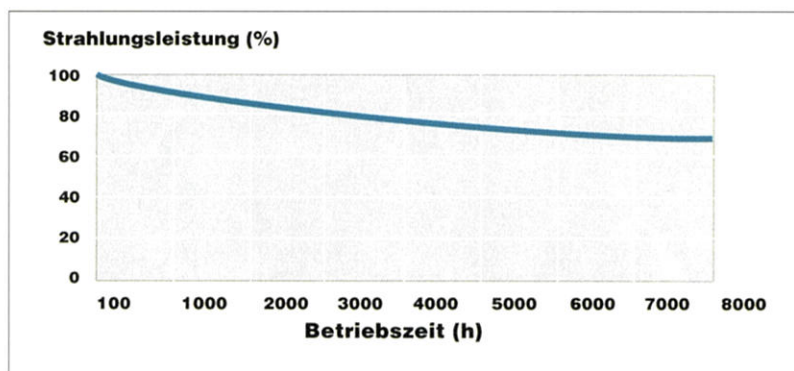
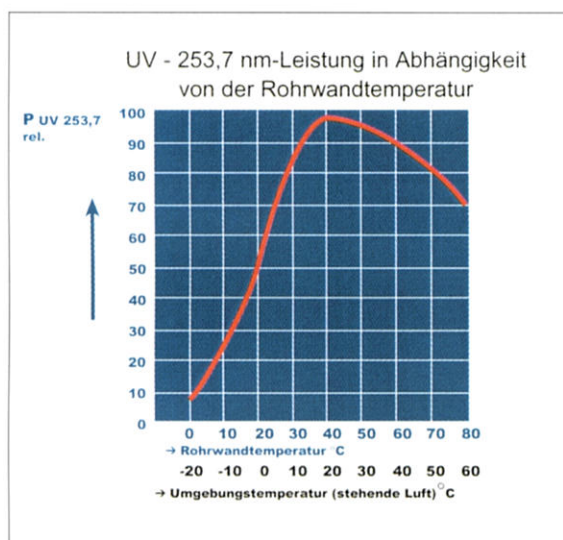


Bild 4

Strahlungsleistung von UV-Niederdruckstrahlern zur Betriebsdauer

Bild 5

Zusammenhang UV-Leistung in Abhängigkeit der Temperatur



führt. Besonders vegetativ pathogene Keime können durch die UVC-Bestrahlung deutlich reduziert werden. Es muss betont werden, dass eine UV-Bestrahlung ein endständiges Schwebstofffilter nicht grundsätzlich ersetzen kann. Vielmehr ist die UV-Inaktivierung eine ergänzende Maßnahme, insbesondere in den Raumklassen in denen nach DIN 1946 T. 4 eine dritte Filterstufe nicht zwingend gefordert wird und in den Anlagen, die mit Umluftanteilen arbeiten (Bild 4).

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 ist die Abscheidewirkung der mechanischen Filterung. Umgekehrt proportional zum Durchmesser ist die Entkeimungswirkung der UV-Bestrahlung zu bewerten, die tendenziell mit geringerem Durchmesser der Keime steigt.

Die Lebensdauer der verwendeten Strahler liegt bei ca. 8 000 bis 12 000 h bei max. drei Schaltungen pro Tag. Der mittlere Strahlungsabfall nach 8 000 h beträgt etwa 30 % (siehe Bild 3). Die optimale Umgebungstemperatur der Strahler liegt bei 20 bis 30 °C (Bild 5).

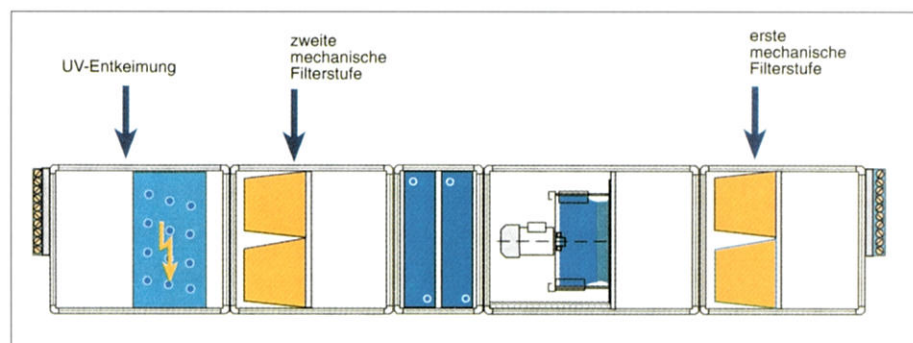


Bild 6

Grafische Darstellung der UVC-Bestrahlungskammer im RLT-Gerät

Damit sollte die Bestrahlungskammer nicht nur aus Gründen der Desinfektion am Ende des RLT-Gerätes angeordnet werden, sondern auch aus Gründen der vorhandenen Umgebungsparameter, die hier bei etwa 22 °C und 30 bis 60 % rel. Feuchte liegen (Bild 6).

Zur optimalen Entkeimung sollte die innere Schale der Bestrahlungskammer mit UV-reflektierendem, vorbehandel-

tem Aluminium hergestellt werden, das eine hohe passive Strahlungsdosis gewährleistet. Der Reflexionsgrad von Stahlblechen liegt bei ca. 25 bis 30 %, der von behandeltem Aluminium bei 70 bis 75 %. Durch die Passivstrahlung mittels Reflexion kann dann die Strahlungsintensität um den Faktor 1,2 bis 1,85 erhöht werden [2] (Bild 7).

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 UV-Sensoren an, die damit auch einen Rückgang der Strahlungsleistung durch Beschattungseffekte, Verschmutzung, etc. ebenfalls erfassen können (Bild 8 und Bild 9).

Des Weiteren hat die Positionierung direkt nach der zweiten Filterstufe den Vorteil, dass zum einen das Filtermedium der zweiten Stufe auf der Reinfluftsseite 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 der Schatteneffekt vermieden wird.

Ozon als Oxidationsmedium

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 z.B. die Luft Geruchsstoffe, so können diese meist durch Ozon oxidiert werden. Diesen Effekt bezeichnet man als s.g. kalte Verbrennung. Auch ist Ozon (O_3) 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.

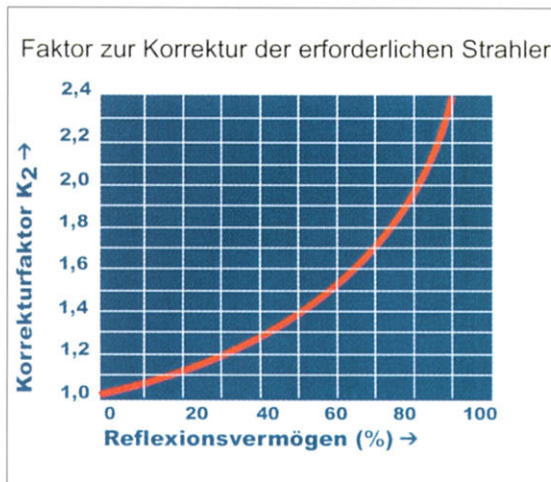


Bild 7

Zusammenhang Reflexion und erforderliche Dosis

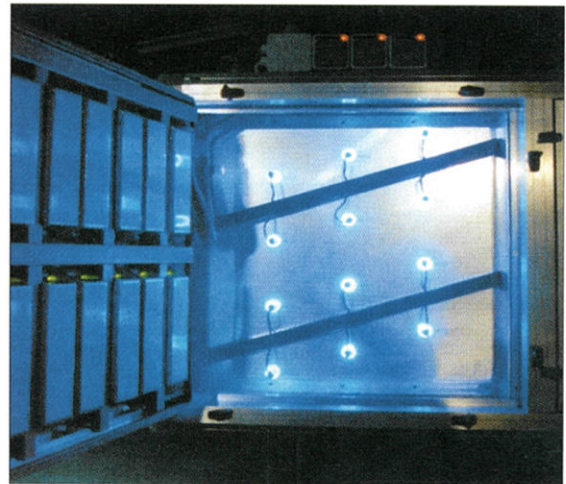


Bild 8

Schaltschrankeinheit der UVC-Bestrahlungskammer

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, der einen Zerfall von Ozon in Sauerstoffmoleküle sicherstellt, bevor Ozon das Kanalnetz erreicht. Vorteilhaft können auch am Ende der Bestrahlungskammer Kombinationsfilter, die einen Aktivkohle und Partikelfilter (F7) in einem darstellen, eingesetzt werden. Dann ist die erste Filterstufe hochwertig auszulegen (min. F6), damit die Bestrahlungskammer optimal geschützt wird.

Berechnungsbeispiel

Für ein RLT-Gerät mit 6 000 m³/h Luftleistung soll eine 90 %ige Desinfektion erreicht werden. Hierzu werden in einem Querschnitt von ca. 1 000 x 650 mm 12 Niederdruck-UVC-Strahler mit einer Nennleistung von 60 W in drei Reihen in Strömungsrichtung eingesetzt. Der UVC-Strahlungsfluss (253,7 nm) liegt dabei bei 24 W.

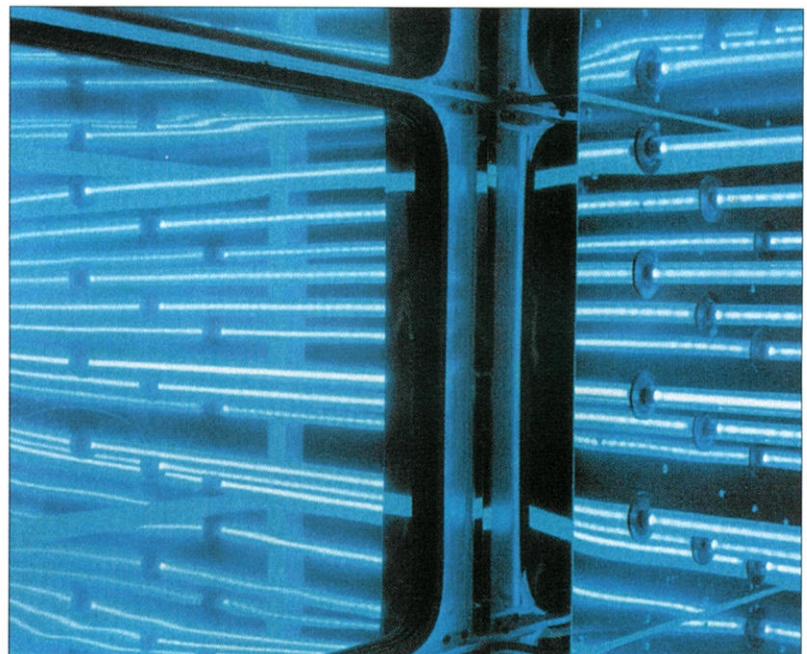


Bild 9

UVC-Bestrahlungskammer im RLT-Gerät

Durch die Verwendung einer UV-reflektierenden Innenauskleidung der Bestrahlungskammer kann die Bestrahlungsdosis ca. um den Faktor 1,85 gesteigert werden. Bei einer zu erwartenden max. Luftfeuchtigkeit von ca. 65 % muss ein Korrekturfaktor von 0,73 berücksichtigt werden.

Aus der resultierenden Luftgeschwindigkeit von ca. 2,5 m/s und einer Strahlerlänge von 985 mm ergibt sich damit eine Strahlungsstärke von

$24 \text{ W} / 0,6336 \text{ m}^2 = 37,9 \text{ W/m}^2$ und daraus eine Strahlungsdosis pro Strahler von $37,9 \text{ W/m}^2 \times 0,0644 \text{ s} = 2,44 \text{ W s/m}^2 \times 1,85 \times 0,73 = 3,3 \text{ W s/m}^2$ bzw. eine Gesamtdosis von $13,2 \text{ W s/m}^2$ bei vier Strahlern pro Reihe. Mit 12 Strahlern in drei Reihen könnte hingegen die Strahlungsdosis und damit die Entkeimungswirkung auf $39,5 \text{ W s/m}^2$ gesteigert werden. Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass z.B. Coli-Bakterien und Legionellen zu 99,9 % desinfiziert werden, wogegen Sal-

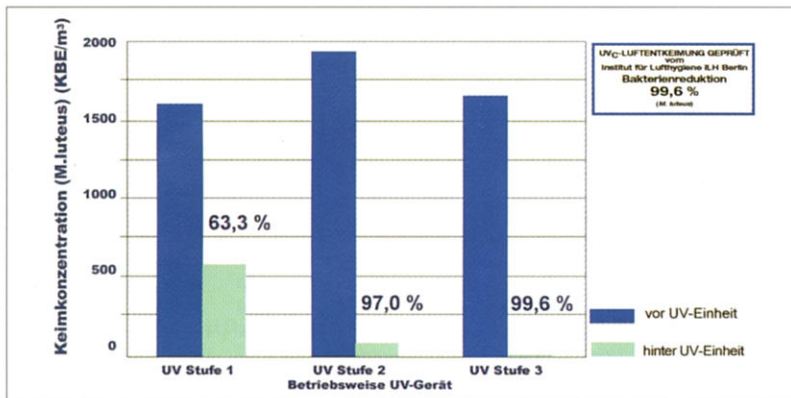


Bild 10

Auswirkung der UVC-Luftentkeimungseinheit auf die Konzentration an Bakterien (*Mikrococcus luteus*) in der Luft von RLT-Anlagen

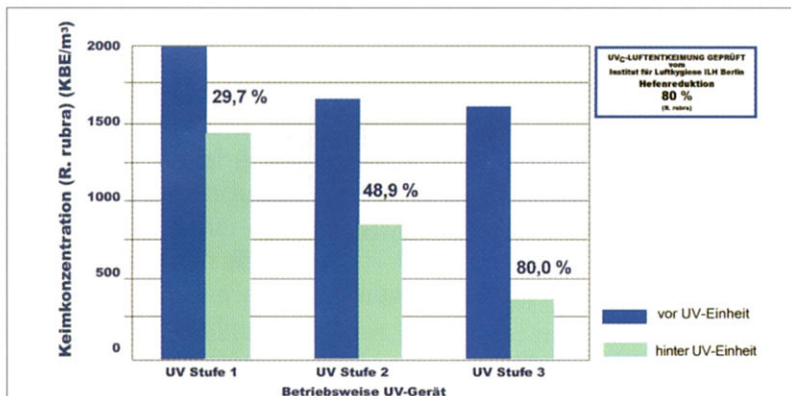


Bild 11

Auswirkung der UVC-Luftentkeimungseinheit auf die Konzentration an Hefen (*Rhodotorula rubra*) in der Luft von RLT-Anlagen

monella-Keime eine 90 %ige Deaktivierung erreichen. Im Gegenzug würde der Energieverbrauch der UV-Entkeimung von $4 \times 110 \text{ V} \times 0,67 \text{ A} = 295 \text{ W}$ auf 884 W steigen. Damit wird ersichtlich, dass je nach Anforderungsprofil der Entkeimung die optimale Strahlungsdosis zu wählen ist. Daneben kann die Strahlungsdosis in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit, der Lufttemperatur und/oder der Luftfeuchte durch die sequentielle Zu- bzw. Abschaltung von Strahlergruppen der Entkeimungswirkung angepasst werden.

Dass die Wirkung in der Praxis auch nachweisbar ist, bestätigen die Messungen die am Institut für Lufthygiene der TU Berlin durchgeführt wurden. Durch die Bestrahlung mit 12 Strahlern (40 W) konnte eine Entkeimungswirkung bezogen auf das Bakterium *Mikrococcus luteus* von 99,6 % erreicht werden. Da die Letaldosis des *M. luteus* 264 W s/m^2 im

Gegensatz zu den 20 bis 60 W s/m^2 des *Escherichia coli* [3] beträgt, kann eine 5 bis 10-fache Wirkung auf die wichtigsten Hospitalismuskulturen 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 kann eine UV Entkeimung nur in Verbindung mit der mechanischen Filterung Anwendung finden. Einsatzgebiete sind speziell der Hygienebereich, wie Krankenhäuser, die pharmazeutische Industrie und alle Bereiche der Lebensmittelindustrie. Daneben wird auch ersichtlich, dass die Anforderungen an die UV-Entkeimung sich nach dem geforderten Desinfekti-

onsgrad richten muss. Eine 90 %ige ($1 \times D_{10}$) bis 99,9 %ige ($3 \times D_{10}$) Inaktivierung ist anzustreben, um eine Mutation der Keime zu verhindern, wobei die betreffenden Keime zu definieren sind. Dabei muss fallweise geprüft werden, ob Ozon als Oxydationsmittel eingesetzt werden kann, oder muss. Eine nennenswerte Ozon-Konzentration im Raum muss jedenfalls zwingend vermieden werden. Wenn möglich sollten korrosionsgefährdete Bereiche durch Ozon-Katalysatoren geschützt werden.

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

Anhang

Auszug aus dem Gutachten des Instituts für Lufthygiene ILH Berlin. Prof. Dr. med. H. Rüden, Dr.-Ing. M. Möritz hinsichtlich der Wirksamkeit der UVC-Luftentkeimungseinheit Howatherm-UV-Unit in Klimazentralgeräten:

Punkt 5 Bewertung

„Die Ergebnisse der durchgeführten orientierenden Untersuchung zeigen, dass die UVC-Luftentkeimungseinheit Howatherm-UV-Unit der FA. Howatherm Klimatechnik GmbH, in der Luft von RLT-Anlagen bei UV-Stufe 3 die Konzentration von Bakterien fast vollständig reduziert (99,6 %) und die Konzentration von Hefen bis zu 80 % reduziert (Bilder 10 und 11).“

H 113

Literatur

- [1] Schmidt-Burbach, Gerhardt M.; Die Ultraviolettstrahlung und ihre Anwendung zur Desinfektion und Sterilisation, Biotechnische Umschau 1 (1977) Heft 11
- [2] NN.; Philips UV-Strahlung, 5/ 1995
- [3] Wallhäußer, Karl-Heinz; Praxis der Sterilisation-Desinfektion-Konservierung Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 1995