



## Keimtötende und antivirale Dekontamination von Luft durch UV-Bestrahlung und UV-Rezirkulator-Methode

### Autoren:

Filips Peisahovičs, Svetlana Bankovska, Aleksejs Konstantinovs, Pavels Bakovskis, Andrejs Gaivoronskis, Krista Kānberga-Siliņa, Artūrs Kigitovičs and Vasilij Bankovskis January 2021;  
Biosan (Rātsupītes iela 7 k-2, Rīga, Latvia LV-1067)

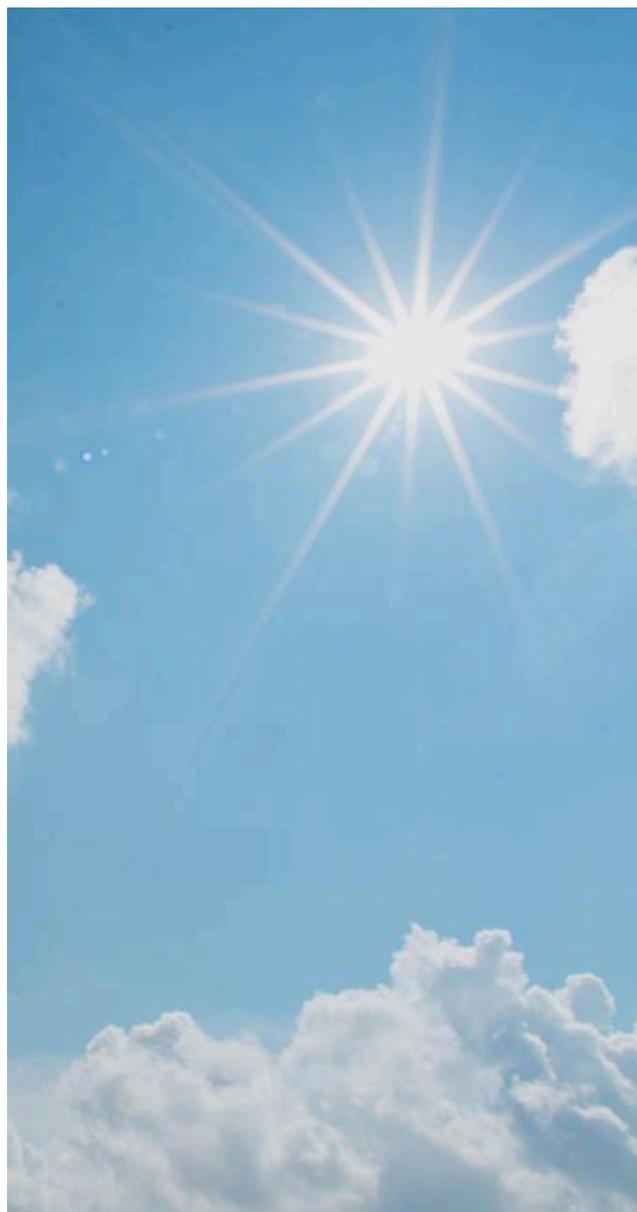
### Übersicht

Ultraviolettbestrahlung ist eine gut untersuchte Methode zur Dekontamination von Luft, Wasser und Oberflächen, die erfolgreich gegen verschiedene Krankheitserreger eingesetzt wurde.

Ultraviolette Strahlung hat eine letale Wirkung auf Pflanzen, bakterielle Viren (Phagen) und einzellige Organismen (Mikroben und Protozoen). Die letale Wirkung äußert sich im Verlust der Fähigkeit von Viren und Phagen, sich intrazellulär zu vermehren, und bei Mikroorganismen - im Absterben von Zellen vor der ersten Teilung oder in den ersten Generationen.

Wenn die Strahlung von Nukleinsäuremolekülen in der DNA absorbiert wird, dimerisieren die Pyrimidinbasen, hauptsächlich Thymin. An der Inaktivierung von RNA-Viren sind mehr als nur Pyrimidin-Dimere beteiligt. Auch Hydrate von Pyrimidinbasen leisten einen wesentlichen Beitrag zur Inaktivierung. Die letalen Wirkungsspektren haben ein Nukleinsäure-Maximum bei 260-265 nm. Für einzelne Organismen werden sowohl "Protein" mit einem Maximum bei 280 nm als auch Spektren der letalen Wirkung mit Maxima bei 260 und 280 nm beschrieben, was darauf schließen lässt, dass auch Proteine und Nukleinsäuren an der Absorption von UV-Licht beteiligt sind.

Trotz der mikrobiellen Fähigkeit, sich von der Photodestruktion durch Photoreaktivierung zu erholen, können Mikroorganismen bei hohen Dosen bis auf log 7 (99,99999 %) Reduktion inaktiviert werden. Es wurde gezeigt, dass der Erreger der Pandemie 2020, SARS-CoV-2, für UV-Bestrahlung empfindlich ist und bei Dosen unter 12 mJ/cm<sup>2</sup> signifikante Schäden verursacht.



UV-Strahlung, ihr Wirkmechanismus und der Nachweis der Wirksamkeit gegen verschiedene Infektionserreger (einschließlich des Erregers COVID-19) werden in diesem Artikel diskutiert.

Außerdem wird ein mathematisches Effizienzmodell von Biosan-Geräten diskutiert, das UV zur Luftdesinfektion verwendet.



## Einführung

Bis zum Tag dieser Überprüfung (13. Januar 2021) gab es über 90 Millionen bestätigte Fälle von COVID-19 und fast 2 Millionen tödliche Verläufe (WHO, 2020a). Es wurde festgestellt, dass der Krankheitserreger, das Virus SARS-CoV-2, auf mehrere Arten übertragen wird, hauptsächlich jedoch durch die Übertragung über die Luft.

Insbesondere verbreitet sich das Virus von Mensch zu Mensch in Atemtropfen oder Aerosolen beim Niesen und Husten (Vardoulakis et al., 2020; WHO, 2020b). Auch andere Infektionskrankheiten wie Grippe (Influenza), Tuberkulose (*Mycobacterium tuberculosis*) und Tularemie (*Francisella tularensis*) werden vermutlich zu einem erheblichen Teil über die Luft übertragen.

Wenige Bakterienzellen reichen aus, um den Menschen mit Tuberkulose oder Tularemie zu infizieren. Die luftdekontaminierende Wirkung des ultravioletten Lichts (UV) wurde bereits 1877 bemerkt und hat sich nicht nur explizit gegen viele luftübertragene Krankheitserreger (z. B. Tuberkulose oder Grippe) bewährt, sondern diente auch zum Nachweis, dass Luft ein Vektor für bestimmte Infektionserreger ist (McDevitt et al., 2012; Sharp, 1939).

Es gibt Hinweise auf eine Anfälligkeit von SARS-CoV-2 gegenüber UV, die weiter unten diskutiert werden. Biosan bietet eine Reihe von Produkten an, die UV für die Dekontamination nutzen, wie z. B. UV-Reinigungsboxen (Abb. 1) für Arbeiten mit DNA und RNA (z. B. PCR) und UV-Reinigungs-Rezirkulatoren (Abb. 2) für die Raumluftdesinfektion.

Dieser Artikel gibt einen Überblick über den Mechanismus der keimtötenden Wirkung von UV-Licht, die Anfälligkeit von Mikroben, insbesondere von Viren, einschließlich SARS-CoV-2, und beschreibt die Gründe für UV-Rezirkulatoren.



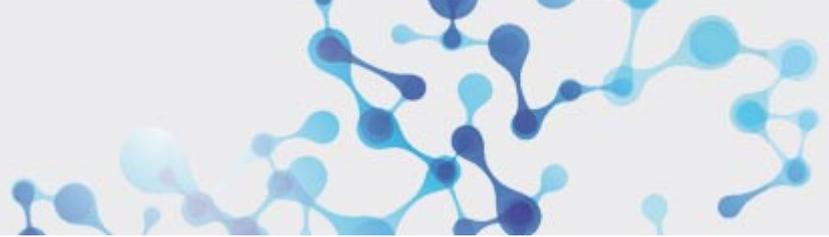
Abb. 1: UV-Airclean Workstation von Biosan

## Die keimtötende Wirkung von UV-Bestrahlung und ihre Theorie

Die UV-Bestrahlung ist eine elektromagnetische Welle mit Wellenlängenbereichen von 100 bis 400 nm. Der UV-Bereich teilt sich in drei Regionen auf: 100-280 nm UVC, 280-320 nm UVB und 320-400 nm UVA. Im Zusammenhang mit der Fähigkeit des UV, die Vermehrung von Krankheitserregern zu inaktivieren, wird die Bestrahlung als UV-keimtötende Bestrahlung (UVGI) bezeichnet, wobei die UVC-Wellen die größte Schädigung von Krankheitserregern durch Beeinträchtigung der DNA- und RNA-Strukturen bei der höchsten Effizienzspitze um 260-265 nm verursachen (Kowalski, 2009).

Üblicherweise wird eine Wellenlänge von 253,7 nm verwendet, da zunächst Niederdruck-Quecksilberlampen zur UV-Desinfektion eingesetzt werden. Ihre Spitzenintensität wurde in den meisten Studien bei 253,7 nm gemessen, was wiederum Rückschlüsse auf die Effizienz der Lampen zulässt (Reed, 2010).

Ein weiterer Faktor, der die UV-Absorption beeinflusst, ist die relative Luftfeuchtigkeit (RH). Es wurde gezeigt, dass die Effizienz der mikrobiellen Inaktivierung umgekehrt proportional zur relativen Luftfeuchtigkeit ist: je höher die relative Luftfeuchtigkeit ist, desto weniger effizient ist die UV-induzierte Inaktivierung. Daher würde ein trockener Raum effizienter desinfiziert werden (Woo et al., 2012; Peccia, 2001).



Die Fähigkeit eines Moleküls, UV zu absorbieren, wird durch einige Parameter beschrieben, darunter das Absorptionsvermögen, der Grad der Absorption und der Absorptionsbereich.

Zum Beispiel haben DNA-Nukleotide einen Bereich, der zwei Spitzenwerte aufweist: bei 265 nm bei einer stickstoffhaltigen Base (für Thymin) und bei 200 nm bei Phosphat und Ribose. Durch Absorption von UV geht ein Molekül in den angeregten Zustand über, dessen chemische und physikalische Eigenschaften sich vom Grundzustand unterscheiden können.

Nach der Anregung kann ein Molekül eine ganze Reihe von möglichen Reaktionen durchlaufen, von der Bildung neuer Bindungen bis zur Isomerisierung (Chatwal & Madhu, 2007). UV-Bestrahlung verzerrt die DNA- oder RNA-Struktur, indem sie zwei Nukleotidbasen vernetzt - nur eine Pikosekunde reicht aus, um ein Dimer zu erzeugen, wenn die Basen entsprechend ausgerichtet sind.

Die einzelnen Wasserstoffbrückenbindungen, die zwei Basen vor der UV-Bestrahlung hatten, sind schwächer als die Vernetzungsbindung, was die spontanen Reparaturmöglichkeiten einschränkt und den Reproduktionszyklus der Mikroorganismen stört (Abb. 3).

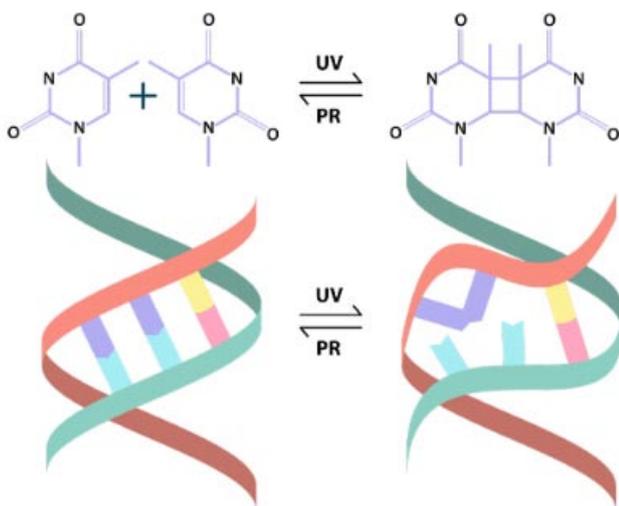


Abb. 3: Thymin UV-induzierte Dimerisierung. Die Grafik zeigt die durch UV-Bestrahlung stimulierte Dimerisierungsreaktion von Thymin (lila dargestellt) und die daraus resultierende DNA-Helix-Verzerrung. Die Reaktion kann durch Photoreaktion (PR) rückgängig gemacht werden.



Abb. 2: UVR-M und UVR-Mi von Biosan

In den meisten Fällen erfolgt die Vernetzung zwischen zwei Thyminen in der DNA oder Uracil in der RNA, aber auch Cytosin-Dimere treten auf. Purine sind ebenfalls in der Lage, UV zu absorbieren, aber die Absorptionsfähigkeit von Pyrimidinen ist zehnmal robuster, und in der Praxis sind Thymin-Dimere die am häufigsten entdeckten Photoprodukte. Außerdem kann bei einigen Pathogenen, insbesondere Viren, UV von Proteinen absorbiert werden und dann eine Protein-DNA/RNA-Bindung bilden, die ebenfalls schädlich ist (Kowalski, 2009).

Es ist wichtig, die Beziehung zwischen Joule (J) und Watt (W) zu verstehen, um den Unterschied zwischen UV-Dosis [ $J/m^2$ ] und UV-Intensität [ $W/m^2$ ] zu verstehen. Die Leistung ist die Rate, mit der Energie (J) pro Zeiteinheit (Sekunden) übertragen wird, und im internationalen Einheitensystem wird die Leistung in W quantifiziert, was J pro Sekunde entspricht. Daher gilt:  $W = J/s$  und  $J = W \times s$ . Im UV-Kontext wird die UV-Dosis in  $J/m^2$  quantifiziert.



Die UV-Dosis beschreibt also die Gesamtenergiemenge, die pro Fläche (z. B. pro Quadratmeter) übertragen wird. Die Einheit der UV-Intensität ist  $W/m^2$  gleich  $J s^{-1} m^{-2}$ .

Die UV-Intensität beschreibt also die pro Fläche übertragene Energiemenge pro Sekunde. Es ist möglich, einen Parameter aus einem anderen zu berechnen und umgekehrt, wenn die Zeit der Belichtung bekannt ist. Wenn z. B. in 30 Sekunden die empfangene UV-Dosis  $180 J/m^2$  betrug, bedeutet das, dass die UV-Intensität  $6 W/m^2$  [ $(180 J/m^2) / (30 s)$ ] betrug.

Umgekehrtes Beispiel: 2 Sekunden lang wurde ein Bereich mit einer UV-Intensität von  $10 mW/cm^2$  bestrahlt, also betrug die empfangene Dosis  $20 mJ/cm^2$  [ $(10 mW/cm^2) \times (2 s)$ ] (Abb. 4).

$$W = J/s$$

$$J = W \times s$$

$$UV \text{ dose } [J/cm^2] =$$

$$= UV \text{ intensity } [W/cm^2] \times Time [s]$$

$$UV \text{ intensity } [W/cm^2] =$$

$$= UV \text{ dose } [J/cm^2] / Time [s]$$

$$10 mJ/cm^2 = 0.01 J/cm^2 = 100 J/m^2$$

$$10 mW/cm^2 = 0.01 W/cm^2 = 100 W/m^2$$

Abb. 4: Beziehung zwischen UV-Intensität und UV-Dosiseinheiten.



## Anfälligkeit von Mikroorganismen gegenüber dem UVGI (Ultraviolet germicidal irradiation)

Die Anfälligkeit und Resistenz von Mikroorganismen gegenüber UV ist unterschiedlich, aber in den meisten Fällen ist es eine Frage der Dosierung. Bakterien können eine Photoreaktivierung durchführen und sich mit Hilfe spezifischer Enzyme (z. B. Photolyase) und Reparaturmechanismen erholen, aber die Fähigkeit, Schäden zu reparieren, ist bei hohen UV-Dosen vernachlässigbar.

In einer Übersichtsarbeit von Hijnen et al. (2006) wird festgestellt, dass UV in untersuchten Studien Poliovirus, Rotavirus, Escherichia coli, Cryptosporidium parvum, Giardia muris mindestens zu 99 % inaktiviert, sowie Yersinia- und Salmonella-Spezies bis zu log 5 (99,999 %) bei einer UV-Dosis unter  $10 mJ/cm^2$  inaktiviert wurden.

Eine Übersichtsarbeit von Chevretils et al. (2006) fasst Ergebnisse aus über 60 Experimenten zu den UV-Dosen zusammen, die erforderlich sind, um eine bestimmte log-Reduktion bis zu log 7 (99,99999%) für verschiedene Bakterien, Viren, Protozoen und Protozoen-Sporen zu erreichen, einschließlich Legionella pneumophila, Staphylococcus aureus, Caliciviren, Adenoviren, Bacillus subtilis-Sporen und andere.

**Es hat sich gezeigt, dass Viren für UVGI empfindlich sind. Wie Kowalski (2009) feststellte, würden  $10 J/m^2$  ( $1 mJ/cm^2$ ) ausreichen, um die meisten Viren mit einem Durchmesser von  $0,1 \mu m$  signifikant zu inaktivieren.**

Da auch virale Nukleokapsidproteine UV-Strahlen absorbieren, kann es außerdem zu einer Vernetzung zwischen der DNA/RNA und den Kapsidproteinen kommen, was sowohl zu einer Beeinträchtigung des genetischen Materials als auch der Kapsidstruktur führt (Kowalski, 2009).

Walker und Ko (2007) untersuchten die UV-Desinfektion gegen virale Aerosole des MS2-Phagen, des Adenovirus Serotyp 2 und des murinen Hepatitis-Coronavirus und stellten fest, dass relativ geringe Dosen diese Viren merklich inaktivierten.



Im Jahr 2007 zogen die Autoren eine vorausschauende Schlussfolgerung: „Die hohe UV-Anfälligkeit von Coronavirus-Aerosolen legt nahe, dass die UV-Luftdesinfektion ein wirksames Mittel zur Prävention wichtiger Viruserkrankungen der Atemwege wie SARS sein könnte“. In Tabelle 1 sind einige Beispieldosierungen für luftübertragene Krankheitserreger angegeben.

Bei Coronaviren ist ein einzelsträngiges RNA-Virus, wie z. B. SARS-CoV-2 (Romano, 2020), aufgrund der geringeren Stabilität tendenziell kritisch weniger resistent gegen das UV als ein doppelsträngiges (Kowalski, 2009). Heßling et al. (2020) fassten 30 Arbeiten zur UV-Inaktivierung verschiedener Coronaviren zusammen und errechneten für alle Coronaviren eine durchschnittliche UVC-Log-Reduktionsdosis von  $11,9 \pm 11,4$  mJ/cm<sup>2</sup>.

Dennoch schlagen die Autoren eine korrigierte Dosis von  $5,8 \pm 5,5$  mJ/cm<sup>2</sup> vor, die aufgrund der strukturellen Ähnlichkeiten zwischen allen Coronaviren auch gegen SARS-CoV-2 wirksam wäre.

In der Praxis wurde im Experiment von Bianco et al. (2020) eine Dosis von 3,7 mJ/cm<sup>2</sup> als Schwellenwert für die Viruselimination ermittelt. In ähnlicher Weise berichteten Heilingloh et al. (2020) über eine vollständige Inaktivierung des Virus nach 9 Minuten Exposition mit einer UV-Intensität von 1,94 mW/cm<sup>2</sup> UVC und 0,54 mW/cm<sup>2</sup> UVA.

Schließlich bestrahlten Inagaki et al. (2020) 87,4 % (log 0,94) des Virusbestandes nach Exposition mit 3,75 mJ/cm<sup>2</sup> und 99,9 % (log 3) nach 37,5 mJ/cm<sup>2</sup>. **Somit konnte gezeigt werden, dass UVGI gegen den anfälligen COVID-19-Erreger, SARS-CoV-2, wirksam ist.**

Num.	Pathogen Class	Species	Average dose, mJ/cm <sup>2</sup>	Inactivation, %
1	Bacteria	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10.0–12.2	99
2		<i>Escherichia coli</i> ATCC 11229	8.2–11.0	99.999
3		<i>Legionella pneumophila</i>	6.6–9.0	99.99
4		<i>Bacillus subtilis</i> ATCC6633 spores	48.4–60.6	99.9
5		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10.5*	99
6		<i>Staphylococcus aureus</i>	5.6–6.6	99
7	Fungi	<i>Aspergillus niger</i>	132*	90
8	Virus	Adenovirus serotype 2 (The most resistant known virus)	97.1–149.5	99.99
9		Calicivirus feline	15.9–25.5	99.9
10		Influenza	6.6–6.8	99
11		SARS-CoV-2	3.70–3.75	87.5

Tabelle 1: Tabelle der UV-Inaktivierungsdosen.

Die Dosen sind aus zwei Studien gemittelt und die Bereiche sind entsprechend der Standardabweichung angegeben.

\* In einer Studie ermittelte Dosis.

[Quelle: ClorDiSys (2019); Chevrefils (2006). For SARS-CoV-2: Bianco (2020) and Inagaki (2020)]



## UV Umluftgeräte

Biosan produziert Geräte zur Luftdekontamination durch UVGI (ultraviolette keimtötende Bestrahlung). Die Luftumwälzgeräte UVR-M und UVR-Mi haben einen einfachen Aufbau und ein einfaches Prinzip. Zwei Ventilatoren treiben den Luftstrom durch eine Kammer mit einer UV-Lampe (TUV 25 W 1SL/25 von Philips), die UV-Strahlung bei 253,7 nm emittiert.

Um die Effizienz der Bestrahlung zu erhöhen, sind die Innenwände der Kammer mit einer reflektierenden Oberfläche beschichtet. Die UVR-Mi unterscheidet sich von der UVR-M durch zwei Lampen, was eine höhere Effizienz bedeutet, und eine digitale Zeitsteuerung. Luft strömt durch die Kammer, in der UVGI aerosolisierte Mikroorganismen schädigt, wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben (Abb. 5).

Insgesamt lässt sich der Wirkungsgrad der UVR-Mi in einem nicht belüfteten Raum wie folgt beschreiben:

### Messungen

1. die Produktivität des Luftstroms wurde mit 14 m<sup>3</sup> Luftzirkulation in einer Stunde gemessen
2. die UV-Intensität innerhalb der Kammer lag zwischen 18,6 mW/cm<sup>2</sup> (MIN-Intensität) und 36 mW/cm<sup>2</sup> (MAX-Intensität) abhängig vom Abstand zu den Lampen, aber ohne Berücksichtigung der reflektierenden Oberfläche;
3. das innere Kammervolumen betrug 2.233,721 cm<sup>3</sup> unter Berücksichtigung volumenbeanspruchender Faktoren wie Lampen und Unregelmäßigkeiten der Korpusform.

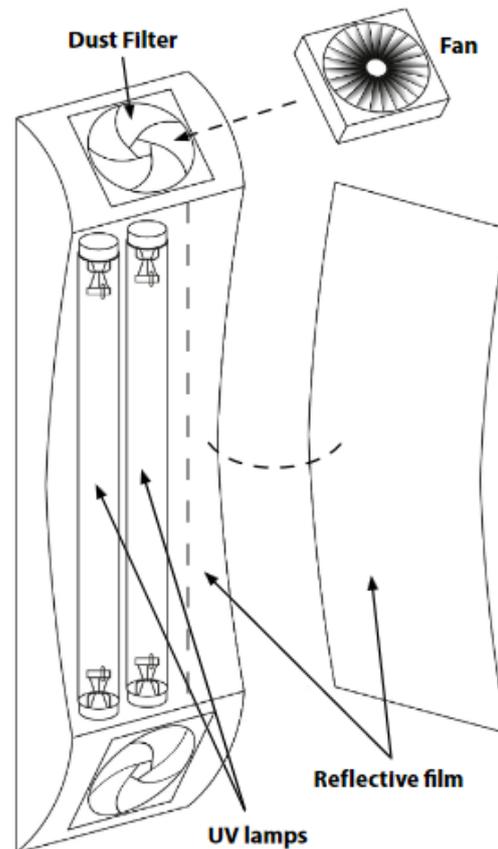
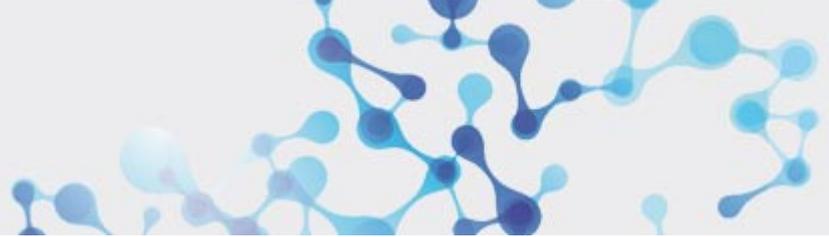


Abb. 5: Konstruktionsschema eines UV-Umluftgerätes UVR-Mi von Biosan. Durch einen Ventilator wird die Luft durch einen Filter in die Kammer geleitet, wo sie der UV-Strahlung der Lampen ausgesetzt wird, bevor die dekontaminierte Luft die Kammer wieder verlässt.

$$\begin{aligned}
 UV \text{ dose} &= UV \text{ intensity} \times \text{Exposure time} = UV \text{ intensity} \times \frac{\text{Chamber volume}}{\text{Air - flow rate}} = \\
 &= 36 \text{ mW/cm}^2 \times \frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{3.61 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}} \approx 22.4 \text{ mJ/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 UV \text{ dose} &= UV \text{ intensity} \times \text{Exposure time} = UV \text{ intensity} \times \frac{\text{Chamber volume}}{\text{Air - flow rate}} = \\
 &= 18.6 \text{ mW/cm}^2 \times \frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{3.61 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}} \approx 10.7 \text{ mJ/cm}^2
 \end{aligned}$$

Abb. 6: UV-Dosis, die durch UVR-Mi Umluftgerät von Biosan erzeugt wird: Gleichung und Berechnungen.



Mit diesen Werten wurde ein mathematisches Modell für zwei Fälle, MIN- und MAX-Intensität, erstellt. Es wurde davon ausgegangen, dass es keine Beugung, Interferenz oder Reflexion des Lichts gibt (z. B. aufgrund von RH). So wurde berechnet, dass in einem Zyklus die empfangene UV-Dosis zwischen 10,7 und 22,4 mJ/cm<sup>2</sup> liegen würde (Abb. 6). Daher sollte nur ein Zyklus ausreichen, um viele Erreger zu inaktivieren und SARS-CoV-2 entscheidend zu schädigen.

Darüber hinaus reduziert eine 23-minütige einmalige UVR-Mi-Behandlung die Anzahl der koloniebildenden Einheiten merklich (Abb. 7).

Das Vorhandensein einer Klimaanlage in einem Raum beeinflusst die Umwälzleistung. Ein UVR-Mi kann einen belüfteten Raum von 9 m<sup>2</sup> oder einen unbelüfteten Raum von 18 m<sup>2</sup> effektiv bearbeiten, während die effektive Raumfläche des UVR-M 6 bzw. 12 m<sup>2</sup> beträgt (Tabelle 2).

Die Fläche mag klein erscheinen, es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die in einem Zyklus aufgenommene Dosis umgekehrt proportional zur Durchflussrate ist. Eine Erhöhung der Lüfterleistung, um die Luft schneller zu verarbeiten oder einen größeren Raum zu bearbeiten, würde die Belichtungszeit der vorbeiströmenden Partikel verkürzen und somit die in einem Luftstromzyklus empfangene UV-Dosis verringern (Abb. 8).

Eine Möglichkeit, diese Einschränkung zu überwinden, besteht darin, sowohl die Leistung des Ventilators als auch die Intensität der UV-Lampen zu erhöhen, wodurch das Gerät lauter wird und mehr Energie verbraucht.

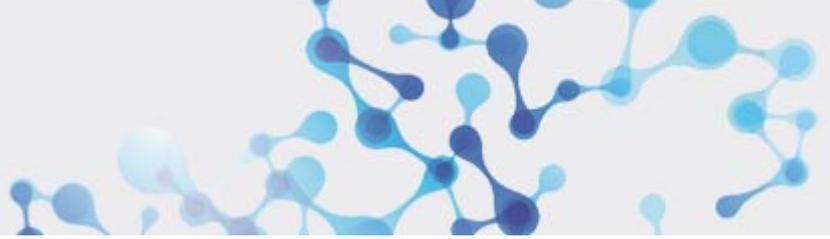
Der Einsatz mehrerer Rezipulatoren erhöht jedoch das effektive Volumen, ohne die Dosis zu verringern oder störende Ventilatorgeräusche zu verursachen.



Abb. 7: Luftverschmutzung vor und nach kurzzeitigem Umluftbetrieb UVR-Mi.

Model	UVR-M			UVR-Mi		
	1	2	3	1	2	3
Num of units	1	2	3	1	2	3
Vent. room	<b>6 m<sup>2</sup> (18 m<sup>3</sup>)</b>	<b>12 m<sup>2</sup> (36 m<sup>3</sup>)</b>	<b>18 m<sup>2</sup> (54 m<sup>3</sup>)</b>	<b>9 m<sup>2</sup> (27 m<sup>3</sup>)</b>	<b>18 m<sup>2</sup> (54 m<sup>3</sup>)</b>	<b>27 m<sup>2</sup> (81 m<sup>3</sup>)</b>
Unvent. room	<b>12 m<sup>2</sup> (36 m<sup>3</sup>)</b>	<b>24 m<sup>2</sup> (72 m<sup>3</sup>)</b>	<b>36 m<sup>2</sup> (108 m<sup>3</sup>)</b>	<b>18 m<sup>2</sup> (54 m<sup>3</sup>)</b>	<b>36 m<sup>2</sup> (108 m<sup>3</sup>)</b>	<b>54 m<sup>2</sup> (162 m<sup>3</sup>)</b>

Tabelle 2: Effektives Volumen der Raumdekontamination durch UVR-M und UVR-Mi UV-Umluftgeräte. Anzahl der Geräte erhöht das effektive Dekontaminationsvolumen. Die Raumgrößen sind als Fläche (m<sup>2</sup>) und Volumen (m<sup>3</sup>) angegeben  
Abkürzungen: Unvent. - unbelüftet; Vent. - belüftet.



Biosan stellt seit 2004 Geräte her, die UV zur Desinfektion nutzen. Diese Geräte sind erprobt, fehlerfrei und geeignet für die Luftdekontamination in Laborräumen, Krankenhäusern (z. B. Untersuchungsräume, Kreißsäle, Ambulanzen), Schulen und allen anderen öffentlichen Einrichtungen. Nach dem beschriebenen mathematischen Modell wird die Luft in den UV-

Umluftgeräten mit einer ausreichenden UV-Dosis bestrahlt, um aerogene Krankheitserreger wie SARS-CoV-2 ernsthaft zu schädigen. Die UV Airclean Workstation (s. Abb. 1) ist für die Arbeit mit empfindlichen Techniken, wie z. B. PCR, geeignet. Bitte lesen Sie die Fallstudie von Bankovsky et al. (2018) über unsere UV-Workstations für weitere Informationen zu dieser Methode.

### Abhängigkeit der UV-Dosis von der Luftdurchflussrate durch die UVR-Mi-Rezirkulator-kammer

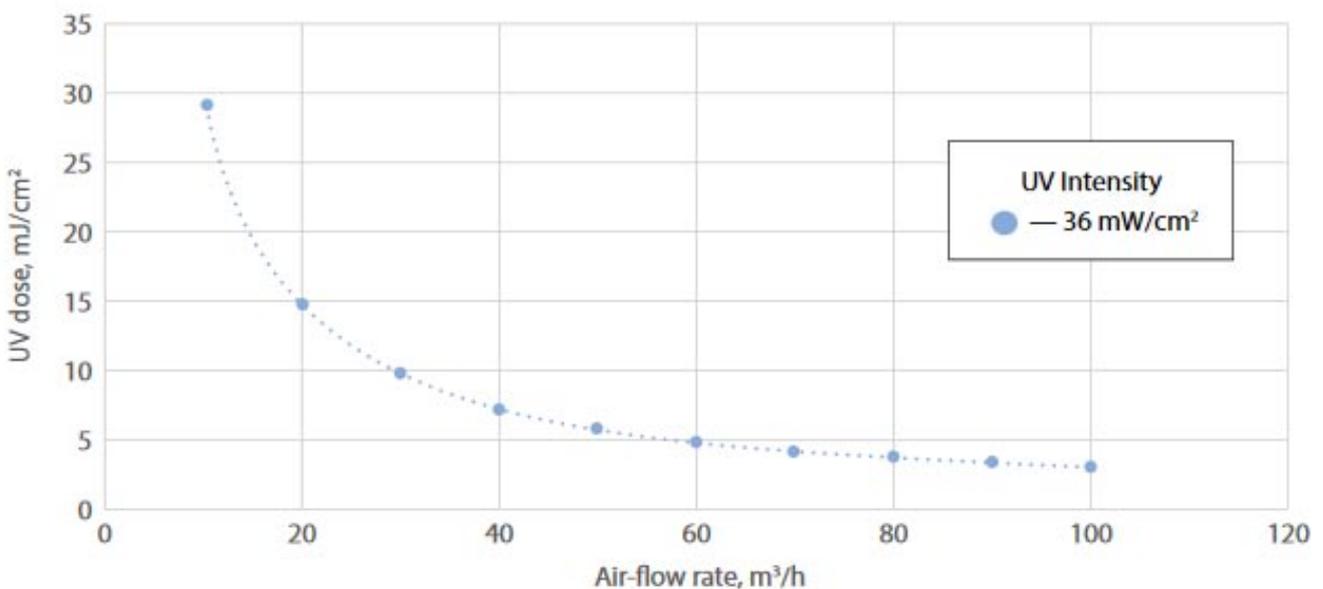


Abb. 8: Das Verhältnis zwischen der Luftdurchflussrate des UVR-Mi von Biosan und der darin aufgenommenen UV-Dosis pro Zyklus.



## Referenzen

- Bianco, A., Biasin, M., Pareschi, G., Cavalleri, A., Cavatorta, C., Fenizia, F., Galli, P., Lessio, L., Lualdi, M., Redaelli, E. et al. (2020) UV-C irradiation is highly effective in inactivating and inhibiting SARS-CoV-2 replication. SSRN.
- Chatwal, G., & Madhu, A. (2007) Organic photochemistry. Mumbai [India]: Himalaya Pub. House.
- Chevrefils, G., Caron, É., Wright, H., Sakamoto, G., Payment, P., Barbeau, B., & Cairns, B. (2006). UV dose required to achieve incremental log inactivation of bacteria, protozoa and viruses. *IUVA News*, 8(1): pp. 38–45.
- ClorDiSys (2019) Ultraviolet Light Disinfection Data Sheet. (online) Available at: <[www.clordisys.com/pdfs/misc/UV%20Data%20Sheet.pdf](http://www.clordisys.com/pdfs/misc/UV%20Data%20Sheet.pdf)> [Accessed on 29 September 2020].
- Fernstrom, A., & Goldblatt, M. (2013). Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. *Journal of pathogens*, 2013.
- Heßling, M., Hönes, K., Vatter, P., & Lingenfelder, C. (2020). Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation—review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS hygiene and infection control*, 15.
- Heilingloh, C.S., Aufderhorst, U.W., Schipper, L., Dittmer, U., Witzke, O., Yang, D., Zheng, X., Sutter, K., Trilling, M., Alt, M. et al. (2020). Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV Irradiation. *American Journal of Infection Control*.
- Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F., & Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review. *Water Research*, 40(1): pp. 3–22.
- Inagaki, H., Saito, A., Sugiyama, H., Okabayashi, T. & Fujimoto, S. (2020) Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with Deep-UV LED irradiation. *bioRxiv*.
- Kowalski, W. (2009). Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection. Springer Science & Business Media.
- Lindsley, W.G., Blachere, F.M., Thewlis, R.E., Vishnu, A., Davis, K.A., Cao, G., Palmer, J.E., Clark, K.E., Fisher, M.A., Khakoo, R. and Beezhold, D.H. (2010) Measurements of airborne influenza virus in aerosol particles from human coughs. *PloS one*, 5(11): e15100.
- McDevitt, J.J., Rudnick, S.N. and Radonovich, L.J. (2012) Aerosol susceptibility of influenza virus to UV-C light. *Applied and environmental microbiology*, 78(6): pp. 1666–1669.
- Peccia, J., Werth, H. M., Miller, S., & Hernandez, M. (2001). Effects of relative humidity on the ultraviolet induced inactivation of airborne bacteria. *Aerosol Science & Technology*, 35(3): pp. 728–740.
- Reed, N.G. (2010). The history of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. *Public Health Reports*, 125(1): pp. 15–27
- Romano, M., Ruggiero, A., Squeglia, F., Maga, G. & Berisio, R. (2020) A Structural View of SARS-CoV-2 RNA Replication Machinery: RNA Synthesis, Proofreading and Final Capping. *Cells*, 9(5): pp. 1267.
- Sharp, D.G. (1938) A quantitative method of determining the lethal effect of ultraviolet light on bacteria suspended in air. *J Bacteriol*, 35: pp. 589–599.
- Tarvida, M., Isakova, J., Gimelfarb, V., Kigitovics, A. & Bankovsky, V. (2018) Case study: UV-Cabinet with UV Air Recirculator UVC/T-M-AR and Class II Biological Safety Cabinets, Biosan.
- Vardoulakis, S., Sheel, M., Lal, A. & Gray, D. (2020) COVID-19 environmental transmission and preventive public health measures. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*.
- Walker, C. M., & Ko, G. (2007). Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols. *Environmental science & technology*, 41(15): pp. 5460–5465.
- Wang, J., Mauser, A., Chao S.-F., Remington, K., Treckmann, R., Kaiser, K., Pifat, D. & Hotta, J. (2004) Virus inactivation and protein recovery in a novel ultraviolet-C reactor. *Vox Sanguinis*, 86: pp. 230–238.
- World Health Organisation (2020a) WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. (online) Available at: <[covid19.who.int](https://covid19.who.int)> [Accessed on 13 January 2021].
- World Health Organisation (2020b) Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. (online) Available at: <[www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions](https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions)> [Accessed on 14 September 2020].
- Woo, M. H., Grippin, A., Anwar, D., Smith, T., Wu, C. Y., & Wander, J. D. (2012). Effects of relative humidity and spraying medium on UV decontamination of filters loaded with viral aerosols. *Applied and environmental microbiology*, 78(16): pp. 5781–5787.