

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht Nr. UHS-037/2020

Berechnung der Wirksamkeit der Desinfektion durch UVC-Bestrahlung in Luftumwälzungsanlagen

Durchgeführt im Auftrag von
Streit-TGA GmbH & Co. KG
Herrn Alexander Streit
Bergfeldstraße 1
83607 Holzkirchen

Der Bericht umfasst:
22 Seiten Text
3 Tabellen
9 Abbildungen

Dr. rer. nat. Andreas Schmohl
Dr.-Ing. Christian Scherer

Valley, 6. August 2020

Christian Scherer Digital unterschrieben
von Christian Scherer
Datum: 2020.08.06
16:06:26 +02'00'

Abteilungsleiter
Dr.-Ing. Christian Scherer

Andreas Schmohl Digital unterschrieben von
Andreas Schmohl
Datum: 2020.08.06
17:23:18 +02'00'

Bearbeiter
Dr.rer.nat. Andreas Schmohl

Inhalt

1	Aufgabenstellung	3
2	Theoretische Grundlagen und Berechnungen	3
2.1	Empfindlichkeit des Coronavirus gegenüber UVC-Strahlung	3
2.2	Relevante Parameter	4
2.3	Verwendete Berechnungsformeln	5
2.4	Abfolge der Berechnungen	8
3	Geometrie und Parameter	9
3.1	Designobjekt zur Luftdesinfektion am Schreibtisch (calinaDESK)	9
3.2	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">anderes Produkt</div>	
4	Ergebnisse	13
4.1	Designobjekt zur Luftdesinfektion am Schreibtisch (calinaDESK)	13
4.2	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">anderes Produkt</div>	

1 Aufgabenstellung

UVC-Strahlung wird zur Inaktivierung von pathogenen Mikroorganismen eingesetzt; zu unterscheiden ist die Anwendung auf Oberflächen, in Flüssigkeiten und in der Gasphase bzw. in Luft [1]. Bei den, im Rahmen dieses Projekts, zu untersuchenden Geräten bzw. Anlagen soll die umzuwälzende Luft desinfiziert werden. Die Wirksamkeit der Desinfektion bzw. die Überlebensrate soll für konkrete Geometrien und Parameter – unter Annahme einer exponentiellen Abnahme der Überlebensrate mit zunehmender Strahlungsdosis [1] – berechnet werden.

Da die flächenspezifische Strahlungsdosis von der Aufenthaltsdauer im Strahlungsbereich (bzw. von der Strömungsgeschwindigkeit), als auch von der flächenspezifischen Strahlungsleistung beeinflusst wird, ist eine ortsgenaue Berechnung mit einer anschließenden Mittelung der Ergebnisse über den Gesamtquerschnitt notwendig.

Weil das Profil der Strömungsgeschwindigkeit von der Art der Strömung (beispielsweise laminar vs. turbulent) abhängig ist, wurde der Einfluss des Strömungsprofils bei konstant gehaltener mittleren Strömungsgeschwindigkeit berücksichtigt.

2 Theoretische Grundlagen und Berechnungen

2.1 Empfindlichkeit des Corona Virus gegenüber UVC-Strahlung

Die Überlebensrate S von Corona-Viren sinkt i.d.R. exponentiell mit der Bestrahlungsdosis D . Je größer die Empfindlichkeit der Mikroorganismen, desto größer ist bei logarithmischer Auftragung ($\log(S)$ vs. D) der Proportionalitätsfaktor bzw. die Empfindlichkeitskonstante k . Die Empfindlichkeitskonstante k für Corona Viren (MCV, HCoV-OC43, HCoV-229E) ist der verfügbaren Literatur zu entnehmen ([2], [3]); sie liegt im Bereich zwischen $0,3$ und $0,6 \text{ m}^2/\text{J}$ bzw. 3 und $6 \text{ cm}^2/\text{mJ}$.

Walker et al. ermittelten für den murine corona virus (MCV) im Aerosol mit einer Strahlungsdosis von $0,599 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ bei 254 nm eine Überlebensrate von $12,2 \%$ [3]. Dies entspricht bei einer Bestrahlungsdosis von $0,66 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ einer Abnahme um den Faktor 10 (= log-reduction dose) bzw. einer Empfindlichkeitskonstanten k von $3,5 \text{ cm}^2/\text{mJ}$.

Für die Bestrahlung von Aerosol bei 222 nm sind bei Heßling et al. Angaben für humanpathogene Corona Viren aufgeführt [2]:

- human corona virus HCoV-229E
log-reduction dose: $0,56 \text{ mJ}/\text{cm}^2$
bzw. $k = 4,1 \text{ cm}^2/\text{mJ}$

- human corona virus HCoV-OC43
log-reduction dose: 0,39 mJ/cm²
bzw. k = 5,9 cm²/mJ

Wegen der abweichenden Wellenlänge der Strahlung (222 nm vs. 254 nm) lassen die Daten keine eindeutigen Schlüsse für die Bestrahlung mit Quecksilberdampf-Leuchtmitteln zu; da jedoch RNA ein Absorptionsmaximum zwischen 250 nm und 260 nm aufweist [4], ist die Strahlungsempfindlichkeit i.d.R. bei 254 nm höher als bei 222 nm.

Für die Einschätzung der Wirksamkeit der Desinfektion wird eine Strahlungsempfindlichkeit von 0,3 m²/J bzw. 3 cm²/mJ gewählt. Dies entspricht bei einer Bestrahlungsdosis von 0,76 mJ/cm² einer Abnahme um den Faktor 10 (= log-reduction dose).

Nach aktuellem Wissensstand ist die Verwendung von k = 3 cm²/mJ bzw. 0,3 m²/J eine konservative Betrachtung. Aufgrund des großen Einflusses der Empfindlichkeitskonstanten auf die Überlebensrate wird empfohlen, Änderungen des Stands der Wissenschaft zu verfolgen und zu berücksichtigen.

2.2 Relevante Parameter

Desinfektions- und Überlebensrate

Des	Desinfektionsrate (1 = 100 %)
S	Überlebensrate bzw. survival rate (1 = 100 %)
k	Empfindlichkeitskonstante des Corona Virus in cm ² /mJ
D	flächenspezifische Strahlungsdosis in mJ/cm ²

Strahlungsdosis im Kompartiment

S _{mn}	Überlebensrate im Kompartiment
D _{mn}	flächenspezifische Strahlungsdosis im Kompartiment in mJ/cm ²
n	Anzahl der Kompartimente
P _{A,mn}	flächenspezifische Gesamtleistungsdichte im Kompartiment in mJ/(s·cm ²)
t _{mn}	Aufenthaltsdauer im Strahlungsbereich (beim Durchgang durch das Kompartiment) in s
V _{mn,norm}	normierte Strömungsgeschwindigkeit im Kompartiment in mm/s
L	Länge des Strahlungsbereichs in mm

Flächenspezifische Leistungsdichte im Kompartiment

P _A	flächenspezifische Gesamtleistungsdichte im Kompartiment in mJ/(s·cm ²)
P _{Leuchtmittel}	Lichtleistung des Leuchtmittels in W bzw. J/s
P _{Röhre}	Lichtleistung einer Teilröhre des Leuchtmittels in W bzw. J/s
A _Z	Oberfläche des Bestrahlungszylinders in mm ²

$P_{A1}^{\#}$	flächenspez. Leistungsdichte im Kompartiment erzeugt durch Teilröhre 1 in $J/(s \cdot mm^2)$
P_{A1}	flächenspez. Leistungsdichte im Kompartiment erzeugt durch Teilröhre 1 in $mJ/(s \cdot cm^2)$
P_{A2}	flächenspez. Leistungsdichte im Kompartiment erzeugt durch Teilröhre 2 in $mJ/(s \cdot cm^2)$
P_{A3}	flächenspez. Leistungsdichte im Kompartiment erzeugt durch Teilröhre 3 in $mJ/(s \cdot cm^2)$
P_{A4}	flächenspez. Leistungsdichte im Kompartiment erzeugt durch Teilröhre 4 in $mJ/(s \cdot cm^2)$
L	Länge des Bestrahlungsbereichs in mm
Δa_1	auf die x-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der Röhre 1 in mm
Δb_1	auf die y-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der Röhre 1 in mm
Δa_2	auf die x-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der Röhre 2 in mm
Δb_2	auf die y-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der Röhre 2 in mm
Δa_3	auf die x-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der Röhre 3 in mm
Δb_3	auf die y-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der Röhre 3 in mm
Δa_4	auf die x-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der Röhre 4 in mm
Δb_4	auf die y-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der Röhre 4 in mm

Strömungsgeschwindigkeit im Kompartiment

\dot{V}	Volumenstrom in mm^3/s
A_{mn}	Querschnittsfläche des Kompartiments in mm^2 (<i>konstant</i>)
A	Querschnittsfläche jedes Kompartiments in mm^2 (<i>konstant</i>)
v_{mn}	unkorrigierte Strömungsgeschwindigkeit im Kompartiment in mm/s (<i>variabel</i>)
K_{norm}	Normierungsfaktor (<i>konstant</i>)
$v_{mn,norm}$	normierte Strömungsgeschwindigkeit im Kompartiment in mm/s (<i>variabel</i>)

2.3 **Verwendete Berechnungsformeln**

Desinfektions- und Überlebensrate

Des	Desinfektionsrate (1 = 100 %)
S	Überlebensrate bzw. survival rate (1 = 100 %)

$$Des = 1 - S \quad (1)$$

- k Empfindlichkeitskonstante des Corona Virus
in cm^2/mJ (Literaturwerte: 0,35 – 0,56 cm^2/mJ)
D flächenspezifische Strahlungsdosis in mJ/cm^2

$$S = e^{-k \cdot D} \quad (2)$$

Strahlungsdosis im Kompartiment

- n Anzahl der Kompartimente
 S_{mn} Überlebensrate im Kompartiment
 D_{mn} Dosis im Kompartiment in mJ/cm^2

$$S = \frac{1}{n} \cdot \sum S_{mn} = \frac{1}{n} \cdot \sum (e^{-k \cdot D_{mn}}) \quad (3)$$

mit

$$S_{mn} = e^{-k \cdot D_{mn}} \quad (4)$$

- $P_{A,mn}$ flächenspezifische Leistungsdichte im Kompartiment in mW/cm^2
bzw. in $\text{mJ}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$
 t_{mn} Aufenthaltsdauer im Strahlungsbereich (beim Durchgang durch
das Kompartiment) in s
 $v_{mn,norm}$ normierte Strömungsgeschwindigkeit im Kompartiment in mm/s
L Länge des Bestrahlungsbereichs in mm

$$D_{mn} = P_{A,mn} \cdot t_{mn} = P_{A,mn} \cdot \frac{L}{v_{mn,norm}} \quad (5)$$

Flächenspezifische Leistungsdichte

- P_A flächenspezifische Gesamtleistungsdichte im Kompartiment in
 $\text{mJ}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$

1 Leuchtmittel = 2 Teilröhren => P_{A1} und P_{A2}

$$P_A = P_{A1} + P_{A2} \quad (6)$$

2 Leuchtmittel = 4 Teilröhren => P_{A1} , P_{A2} , P_{A3} und P_{A4}

$$P_A = P_{A1} + P_{A2} + P_{A3} + P_{A4} \quad (7)$$

- $P_{A1}^{\#}$ flächenspezifische Leistungsdichte im Kompartiment durch Teil-
röhre 1 in $\text{J}/(\text{s} \cdot \text{mm}^2)$
 $P_{\text{Leuchtmittel}}$ Lichtleistung des Leuchtmittels in W bzw. J/s
tel

- $P_{\text{Röhre1}}$ Lichtleistung der Teilröhre 1 in W bzw. J/s
(eine Teilröhre entspricht der halben Leistung
des Leuchtmittels)
- A_Z Oberfläche des Bestrahlungszyinders in mm^2
(Oberfläche ohne Kreisflächen)
- L Länge des Bestrahlungszyinders in mm
- r Radius des Bestrahlungszyinders in mm
- Δa_1 auf die x-Achse projizierter Abstand des
Kompartiments von der Röhre 1 in mm
- Δb_1 auf die y-Achse projizierter Abstand des
Kompartiments von der Röhre 1 in mm

$$P_{A1}^{\#} = \frac{P_{\text{Röhre1}}}{A_Z} = \frac{P_{\text{Röhre1}}}{L \cdot 2\pi \cdot r} = \frac{\frac{1}{2} P_{\text{Leuchtmittel}}}{L \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(\Delta a_1)^2 + (\Delta b_1)^2}} \quad (8)$$

- P_{A1} flächenspezifische Leistungsdichte im Kompartiment durch
Teilröhre 1 in $\text{mJ}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$

$$P_{A1} = \left(\frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}}\right)^2 \cdot \frac{1000 \text{ mJ}}{1 \text{ J}} \cdot \frac{\frac{1}{2} P_{\text{Leuchtmittel}}}{L \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(\Delta a_1)^2 + (\Delta b_1)^2}} \quad (9)$$

$$P_{A1} = 10^5 \cdot \frac{\text{mm}^2 \cdot \text{mJ}}{\text{cm}^2 \cdot \text{J}} \cdot \frac{\frac{1}{2} P_{\text{Leuchtmittel}}}{L \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(\Delta a_1)^2 + (\Delta b_1)^2}} \quad (10)$$

- P_{A2} flächenspezifische Leistungsdichte im Kompartiment durch Teil-
röhre 2 in $\text{mJ}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$
- Δa_2 auf die x-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der
Röhre 2
- Δb_2 auf die y-Achse projizierter Abstand des Kompartiments von der
Röhre 2

$$P_{A2} = 10^5 \cdot \frac{\text{mm}^2 \cdot \text{mJ}}{\text{cm}^2 \cdot \text{J}} \cdot \frac{\frac{1}{2} P_{\text{Leuchtmittel}}}{L \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(\Delta a_2)^2 + (\Delta b_2)^2}} \quad (11)$$

Die Berechnung von P_{A3} und P_{A4} erfolgt analog zu P_{A1} bzw. P_{A2} .

Strömungsgeschwindigkeit im Kompartiment

- \dot{V} Volumenstrom in mm^3/s
- A_{mn} Querschnittsfläche des Kompartiments in mm^2 (*konstant*)
bzw. A
- $v_{\text{mn, norm}}$ normierte Strömungsgeschwindigkeit im Kompartiment
in mm/s
- K_{norm} Normierungsfaktor (*konstant*)

v_{mn} unkorrigierte Strömungsgeschwindigkeit im Kompartiment in mm/s

$$\dot{V} = \sum (v_{mn,norm} \cdot A_{mn}) = A \cdot \sum (v_{mn,norm}) \quad (12)$$

mit

$$v_{mn,norm} = K_{norm} \cdot v_{mn} \quad (13)$$

$$\dot{V} = A \cdot \sum (K_{norm} \cdot v_{mn}) = K_{norm} \cdot A \cdot \sum v_{mn} \quad (14)$$

v_{MW} mittlere Strömungsgeschwindigkeit in mm/s

$$\dot{V} = n \cdot v_{MW} \cdot A = n \cdot v_{MW} \cdot A \cdot \frac{\sum v_{mn}}{\sum v_{mn}} = \frac{n \cdot v_{MW}}{\sum v_{mn}} \cdot A \cdot \sum v_{mn} \quad (15)$$

$$\dot{V} = \frac{n \cdot v_{MW}}{\sum v_{mn}} \cdot A \cdot \sum v_{mn} = K_{norm} \cdot A \cdot \sum v_{mn} \quad (16)$$

$$K_{norm} = \frac{n \cdot v_{MW}}{\sum v_{mn}} = \frac{v_{mn,norm}}{v_{mn}} \quad (17)$$

2.4 Abfolge der Berechnungen

1. vorläufige, unkorrigierte Strömungsgeschwindigkeit v_{mn} in den einzelnen Kompartimenten
2. Korrekturfaktor K_{norm}

$$K_{norm} = \frac{n \cdot v_{MW}}{\sum v_{mn}} \quad (17)$$

3. normierte Strömungsgeschwindigkeit $v_{mn,norm}$ im jeweiligen Kompartiment

$$v_{mn,norm} = K_{norm} \cdot v_{mn} \quad (13)$$

4. flächenspezifische Leistungsdichte P_{A1} im Kompartiment durch Teilröhre 1

$$P_{A1} = 10^5 \cdot \frac{\text{mm}^2 \cdot \text{mJ}}{\text{cm}^2 \cdot \text{J}} \cdot \frac{\frac{1}{2} P_{\text{Leuchtmittel}}}{L \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(\Delta a_1)^2 + (\Delta b_1)^2}} \quad (10)$$

5. flächenspezifische Leistungsdichte P_{A2} im Kompartiment durch Teilröhre 2

$$P_{A2} = 10^5 \cdot \frac{\text{mm}^2 \cdot \text{mJ}}{\text{cm}^2 \cdot \text{J}} \cdot \frac{\frac{1}{2} P_{\text{Leuchtmittel}}}{L \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(\Delta a_2)^2 + (\Delta b_2)^2}} \quad (11)$$

6. ggf. flächenspezifische Leistungsdichte P_{A3} im Kompartiment durch Teilröhre 3

$$P_{A3} = 10^5 \cdot \frac{\text{mm}^2 \cdot \text{mJ}}{\text{cm}^2 \cdot \text{J}} \cdot \frac{\frac{1}{2} P_{\text{Leuchtmittel}}}{L \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(\Delta a_3)^2 + (\Delta b_3)^2}} \quad \text{analog (11)}$$

7. ggf. flächenspezifische Leistungsdichte P_{A4} im Kompartiment durch Teilröhre 4

$$P_{A4} = 10^5 \cdot \frac{\text{mm}^2 \cdot \text{mJ}}{\text{cm}^2 \cdot \text{J}} \cdot \frac{\frac{1}{2} P_{\text{Leuchtmittel}}}{L \cdot 2\pi \cdot \sqrt{(\Delta a_4)^2 + (\Delta b_4)^2}} \quad \text{analog (11)}$$

8. flächenspezifische Leistungsdichte P_A insgesamt im Kompartiment

$$P_A = P_{A1} + P_{A2} \quad \text{oder} \quad P_A = P_{A1} + P_{A2} + P_{A3} + P_{A4} \quad (6) \text{ bzw. } (7)$$

9. flächenspezifische Strahlungsdosis D_{mn} im Kompartiment

$$D_{mn} = P_{A,mn} \cdot \frac{L}{V_{mn,norm}} \quad (5)$$

10. Überlebensrate S_{mn} im Kompartiment

$$S_{mn} = e^{-k \cdot D_{mn}} \quad (4)$$

11. Überlebensrate S in der Berechnungseinheit

$$S = \frac{1}{n} \cdot \sum S_{mn} \quad (3)$$

12. Überlebensrate S_{gesamt} insgesamt

$$S_{\text{gesamt}} = \frac{\sum S}{\text{Anzahl der Berechnungseinheiten}} \quad (18)$$

3 Geometrie und Parameter

3.1 Designobjekt zur Luftdesinfektion am Schreibtisch (calinaDESK)

Beim Designobjekt zur Luftdesinfektion am Schreibtisch wird die Luft auf der Rückseite des Designobjekts in den Strömungskanal bzw. in die beidseitig symmetrisch angeordneten Strömungskanäle eingeblasen. Zur Berechnung der Überlebensrate wird das Designobjekt in zwei spiegelsym-

metrische Hälften unterteilt. Jede Berechnungseinheit hat einen Querschnitt mit einer Höhe (= vertikal) von 188 mm und einer Breite (= horizontal) von 38 mm. Die Leuchtmittel sowie die Strömungsrichtung sind horizontal und vertikal mittig in der Querschnittsfläche angeordnet.

Folgende Parameter werden den Berechnungen zugrunde gelegt:

- Für die Berechnung der Überlebensrate wird eine Strahlungsempfindlichkeit der Viren von $0,3 \text{ cm}^2/\text{mJ}$ gewählt.
- Die Berechnungseinheiten sind jeweils mit einem U-förmigen Leuchtmittel mit je $3,8 \text{ W}$ Lichtleistung und einem Röhrendurchmesser von 12 mm ausgestattet. Der vertikal ausgerichtete Abstand zwischen den Röhren eines Leuchtmittels beträgt 15 mm (Mittelpunkt zu Mittelpunkt).
- Für die Länge der UVC-Leuchtmittel bzw. der Bestrahlungszone in Strömungsrichtung werden 193 mm angesetzt.
- Als mittlere Strömungsgeschwindigkeit wird $0,4 \text{ m/s}$ gewählt. (Bei höheren Geschwindigkeiten ist die Effizienz der Desinfektion aufgrund der geringeren Bestrahlungsdauer vermindert.)
- Eine Verschattung tritt nicht auf.
- Eine Erhöhung der Desinfektionseffizienz bzw. der Wirksamkeit durch reflektierte UVC-Strahlung wird nicht berücksichtigt.
- Jede Berechnungseinheit besteht aus Kompartimenten mit einer Querschnittsfläche von $0,5 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm} = 0,25 \text{ mm}^2$. Eine Berechnungseinheit besteht damit aus $28,2 \text{ Tsd}$ Kompartimenten.

Kritische Parameter sind die Empfindlichkeit der Viren gegenüber UVC-Strahlung sowie die Strömungsgeschwindigkeit.

Für die Berechnung wird vorausgesetzt, dass die Strömung beide Berechnungseinheiten gleichmäßig durchströmt. Das 2-dimensionale Profil der Strömungsgeschwindigkeit mit weitgehend turbulenter Strömungscharakter wurde angepasst an gemessene Strömungsprofilaten.

Die Berechnung wurde mit einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von $0,4 \text{ m/s}$ durchgeführt. Die Erfüllung dieser Voraussetzung ist sicherzustellen. Bei einer zur Verfügung stehenden Querschnittsfläche (Kanalquerschnitt abzüglich Röhrenquerschnitte) von $69,2 \text{ cm}^2$ entsprechen $0,4 \text{ m/s}$ einem Volumenstrom durch jeden Strömungskanal von $9,96 \text{ m}^3/\text{h}$ und durch den Ventilator von $19,9 \text{ m}^3/\text{h}$.

anderes Produkt

anderes Produkt

4 Ergebnisse

4.1 Designobjekt zur Luftdesinfektion am Schreibtisch (calinaDESK)

Beim Designobjekt zur Luftdesinfektion am Schreibtisch standen Messwerte für die Strömungsgeschwindigkeit zur Verfügung (s. Bild 3). Das Geschwindigkeitsprofil wurde mittels geeigneter Fitfunktionen nachgestellt (s. Bild 4) und in einem weiten Bereich variiert.

0,64	0,43	0,51	0,38	0,40	0,36	0,47
0,74	0,61	0,59	0,58	0,47	0,48	0,51
0,72	0,70	0,69	0,55	0,35	0,35	0,51
Ventilator						

Bild 3:
Vom Auftraggeber gemessenes Strömungsprofil am Ausgang des Strömungskanals.

Beim Designobjekt zur Luftdesinfektion am Schreibtisch ist das Strömungsprofil asymmetrisch. Die Strömungsgeschwindigkeit zeigt in vertikaler Ausrichtung (im Bild horizontal) ein Maximum auf der Seite, auf der der Ventilator angebracht ist. In horizontaler Ausrichtung (im Bild vertikal) liegt ein schwach ausgeprägtes Maximum eher in der Mitte.

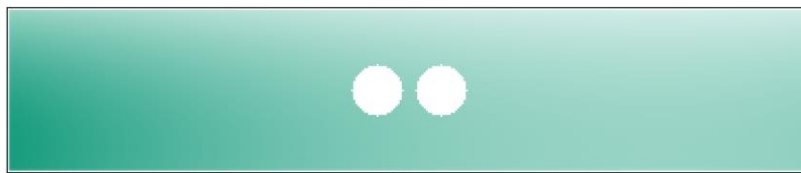


Bild 4:
Für die Berechnungen verwendetes Strömungsprofil. (Der Ventilator sitzt im Bild links unten.)

Für die Berechnungen wurde der Volumenstrom als messtechnisch zuverlässigster Parameter für die Ermittlung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit herangezogen. Der Auftraggeber hat versichert, dass der vom Ventilator maximal erzeugte Volumenstrom unter $20 \text{ m}^3/\text{h}$ liegt. Bei einer zur Verfügung stehenden Querschnittsfläche von $2 \times 69,2 \text{ cm}^2$ entspricht eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von $0,4 \text{ m/s}$ einem Gesamtvolumenstrom von $19,9 \text{ m}^3/\text{h}$.



Bild 5:
Verteilung der berechneten Überlebensrate. (Der Ventilator sitzt im Bild links unten.)

In Bild 5 ist zu erkennen, dass die Überlebensrate in den Randzonen Maxima aufweist – insbesondere auf der Seite mit der höheren Strömungsgeschwindigkeit. Der Grund hierfür liegt zum einen im größeren Abstand zu den Strahlungsquellen und zum anderen in der höheren Strömungsgeschwindigkeit.

In Tabelle 1 sind die Überlebensraten für mittlere Strömungsgeschwindigkeiten von 0,4 m/s und 0,5 m/s und Empfindlichkeitskonstanten von 0,1 bis 0,7 m²/J aufgeführt. Da bereits geringe Veränderungen im Strömungsprofil einen (geringen) Einfluss auf die Überlebensrate haben, wurden die Parameter zur Beschreibung des Strömungsprofils in einem weiten Bereich variiert; für beide mittleren Strömungsgeschwindigkeiten sind die erhaltenen minimalen und maximalen Überlebensraten aufgeführt.

Bei einer Empfindlichkeitskonstanten von 0,3 m²/J und einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,4 m/s wird auch bei einem sehr ungünstigen (unrealistischen) Strömungsprofil eine Überlebensrate von unter 1 % erreicht.

Tabelle 1:
Überlebensrate in % für das Designobjekt zur Luftdesinfektion am Schreibtisch für zwei mittlere Strömungsgeschwindigkeiten und zwei Strömungsprofilvarianten.

Empfindlichkeitsfaktor	Überlebensrate [%]			
	mit $v_{MW} = 0,4 \text{ m/s}$		mit $v_{MW} = 0,5 \text{ m/s}$	
k [m ² /J]	min	max	min	max
0,10	8,36	9,08	12,15	12,52
0,15	3,57	4,48	5,88	6,75
0,20	1,65	2,42	3,05	3,94
0,25	0,80	1,39	1,65	2,42
0,30	0,40	0,83	0,92	1,55
0,35	0,21	0,51	0,53	1,01
0,40	0,11	0,32	0,31	0,68
0,50	0,03	0,13	0,11	0,32
0,60	0,01	0,05	0,04	0,15
0,70	0,00	0,02	0,02	0,08

anderes Produkt

anderes Produkt

anderes Produkt

anderes Produkt

Literaturverzeichnis

- [1] Kowalski, Wladyslaw: Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook; Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2009); ISBN: 978-3-642-01999-9; doi: 10.1007/978-3-642-01999-9

- [2] Hessling, Martin & Hönes, Katharina & Vatter, Petra & Lingenfelder, Christian: Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation -review and analysis of coronavirus photoinactivation studies Ultraviolette Bestrahlungsdosen für die Inaktivierung von Corona Viren - Review und Analyse von Corona Virus-Inaktivierungsstudien. GMS Hygiene and Infection Control, Vol. 15 (2020), S. 1-8; ISSN: 2196-5226

- [3] Christopher M Walker, Gwangpyo Ko: Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols; Environ. Sci. Technol. 41/15 (2007); S. 5460-5; doi: 10.1021/es070056u.

- [4] Ayse Seyera and Tamer Sanlidag: Solar ultraviolet radiation sensitivity of SARS-CoV-2; Lancet Microbe. 1/1 (2020); S. e8–e9; doi: 10.1016/S2666-5247(20)30013-6

Bildverzeichnis

- Bild 1: Unterboden mit 3 Berechnungseinheiten, wobei die mittlere Einheit („A“) mit 2 Leuchtmitteln (blaue Balken) ausgestattet ist. 12
- Bild 2: Unterboden mit 5 Berechnungseinheiten, wobei zwei Einheiten („AC“ und „CA“) mit jeweils 2 Leuchtmitteln (blaue Balken) ausgestattet sind. 12
- Bild 3: Vom Auftraggeber gemessenes Strömungsprofil am Ausgang des Strömungskanals. 13
- Bild 4: Für die Berechnungen verwendetes Strömungsprofil. (Der Ventilator sitzt im Bild links unten.) 13
- Bild 5: Verteilung der berechneten Überlebensrate. (Der Ventilator sitzt im Bild links unten.) 14
- Bild 6: Strömungsgeschwindigkeit in den Berechnungseinheiten „AC“ und „BB“ bei laminarer Strömung (rot = 2,25 m/s; grün = 0 m/s). 15
- Bild 7: Überlebensrate in der Berechnungseinheit „BD“. links: laminare Strömung; rechts: turbulente Strömung. (rot = 100 %, grün = 0 %) 15
- Bild 8: Überlebensrate in der Berechnungseinheit „AC“. links: laminare Strömung; rechts: turbulente Strömung. (rot = 100 %, grün = 0 %) 16
- Bild 9: Überlebensrate in der Berechnungseinheit „BB“. links: laminare Strömung; rechts: turbulente Strömung. (rot = 100 %, grün = 0 %) 16

Tabellenverzeichnis

T Tabelle 4:	Überlebensrate in % für das Designobjekt zur Luftdesinfektion am Schreibtisch für zwei mittlere Strömungsgeschwindigkeiten und zwei Strömungsprofilvarianten.	14
Tabelle 2:	Überlebensrate in % für verschiedene Berechnungseinheiten (Codierung siehe Bild 1 und Bild 2) für den Unterboden in Serverräumen für laminare Strömung.	17
Tabelle 3:	Überlebensrate in % für verschiedene Berechnungseinheiten (Codierung siehe Bild 1 und Bild 2) für den Unterboden in Serverräumen für turbulente Strömung.	17