

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-067/2020

## **Effizienz des Raumlufthereinigers von oxytec (Cleanair Sky L) auf die Reduktion und Inaktivierung von luftgetragenen Viren**

Durchgeführt im Auftrag der  
oxytec AG

Herrn Dr. Christian Haverkamp

Bahnhofstr. 52

8001 Zürich

Schweiz

Der Bericht umfasst:

11 Seiten Text

4 Bilder

2 Tabellen

Valley, 16. Dezember 2020

Stv. Abteilungsleiterin:  
Dr.-rer. nat. Andrea Burdack-Freitag

Bearbeiter:  
Michael Buschhaus

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Untersuchungsgegenstand</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Methode</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung der Untersuchung der Effizienz des Raumlufthereinigers von oxytec (Cleanair Sky L mit Feinstaub-Filter)</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Literatur</b>	<b>10</b>

# 1 Untersuchungsgegenstand

Ziel der Untersuchung war die Testung der Reduktion und die Inaktivierung luftgetragener Surrogat-Viren (behüllte Phi6-Bakteriophage mit vergleichbarer Struktur, Partikelgröße und Umweltstabilität zu SARS-CoV-2 [1], [2], [3], [4], [5]) durch das Luftreinigungsgerät (Gerätespezifikationen siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Gerätespezifikation

Gerätename	Cleanair Sky L
Hersteller	oxytec AG
Eingang des Gerätes	23. Oktober 2020
Funktionsprinzip	Kaltplasma - Umluftreinigungsverfahren mit Feinstaub-Filter ePM1 80% nach ISO 16890 bzw. F9 nach EN 779
Installation	Deckenmontage für Versuche auf speziell angefertigte Halterungen Abstand Unterkante Gerät und Boden 2 Meter
Betriebsmodus	Stufe 3
Volumenstrom	400 m <sup>3</sup> /h
Gerätedimension	B 600 mm x T 600 mm x H 140 mm
Raumgröße	bis 100-150 m <sup>3</sup>
IBP interne Prüfnummer	E3413_4_1
Messzeitraum	KW 48

Die Untersuchungen bezogen sich ausschließlich auf Aerosole in der Luft. Die natürliche Halbwertszeit der Viren (Phi6-Bakteriophage) muss bei der Berechnung der Effizienz des Gerätes mitberücksichtigt werden.

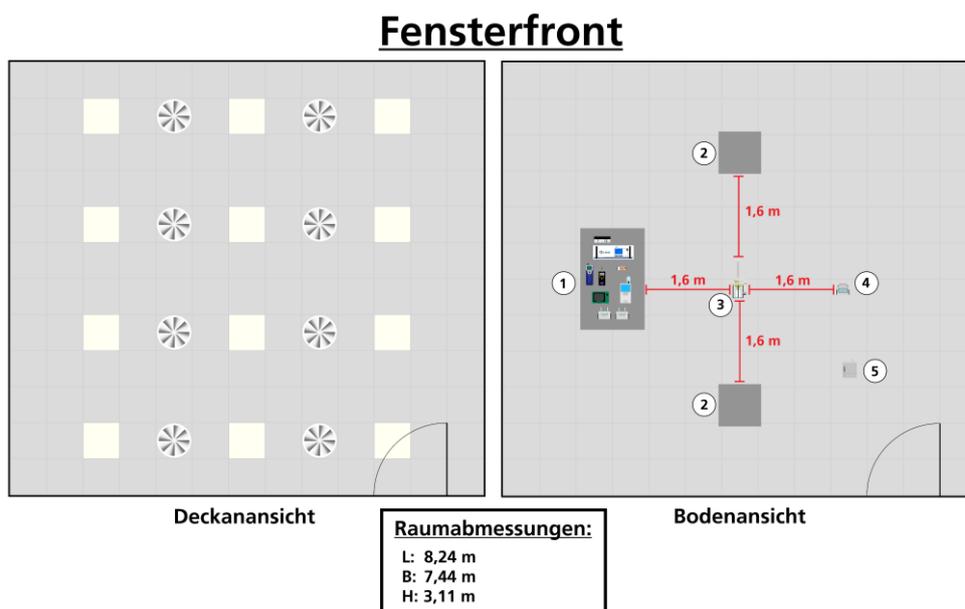
Der Aufbau erfolgte in Anlehnung an die DIN ISO 16000-36 [6] für die Untersuchung luftgetragener Bakterien, realitätsnah angepasst an die spezifischen Anforderungen von Viren. Die Viren wurden aus der Raumluft analog zu DIN-ISO 16000-16 [7] gesammelt, die Filter in Anlehnung an DIN ISO 16000-17 [8] aufgearbeitet. Die Anzahl aktiver Viren („Virulenz“) wurde im Labor mittels der Methode des Plaque Assays bestimmt ([9], [10]).

Anmerkung: Untersuchungen der Virenaktivität auf Oberflächen bedürfen einer anderen Methode, da hier die Stabilität von Viren in Flüssigkeiten („Schmierinfektion“) betrachtet werden muss.

## 2 Methode

Die Versuche fanden im luftstrom-, temperatur- und feuchtegeregelten HIPIE-Labor (**H**igh **P**erformance **I**ndoor **E**nvironment) des Fraunhofer IBP mit einer Raumgröße von 211 m<sup>3</sup> ohne zusätzlichen Luftaustausch statt. Die Versuche erfolgten somit unter statischen Bedingungen. Die Raumfeuchte wurde durch einen externen Ultraschall-Befeuchter eingestellt. Anhand der Raumgröße wurden 2 Luftreinigungsgeräte des Herstellers für die Versuche herangezogen.

Die Luftreinigungsgeräte wurden in der Raummitte in 2 Meter Höhe platziert (siehe Bild 1 und Bild 2). Die Viren wurden im Abstand von 1,6 Metern vor dem Einlass der beiden Cleanair Sky L Geräte (Stufe 3; 400 m<sup>3</sup>/h) in den Raum eingebracht. Die Dosierung erfolgte zunächst ohne Einschalten des Gerätes, um eine hohe Virenlast im Raum zu erreichen. Danach wurde die Dosierung abgeschaltet und die beiden Luftreinigungsgeräte über eine Gesamtlaufzeit von etwa 8 Stunden betrieben. Über die gesamte Laufzeit wurden die Partikelverteilung im Raum, die Temperatur und Feuchte sowie der Ozongehalt kontinuierlich gemessen.



### Legende

- |   |   |   |                        |
|---|---|---|------------------------|
| ① | Sensor-Messtechnik und Probenahmestelle VOC | ③ | Aerosolgenerator       |
| ② | Cleanair Sky L Geräte                       | ④ | Luftkeimsammler        |
|   |   | ⑤ | Ultraschall-Befeuchter |

Bild 1: Schematischer Aufbau der Cleanair Sky L-Luftreinigungsgeräte im HIPIE-Labor mit Dosiergerät und Luftkeimsammler.



Bild 2: Aufbau der Cleanair Sky L-Luftreinigungsgeräte im HiPIE-Labor mit Dosiergerät und Luftkeimsammler.

Entsprechend den Vorgaben des Umweltbundesamtes wird beim Einsatz von ozonproduzierenden Luftreinigungsverfahren (UV-C, Plasmatechnologie; Ozon Direktinjektion) die Bestimmung von entstehenden Beiprodukten im Betrieb gefordert [11]. Diese Probenahme erfolgte auf entsprechenden Adsorptionsröhrchen zur Detektion von VVOC und VOC, analysiert mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie [12], sowie auf DNPH-Kartuschen zur Bestimmung ausgewählter Ketone und Aldehyde, analysiert mittels Hochleistungsflüssigchromatographie-Diodenarray-Verfahren [13].

Zu bestimmten Zeitpunkten wurden die Viren auf einen Luftkeimsammler (MBASS30 Version 3 adaptiert für Filterbetrieb von Firma Umweltanalytik Holbach GmbH, Wadern, Deutschland) gezogen und zur mikrobiellen Analyse im Labor einem Plaque-Assay Test unterzogen (siehe Bild 3).



Bild 3: Mikrobielle Analyse.

### 3 Ergebnisse

Das Luftreinigungsgerät zog die virenbelastete Luft durch den Filterkanal. Innerhalb des Gerätes wurden Viren durch die Wirkung von Kaltplasma und gebildetem Ozon inaktiviert. Die Maximalkonzentration des Ozons im Raum selbst blieb während des gesamten Messzeitraumes gering (max. 9 ppb; entspricht 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bild 4 zeigt die Verteilung der Viren im Raum über den Messzeitraum und die Probenahmezeiten wurde auf den Dosierungsbeginn normiert:

- **BW:** Raumblindwert vor Beginn der Virendosierung
- **P1:** Probenahme im Zeitraum von 90 min bis 150 min der Phagendosierung und Cleanair Sky inaktiv (entspricht Referenzmessung, Gesamtdauer Phagendosierung 150 min)
- **P2:** Probenahme im Zeitraum von 15 min bis 75 min (mittlere Probenahmezeit 45 min) nach Beendigung der Virendosierung und Einschalten des Cleanair Sky L
- **P3:** Probenahme im Zeitraum von 75 min bis 135 min (mittlere Probenahmezeit 105 min) nach Beendigung der Virendosierung und Einschalten des Cleanair Sky L
- **P4:** Probenahme im Zeitraum von 135 min bis 195 min (mittlere Probenahmezeit 165 min) nach Beendigung der Virendosierung und Einschalten des Cleanair Sky L

Die beiden Kurven spiegeln die Messbereiche der Partikelmessgeräte (WCPC 3788/TSI und Fidas Frog/Pallas) wider. Der WCPC 3788 umfasst den nanoskaligen Bereich von 2,5 bis 1000 nm und deckt daher vor allem den Bereich einzelner Viren (Virengröße (ca. 100 nm) in der Luft ab. Der Fidas Frog umfasst einen gröberskaligen Bereich von 0,2 bis 20 µm und erfasst somit Aerosol gebundene Viren (ca. 1 bis 3 µm).

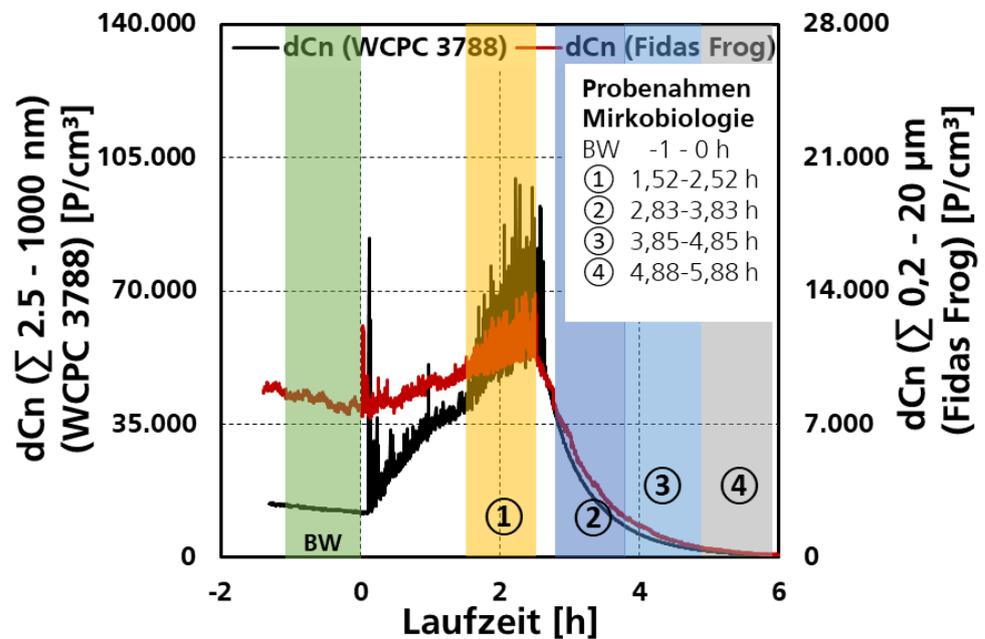


Bild 4: Verteilung der Virenpartikel im Raum und Zeitpunkte der Probenahmen.

Die Laboruntersuchungen auf durch Plasma-Einwirkung (aufgrund gebildeten Ozons) entstehende Substanzen zeigten, dass wenige Beiprodukte nachgewiesen werden konnten. Die gebildeten Beiprodukte wurden mit Richtwertempfehlungen des AIR [14] abgeglichen. Der Richtwert I (RW I) beschreibt hierbei die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der bei einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch dann keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist, wenn ein Mensch diesem Stoff lebenslang ausgesetzt ist. Dieser RW I wurde für alle gebildeten Beiprodukte eingehalten. Somit wurde kein Beiprodukt in kritischer Konzentration gebildet.

Die Anzahl der Viren aus der Luft nahm entlang der Kurve (zeitlicher Verlauf) durch Luftfiltration mit den vier installierten Feinstaub-Filtern „ePM1 80 und zum Teil durch Sedimentation („Ablagerung“ im Raum) ab. Da der Raumluftreiniger auf dem Prinzip der Inaktivierung von Viren basiert, wurde die Höhe der Inaktivierung bzw. die zeitliche Dauer der Inaktivierung bestimmt.

Die Zeiträume der Probenahme für die Viren in der Luft sind im Diagramm (Bild 4) markiert. Deren im Labor gemessene Aktivität, d.h. inwieweit die Viren potentiell vermehrungsfähig sind, wird in Tabelle 2 berechnet. In die Berechnung gingen die Sedimentation und die ermittelte natürliche Halbwertszeit der

Viren in der Luft bei den Versuchen mit ein. Für den Referenzwert zur Berechnung der Reduktion wurde nachfolgende Parameter herangezogen:

- Aktivitätsverlust in der Suspension in Abhängigkeit der Zeit (bekannt aus eigenen Messungen; in Spalte 3 „Berechnete Reduktionsrate R ohne Einbezug der Sedimentation“ miteinbezogen).
- Literaturangaben zum Virulenzverlust im Aerosol [2] für P2 und [15] für P3 und P4 (in Spalte 4 „Berechnete Reduktionsrate R mit Einbezug der Sedimentation“ miteinbezogen).
- Abklingkurve des Partikelmessgerätes (WCPC 3788) zur Bestimmung der Sedimentation (in Spalte 4 „Berechnete Reduktionsrate R mit Einbezug der Sedimentation“ miteinbezogen).

Tabelle 2: Messung der Virenaktivität

<b>Zeitpunkt der Probenahme</b>	Gemessene Reduktion der Virenaktivität (reine Messdaten in Relation zu $t_0$ ) [%]	Berechnete Reduktionsrate R ohne Einbezug der Sedimentation */**	Berechnete Reduktionsrate R mit Einbezug der Sedimentation */**
<b>BW</b>	- ***	-	-
<b>P1</b>	0	-	-
<b>P2</b>	72,14	0,7212	0,5444
<b>P3</b>	95,57	0,9508	0,8688
<b>P4</b>	99,30	0,9725	0,8789

\*Reduktionsrate  $R = 1 - C_t/C_i$  ( $C_i$  ohne Inbetriebnahme des Luftreinigers und  $C_t$  mit laufendem Luftreiniger).

\*\* unter Berücksichtigung der natürlichen Halbwertszeit der Viren in der Raumluft (laut Literatur [2] und [12]), Sedimentationsfaktor wurde anhand der Abklingkurve ohne „ePM1 80%“-Luftfilter vom 26.11.2020 E3413\_4\_2 berechnet.

\*\*\* BW Blindwert vor Virendosierung, keine Funde im Raum.

## 4 Zusammenfassung der Untersuchung der Effizienz des Raumlufthereinigers von oxytec (Cleanair Sky L mit Feinstaub-Filter)

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde ein Versuchsaufbau in Anlehnung an DIN ISO 16000-36 [6] für die Untersuchung luftgetragener Bakterien, realitätsnah angepasst, sowie **an die spezifischen Anforderungen von Viren zugeschnitten. Laut Vorgaben des Umweltbundesamtes für die Untersuchung** von Luftreinigern mit verbauter Plasma-Technologie wurde der Versuchsraum sowie die Gerätepositionierung **realitätsnah** festgelegt.

Das dafür verwendete HiPIE-Labor des IBP mit einem Raumvolumen von 211 m<sup>3</sup> wurde für 2,5 Stunden mit Surrogat-Viren (behüllte Phi6-Bakteriophage mit vergleichbarer Struktur, Partikelgröße und Umweltstabilität zu SARS-CoV-2) beaufschlagt. Die Luftreinigungsgeräte wurden in der Raummitte in 1,6 Meter Höhe platziert (vgl. Bild 1 und Bild 2). Die Viren wurden im Abstand von 1,6 Metern vor dem Einlass der beiden Cleanair Sky L Geräte (Stufe 3; 400 m<sup>3</sup>/h) in den Raum eingebracht. Danach wurde die Dosierung aus- und das Luftreinigungsgerät Cleanair Sky L (oxytec AG) eingeschaltet. **Nach 45 min wurde eine Reduktion von 72 % (ohne Einbezug der Sedimentation) der Viren erreicht, nach 105 min 95 % (ohne Einbezug der Sedimentation) und nach 165 min über 97 % (ohne Einbezug der Sedimentation) erreicht.**

Bei der Untersuchung wurde eine **Ozonkonzentration in der Luft von maximal 18 µg/m<sup>3</sup>** gemessen. Dies entspricht 15 % des gesetzlich festgelegten Grenzwerts. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz legt bis zu 120 µg/m<sup>3</sup> als unbedenkliche Obergrenze (maximaler Zielwert) fest. [16].

Anmerkung: Untersuchungen der Virenaktivität auf Oberflächen bedürfen einer anderen Methode, da hier die Stabilität von Viren in Flüssigkeiten („Schmierinfektion“) betrachtet werden muss.

## 5 Literatur

- [1] Carvallo, N.A. de, Stachler, E.N., Cimabue, N., Bibby, K. (2017): Evaluation of Phi6 Persistence and Suitability as an Enveloped Virus Surrogate. *Environmental Science & Technology* 51: 8692-8700.
- [2] Prussin, A.J., Schwake, D.O., Lin, K., Gallagher, D.L., Buttling, L., Marr, L.C. (2018): Survival of the Enveloped Virus Phi6 in Droplets as a Function of Relative Humidity, Absolute Humidity, and Temperature. *Applied and Environmental Microbiology* 84(12).
- [3] Whitworth, C., Mu, Y., Houston, H., Martinez-Smith, M., Noble-Wang, J., Coulliette-Salmond, A., Rose, L. (2020): Persistence of bacteriophage Phi 6 on Porous and Nonporous Surfaces and the Potential for Its Use as an Ebola Virus or Coronavirus Surrogate. *Applied and Environmental Microbiology* 86(17): 1-11.
- [4] Casanova, L.M. & Waka, B. (2013): Survival of a Surrogate Virus on N95 Respirator Material. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 34(12): 1334-1335.
- [5] Turgeon, N., Toulouse, M.-J., Martel, B., Molneau, S., Duchaine, C. (2014): Comparison of Five Bacteriophages as Models for Viral Aerosol Studies. *Applied and Environmental Microbiology* 80(14): 4242-4250.
- [6] DIN ISO 16000-06:2019-07, Innenraumluftverunreinigungen – Teil 36: Prüfkammer-Verfahren zur Bestimmung der Minderungsrate luftgetragener, kultivierbarer Bakterien durch Luftreiniger mit einer Prüfkammer.
- [7] DIN ISO 16000-16:2009-12, Innenraumluftverunreinigungen - Teil 16: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen - Probenahme durch Filtration.
- [8] DIN ISO 16000-17:2010-06 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 17: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Kultivierungsverfahren.
- [9] Baer, A. & Kehn-Hall, K. (2014): Viral Concentration Determination Through Plaque Assaya: Using Traditional and Novel Overlay Systems. *Journal of Visualized Experiments* 93: 1-10.
- [10] Dulbecco, R. 1952. Production of plaques in monolayer tissue cultures by single particles of an animal virus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 38:747–752.
- [11] Umweltbundesamt, Stellungnahme der Kommission Innenraumluftthygiene (IRK), Einsatz mobiler Luftreiniger als Lüftungsunterstützende Maßnahme in Schulen während der SARS-CoV-2 Pandemie (Stand: 16. November 2020)
- [12] DIN ISO 16000-3:2013-01 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern – Probenahme mit einer Pumpe.

[13] DIN ISO 16000-6:2012-11 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS o-der MS-FID.

[14] Richtwertempfehlungen des AIR; Stand Oktober 2020  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#hygienische-leitwerte-fur-die-innenraumluft>

[15] Tseng, C.-C. & Li, C.-S. (2005): Inactivation of Virus-Containing Aerosols by Ultraviolet Germicidal Irradiation. *Aerosol Science and Technology* 39: 1136-1142.

[16] 39. BImSchV. Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen. Anlage 7 (zu §9) Zielwerte und langfristige Ziele für Ozon.