

**Stellungnahme zur viruziden
Wirksamkeit von AIRsteril®
Multifunktional**

Dr. Stefanie Scheffler
Fraunhofer Institute of Toxicology and
Experimental Medicine
Department Chemical Risk Assessment
Nikolai-Fuchs-Str. 1
D-30625 Hannover
Phone +49 (0)51 1/53 50 - 366

Dezember 2020

Content

1	Hintergrund.....	3
2	Wirkweise.....	3
3	Wirksamkeit gegen Bakteriophagen	4
4	Gesundheitliche Belastung	5
5	Abbau von flüchtigen organischen Substanzen	6
6	Zusammenfassung	7
7	Referenzen.....	8

1 Hintergrund

Der AIRsteril® Multifunktional ist ein Luftreinigungsgerät, welches u. a. zum Beseitigen von Gerüchen eingesetzt wird. In dieser Stellungnahme soll die Wirksamkeit des AIRsteril® Multifunktional gegen behüllte Viren (z. B. Corona-Viren) sowie die gesundheitliche Belastung durch das generierte Ozon und eventuelle Abbauprodukte betrachtet werden.

Für die Beurteilung der viruziden Wirksamkeit wurde ein Test gegen Bakteriophagen mit dem AIRsteril® Multifunktional durchgeführt und im Folgenden beschrieben. Für die Beurteilung der gesundheitlichen Aspekte wurden keine Untersuchungen mit dem AIRsteril® Multifunktional durchgeführt, sondern stattdessen existierende Literaturdaten begutachtet.

2 Wirkweise

Im Luftreinigungsgerät AIRsteril® Multifunktional befinden sich zwei Lichtquellen, die UV-C-Licht mit Wellenlängen von 185 nm und 254 nm emittieren. UV-C-Licht hat eine keimtötende Wirkung, weiterhin wird bei Wellenlängen < 250 nm Ozon generiert. [1] Der AIRsteril® Multifunktional besitzt neben den beiden UV-Lampen außerdem einen TiO₂-Katalysator, dessen Aufgabe es ist, flüchtige organische Substanzen (VOC = volatile organic compounds) abzubauen.

UV-C-Licht (100 – 280 nm) wird von Proteinen, RNA und DNA absorbiert und verursacht so Schäden in Zellen. Die keimtötende Wirkung von UV-C-Strahlung ist bei Wellenlängen zwischen 260 – 265 nm am größten, da Licht dieser Wellenlänge von bakterieller DNA absorbiert wird. [2]

In Abb. 1 ist die Wirksamkeit von UV-C-Licht auf E. coli Bakterien gezeigt. Hier wird deutlich, dass Wellenlängen um ca. 250 – 280 nm eine hohe keimtötende Effektivität (≥ 80 %) haben.

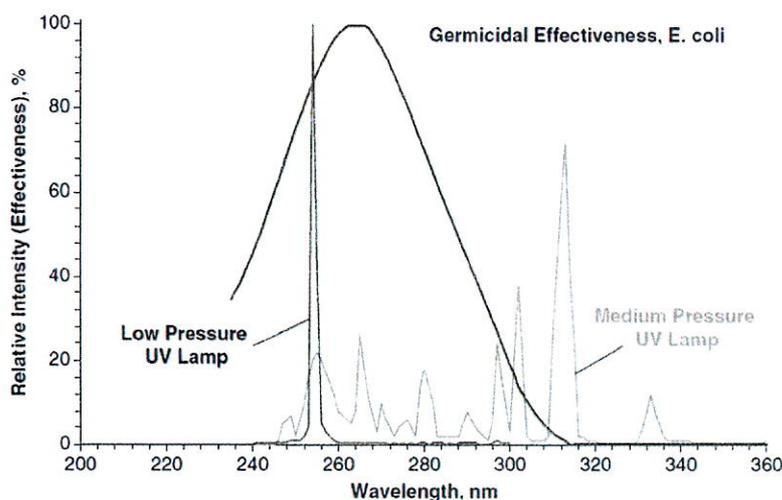


Abb. 1: Keimtötende Wirksamkeit von UV-C-Strahlung auf E. coli-Bakterien, Quelle: Kowalski, 2009 [2]

DNA- und RNA-Viren werden mit ähnlicher Effizienz abgetötet wie Bakterien, da die keimtötende Wirkung primär auf die Absorption durch die Nukleinbasen beruht und Uracil ein dem Thymin vergleichbares Absorptionsspektrum besitzt (Abb. 2).

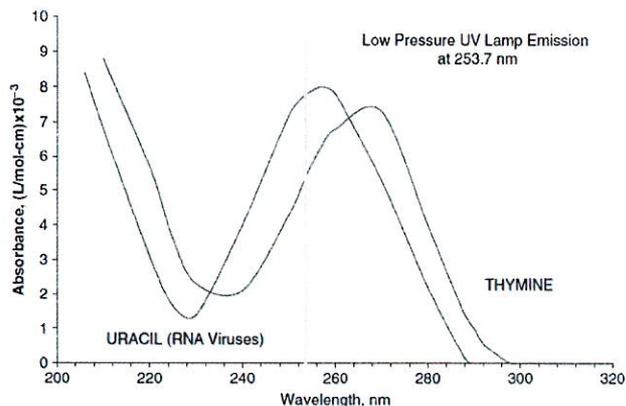


Abb. 2: Vergleich der Absorption von UV-Licht durch Uracil und Thymin. Quelle: Kowalski, 2009 [2]

3 Wirksamkeit gegen Bakteriophagen

Im Prüflabor HygCen Germany GmbH wurde der AIRsteril® Multifunktional auf seine Wirksamkeit gegen Bakteriophagen (als Surrogat für eine Viruswirksamkeit) untersucht. Für die Untersuchungen liegen ein Prüfbericht sowie eine Stellungnahme vor. [3] [4]

Für den Wirksamkeitsnachweis wurde ein 75 m³ großer Prüfraum mit Hilfe des AIRsteril® Multifunktional 12 Stunden vorkonditioniert. Die Ozonkonzentration im Raum betrug nach Ablauf der Vorkonditionierung < 0,02 ppm.

Anschließend wurden unter Verwendung eines Ultraschallverneblers innerhalb von 30 Minuten 1000 ml einer Keimsuspension von Enterobakteriophagen PhiX174 ausgebracht. Die theoretische Keimkonzentration in der zu vernebelnden Keimlösung wurde mit 8,13 lg/m³ berechnet¹.

Die Keimkonzentration in der Luft wurde mit Hilfe eines Impingers direkt im Anschluss an die Verneblung des Keimaerosols (T0), nach 10, 20, 30, 60 und 120 min bestimmt.

An T0 wurde die Konzentration der Bakteriophagen in der Raumluft mit 5,11 lg/m³ bestimmt. 10 Minuten nach Ausbringung waren keine Bakteriophagen mehr in der Raumluft nachweisbar (< 2,2 lg/m³).

In einem Vergleichsexperiment ohne Vorkonditionierung durch den AIRsteril® Multifunktional betrug die Konzentration der Bakteriophagen in der Raumluft an T0 7,23 lg/m³, nach 10 Minuten 7,1 lg/m³, nach 20 min 6,67 lg/m³, nach 30 min 5,83 lg/m³ und nach 60 min 4,51 lg/m³. Die Reduktion der

¹ 8,13 lg/m³ = 10^{8,13} Keime/m³

Keimkonzentration über die Zeit im Referenzversuch ist auf Trocknungs- und Absinkungseffekte zurückzuführen.

Ergebnis

Gemäß des Prüfberichts [3] und der Stellungnahme [4] von S. Werner konnte die Wirksamkeit des AIRsteril® Multifunktional gegen Coliphagen nach 10 Minuten mit einer Reduktion des Prüfkeims von 4.9 Log-Stufen pro m³ Raumluft nachgewiesen werden.

Entsprechend der Stellungnahme lassen die beschriebenen Ergebnisse für das getestete Colivirus phi X174 auf vergleichbare Reduktionsraten auch in Bezug auf andere Viren (mindestens behüllte Viren, inkl. Coronaviren) schließen. [4]

Eine Prüfkeimreduktion von 4.9 Log-Stufen entspricht der Größenordnung, die auch für den viruziden Wirksamkeitsnachweis bei Produkten für die Oberflächen- oder Raumdesinfektion gefordert wird. Für eine entsprechende Auslobung ist hier jeweils eine Keimreduktion von mindestens 4 Log-Stufen notwendig. Entsprechend wurde bei Anlegung dieses Kriteriums eine ausreichende Wirksamkeit des geprüften Verfahrens erzielt.

4 Gesundheitliche Belastung

Ozon ist ein sehr reaktives Molekül, das mit organischen Systemen reagiert. Bei längerer Exposition kommt es zu Veränderungen in den Zellen des Atemtrakts mit Degeneration, Hyperplasie und fibrösen Veränderungen in der Lunge. [5]

Da für Ozon in Deutschland bislang kein Arbeitsplatzgrenzwert festgelegt wurde, und der MAK-Wert 2005 mit der Reform der Gefahrstoffverordnung ausgesetzt wurde, wird für die Risikobewertung der von der europäischen Kommission ausgegebene Grenzwert (Air Quality Standard) herangezogen. Dieser beträgt 60 ppb und ist als täglicher maximaler 8-h-Durchschnitt definiert.

Unter der Annahme, dass damit in einem Zeitraum von 8 h eine Gesamtexposition von 480 ppb erreicht wird, liegt die maximale Durchschnittskonzentration über einen Zeitraum von 24 h bei 20 ppb. Dieser Wert wird für die Risikobetrachtung herangezogen.

Die in der Wirksamkeitstestung gemessene Ozonkonzentration beträgt laut Prüfbericht < 0,02 ppm (= 20 ppb). Damit ergibt sich folgender Risikoquotient:

Grenzwert (24 h Mittelwert)	Ozonkonzentration erzeugt durch den AIRsteril® Multifunktional ²	Risikoquotient
20 ppb	< 20 ppb	< 1

5 Abbau von flüchtigen organischen Substanzen

Bei der Ozongeneration können durch Abbau flüchtiger organischer Verbindungen sekundäre Spaltprodukte entstehen, die gesundheitlich bedenklich sind. Hervorzuheben sind hier Aldehyde wie z. B. Formaldehyd die beim Abbau von Terpenen freigesetzt werden können. [6] Terpene sind u. a. Bestandteil in Baumharzen und können somit aus Holzprodukten abgegeben werden. Außerdem werden Terpene wie z. B. Limonen auch als Duftstoffe z. B. in Putzmitteln verwendet und können daher auch in der Raumluft von Innenräumen präsent sein.

Der AIRsteril® Multifunktional enthält nach Aussage des Auftraggebers neben den beiden UV-Lampen einen TiO₂ Katalysator mit einer unbekannter Menge TiO₂.

In der Literatur ist beschrieben, dass Formaldehyd auf der Oberfläche von Titandioxid unter der Einwirkung von UV-Licht photokatalytisch degradiert werden kann. Unter der Einwirkung von UV-Strahlung auf die TiO₂-Oberfläche entstehen Hydroxylradikale, die ihrerseits mit Formaldehyd reagieren. Weiterhin ist beschrieben, dass die Verwendung von UV-Licht mit den Wellenlängen 185 nm und 254 nm den Abbau von Formaldehyd beschleunigen kann. [7]

Wang et al. verglichen die Abbaueffektivität von Formaldehyd unter Einwirkung von UV-Licht der Wellenlängen 365 nm, 254 nm und 185/254 nm auf ein TiO₂/AC³-Netzwerk.

Unter der Einwirkung von UV-Licht der Wellenlängen 185 nm/ 254 nm konnte eine anfängliche Formaldehydkonzentration von 1,3 mg/m³ innerhalb von 120 Minuten um 86 % gesenkt werden. [7]

Fu et al. untersuchten die Effektivität zur Formaldehydreduktion (c₀ = 420 ppbv) von TiO₂ und Edelmetall-dotierten TiO₂-Filmen unter Einwirkung von Vakuum-UV-Strahlung (VUV, 185 nm), Ozon und UV-C-Strahlung (254 nm) sowie UV-C-Strahlung (254 nm) alleine. Bei Verwendung nicht-gedopter TiO₂-Filme konnte unter Einwirkung von VUV eine Formaldehydreduktion von 91,4 % erreicht werden. Die Reduktion durch Ozon und UV254 nm bzw. UV254 nm alleine lag deutlich niedriger, bei 57,4 % bzw. 37,8 %. [8]

Qi et al beschreiben die Reduktion von Formaldehyd durch UV/TiO₂/Ozon. Bei einer anfänglichen Formaldehydkonzentration von 1,84 – 24 mg/m³ liegt die Reduktionseffizienz dieser Methode bei 73,6 – 79,4 %, wobei sowohl die Luftfeuchtigkeit als auch die Ozonkonzentration einen Einfluss auf die Effektivität haben. [9]

² In einem 75-m³-Raum

³ TiO₂/ aktivierter Kohlenstoff

6 Zusammenfassung

Das Luftreinigungsgerät AIRsteril® Multifunktional ist in der Lage Bakteriophagen in der Raumluft effizient zu reduzieren. Nach 15-minütiger Keimausbringung in den vorkonditionierten Raum (75 m³, Ozonkonzentration < 20 ppb) war die Keimkonzentration gegenüber dem Referenzversuch bereits um 2 Log-Stufen (99 %) reduziert. Nach einer Wartezeit von 10 Minuten betrug die Reduktion der Bakteriophagenkonzentration 4,9 Log-Stufen/m³. Dies entspricht einer Keimreduktion von mindestens 99.99 %.

Die Wirksamkeitsstudien wurden mit dem Surrogat PhiX174 durchgeführt, da dieses für Menschen ungefährlich ist. Zahlreiche Studien bestätigen die Eignung von PhiX174 als Surrogat für Viren. [10, 11, 12, 13]

Die Übertragbarkeit der Testergebnisse auf die Effektivität gegen behüllte Viren, zu denen auch das SARS-CoV-2 Virus zählt, wird auch in der Stellungnahme von S. Werner bestätigt. [3]

Die durch das Gerät erreichte Ozonkonzentration liegt unterhalb des von der EU-Kommission herausgegebenen Tagesgrenzwertes und ist daher als gesundheitlich unbedenklich einzuschätzen.

In Bezug auf die Reduktion von Nebenprodukten, die durch den Abbau von flüchtigen organischen Substanzen entstanden sind (z. B. Aldehyde), liegen zum Zeitpunkt dieser Stellungnahme keine analytischen Untersuchungen vor. In der Literatur ist jedoch beschrieben, dass durch die Kombination von TiO₂ und Vakuum-UV (185 nm) bzw. TiO₂, UV und Ozon eine Reduktion von Formaldehyd erreicht werden kann.

7 Referenzen

- [1] Lawrence Berkeley National Laboratory, „Environment, Health and Safety, Ultraviolet Radiation,“ 29 November 2020. [Online]. Available: <https://ehs.lbl.gov/resource/documents/radiation-protection/non-ionizing-radiation/ultraviolet-radiation/>.
- [2] W. Kowalski, „UVGI Disinfection Theory,“ in *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*, Berlin, Heidelberg, Springer, 2009, pp. 17 - 50.
- [3] S. Werner, „Prüfbericht SN30794,“ HygCen Germany GmbH, Schwerin, 2020.
- [4] S. Werner, „Wirksamkeit einer Raumlufthdekontamination mittels Airsteril® Multiflex Air,“ HygCen Germany GmbH, Schwerin, 2020.
- [5] MAK, „Ozon - Nachtrag 1995,“ 1995.
- [6] P. Wolkoff, „Indoor air chemistry: Terpene reaction products and airway effects,“ *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2020.
- [7] M. Wang, Y. Lu, F. Wu, X. J. Zhang und C. Yang, „9th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd, Photocatalytic Decomposition of Formaldehyde by Combination of,“ *Procedia Engineering* , 2015.
- [8] P. Fu, P. Zhang und J. Li, „Simultaneous Elimination of Formaldehyde and Ozone Byproduct Using Noble Metal Modified TiO₂ Films in the Gaseous VUV Photocatalysis,“ *International Journal of Photoenergy* , 2012.
- [9] H. Qi, D.-Z. Sun und G.-Q. Chi, „Formaldehyde degradation by UV/TiO₂/O₃ process using continuous flow mode,“ *Journal of Environmental Sciences*, 2007.
- [10] D. Li, L. Baert, M. De Jonghe, E. Van Coillie, J. Ryckeboer, F. Devlieghere und M. Uyttendaele, „Inactivation of murine norovirus 1, coliphage phiX174, and Bacteroides [corrected] fragilis phage B40-8 on surfaces and fresh-cut iceberg lettuce by hydrogen peroxide and UV light,“ *Appl Environ Microbiol*, 2011.
- [11] C. Lytle, W. Truscott, A. Budacz, L. Venegas, L. Routson und W. Cyr, „Important factors for testing barrier materials with surrogate viruses,“ *Appl Environ Microbiol*, 1991.
- [12] F. v. Rheinbaben, S. Schünemann, T. Groß und M. Wolff, „Transmission of viruses via contact in a household setting: experiments using bacteriophage straight phiX174 as a model virus,“ *J Hosp Infect*, 2000.
- [13] R. Lehmann und K.-P. Bansemir, „Bakteriophagen als Testviren für die Desinfektionsmittelprüfung, 1.Mitteilung: Quantitativer Suspensionstest mit Desinfektionswirkstoffen,“ *Hygiene Med*, 1987.
- [14] D. Wahmann and M. Alexander, "A Drinking Water Relevant Water Chemistry Model for the Free Chlorine and Cyanuric Acid System from 5 °C to 35 °C," vol. 36, no. 3, 2019.

- [15] „REACH registration dossier Cyanuric acid,“ [Online]. Available:
<https://echa.europa.eu/de/registration-dossier/-/registered-dossier/15028/7/1>.
- [16] „REACH registration dossier Troclosen sodium,“ [Online]. Available:
<https://echa.europa.eu/de/registration-dossier/-/registered-dossier/14822/6/1>.