

Impact of the usage of an UV-C cleaning device on indoor air quality : Part I quantification of the UV-C dose

Hartwig Harder¹

¹Department for Air Chemistry, Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, 55120 Mainz, Germany

Correspondence to: Hartwig Harder (Hartwig.Harder@mpic.de)

Abstract.

The operation of UV-C air cleaning devices gained more attention during the SARS-COV-2 pandemic as the antiviral effectiveness of UV-C radiation is well known. The exposure of air to UV-C radiation also photolyze photolabile species like aldehydes, nitric dioxide or ozone. The combination of UV-C radiation with TiO₂ coated surfaces in air cleaning devices lead to further photooxidation of pollutants in the gas and aerosol phase. In the first part of the study, published here, we quantify the UV-C dose of the youvee® air cleaning device. The whole study including the results on the impact on common air pollutants like aldehydes, nitric oxides and ozone and their formed byproducts will be published open access in a peer reviewed journal.

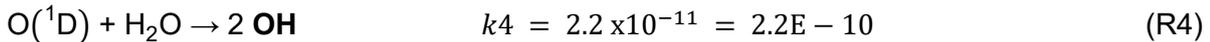
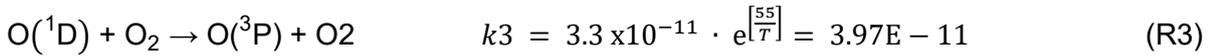
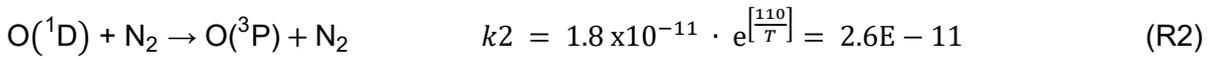
1. Einleitung

Der Einsatz von UV-C-Luftreinigungsgeräten hat bedingt durch die SARS-COV-2-Pandemie an Aufmerksamkeit gewonnen, da die antivirale Wirksamkeit von UV-C-Strahlung bekannt und umfangreich untersucht ist (Buonanno et al., 2020; Hessling et al., 2020; Raeiszadeh and Adeli, 2020; Reed, 2010; Rockey et al., 2021). Durch die Bestrahlung der Luft mit UV-C-Strahlung werden aber auch, neben der Inaktivierung von Viren, photolabile Stoffe wie Aldehyde, Stickstoffdioxid oder Ozon abgebaut und Sekundärprodukte in der Gas- wie auch Aerosolphase gebildet. Die gleichzeitige Bestrahlung von TiO₂ beschichteten Oberflächen mit UV-C Strahlung bedingt weitere oberflächenaktive Prozesse, die zusätzliche Abbau und Bildungswege von Spurenstoffen und Radikalen ermöglichen.

2. Verfahren:

Die Wirksamkeit von UV-C Luftreiniger (exemplarisch : youvee®, S/N:B12190-00-0009) in Bezug auf die Reduktion Aerosol gebundener Coronaviren in der Raumluft beruht auf der Bestrahlung der zu behandelnden Luft mit UV-C Strahlung (Hessling et al., 2020; Buonanno et al., 2020; Rockey et al., 2021). Bei dem hier untersuchten UV-C Luftreinigers wird die relevante UV-C Strahlung durch die Emissionslinie zwei Quecksilberdampfampe bei 253.65 nm erzeugt. (Sylviana LYNX-L G55W). Die Bestrahlungsdosis aus der 253.65 nm Emissionslinie des Quecksilberdampfes wird hier durch die Messung der Hydroxyl Radikal (OH) Konzentration nach dem Durchströmen der zu behandelnden Luft durch den UV-C Luftreinigers bestimmt.

Der Zusammenhang zwischen der OH-Konzentration und dem Photonenstrom ϕ_{hv} , aus dem sich die Bestrahlungsdosis ergibt, ist wie folgt:



Der Wirkungsquerschnitt für die Absorption von Photonen der Wellenlänge 253.65 nm durch O_3 ist $1.12 \pm 0.1\text{E}-17 \text{ cm}^2 / \text{Molekül}$ (Serdyuchenko et al., 2014). Die Reaktionskonstanten k_2 - k_4 (Burkholder et al., 2015) wurden für die Temperatur $T=297.0 \pm 0.5 \text{ K}$ im Innenraum der Lampensektion des luftdurchströmten UV-C Luftreinigers bestimmt und haben die Einheit $[\text{cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}]$. Durch die Bestimmung der Konzentrationen von O_3 und H_2O am Eingang sowie OH am Ausgang des UV-C Luftreinigers kann die auf den Luftstrom wirkende UV-C Bestrahlungsdosis unter Vernachlässigung der OH-Verluste zwischen Lampensektion und OH-Sensor ermittelt werden.

3. Aufbau:

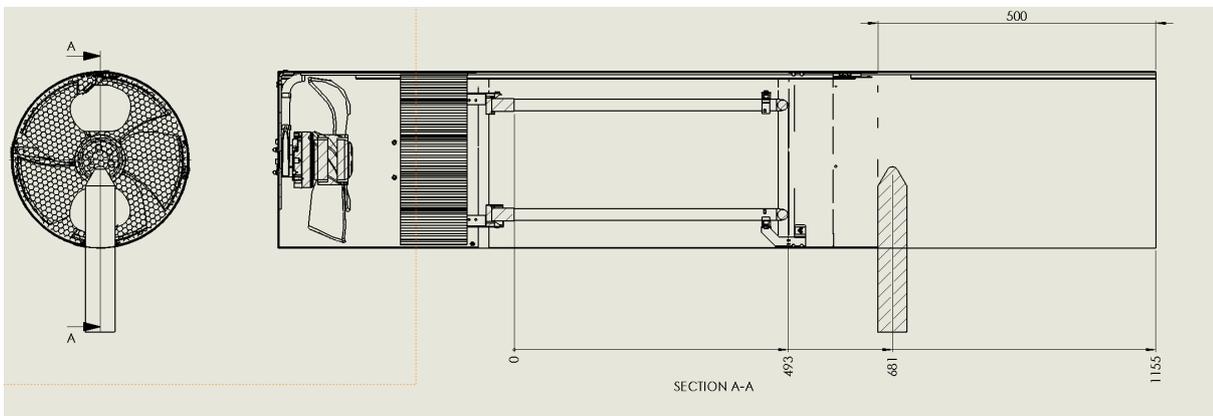


Bild 2: Schematisch dargestellt ist der UV-C Luftreiniger youvee® und die Probennahme auf der rechten Seite an der Öffnung des UV-C Luftreinigers. Der luftstromerzeugende Ventilator befindet sich auf der linken Seite vor dem Lampenraum und transportiert die Raumluft in den Lampenraum in Richtung des OH Messinstrument am Ausgang auf der rechten Seite. Dort umschließt eine 500 mm lange Kartongabe den Ausgang des Musters sowie das Einlassrohr des OH Messinstrumentes zur Vermeidung von turbulenten Einstömen von un behandelter Luft aus dem Seitenbereich. Die Skizze wurde von der Firma Frenell angefertigt und mit freundlicher Genehmigung zur Veröffentlichung bereitgestellt.

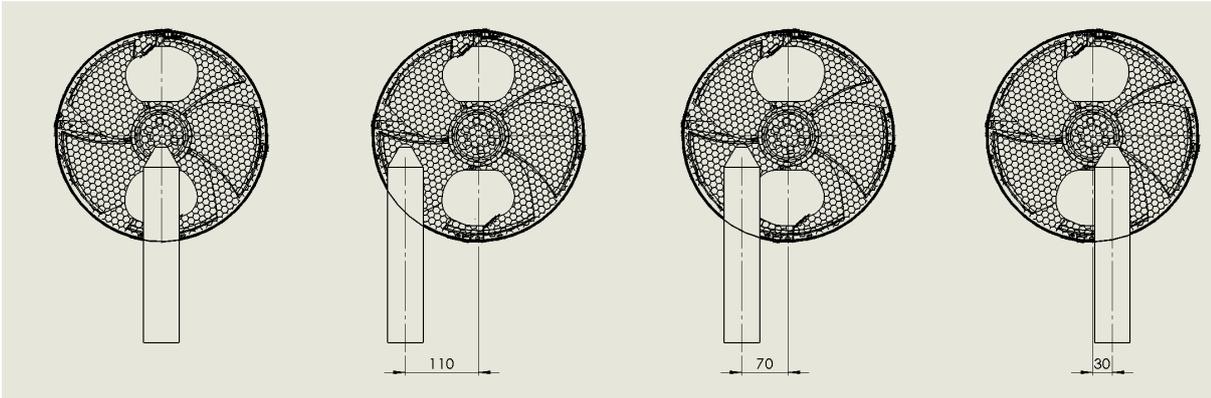


Bild 3 : Dargestellt sind die vier Positionen für Probenahme entlang der Mitte der Öffnung UV-C Luftreinigers youvee® in $R=0,-11,-7$ und 3 cm von dem Zentrum entfernt. Die Skizze wurde von der Firma Frenell angefertigt und mit freundlicher Genehmigung zur Veröffentlichung bereitgestellt.

Der UV-C Luftreinigers wurde für die hier beschriebene Studie so modifiziert, dass die im Lampenraum gebildeten OH-Radikale aus dem UV-C Luftreinigers ohne weiteren Kontakt mit Oberflächen zum OH Messinstrument transportiert werden. Dazu wurde der Ventilator blasend auf die Eingangsseite installiert, wie auch die Luftleitwaben auf der Ausgangsseite entfernt. Des Weiteren wurde eine 50 cm überstehende Kartonage in Verlängerung des UV-C Luftreinigers um die Einlassdüse angebracht, um seitliches einmischen von Fremdluft in den austretenden Luftstrahl zu vermeiden.

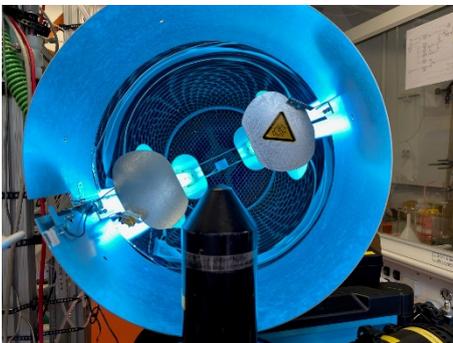


Bild 4: Ansicht blickend auf die schwarz eloxierte OH-Einlassdüse wie auch das Muster im Hintergrund mit eingeschalteten Lampen und durch die eingangsseitigen Luftleitwaben auf die Einlassdüse hin blasenden Ventilator. Bild wurde aufgenommen vor Befestigung der umschließenden Kartonage.

4. Messungen:

Der UV-C Luftreiniger wurde 2 Stunden vor der Messung eingeschaltet, um eine stabile Lampentemperatur und damit Lampenintensität zu gewährleisten. Die im UV-C Luftreinigers gemessene Temperatur während der Messung war stabil bei 297 ± 0.5 K und der Druck lag bei eingeschaltetem Ventilator bei 1003 ± 2 hPa.

Tabelle 1: Messdaten und daraus berechnete Bestrahlungsdosis bei 254 nm

Radial- position R [cm]	Lokale Strömungs- geschwindigkeit [m/s]	Anteil am Luftstromstrom [%]	OH [pptv]	Ozon (O ₃) [ppbv]	H ₂ O [%]	Bestrahlungs- dosis [mJ/cm ²]
0.0±0.1	2.8±0.4	3.7	72±0.7	21±1.0	0.53±0.01	3.0±0.3
-11.0±0.1	3.8±0.4	49.6	67±0.7	21±1.0	0.53±0.01	2.9±0.3
-7.0±0.1	3.4±0.4	30.0	68.5±0.7	20±1.0	0.53±0.01	3.1±0.3
3.0±0.1	3.1±0.4	16.6	61±0.7	19±1.0	0.53±0.01	2.9±0.3

Aus der gemessenen O₃-, H₂O- und OH-Konzentrationen errechnet sich an den einzelnen Messpunkten die Bestrahlungsdosis unter Vernachlässigung von Verlusten von OH-Molekülen (Tabelle 1). Da die Verluste von OH-Molekülen nicht berücksichtigt sind, ist die durch die Lampen produzierte OH-Menge größer als die gemessene. Daher stellt die in Tabelle 1 aufgeführte Bestrahlungsdosis eine Untergrenze dar. Aus den Strömungsgeschwindigkeiten an den Messpunkten berechnet sich der im jeweiligen Kreissegment transportierte Volumenstromanteil. Hieraus ergibt sich eine mittlere Geschwindigkeit des Volumenstroms von 3.5 m/s und ein Luftdurchsatz von 958 m³/h mit einer durch den Volumenstrom gewichteten Bestrahlungsdosis von 2.96±0.3 mJ/cm². Bei dem nicht modifizierten UV-C Luftreiniger ist aufgrund des mit 860 m³/h geringer angegebenen Volumenstroms eine größere Bestrahlungsdosis zu erwarten, als in der für Messzwecke modifizierten Version. Aufgrund des geringeren Volumenstroms erhöht sich die Verweildauer der Luft in der Lampensektion. Die Bestrahlungsdosis skaliert linear mit der Verweildauer und so ergibt sich für den Nennvolumenstrom des UV-C Luftreinigers von 860m³/h eine mittlere UV-C Bestrahlungsdosis bei 253.65 nm von 3.3±0.5 mJ/cm². Da Verluste von OH vernachlässigt werden, ist die berechnete Bestrahlungsdosis von 3.3±0.5 mJ/cm² des UV-C Luftreinigers eine Untergrenze.

5. Schlussfolgerung:

In mehreren Studien (Hessling et al., 2020; Buonanno et al., 2020; Rockey et al., 2021; Raeiszadeh and Adeli, 2020) wurde die Wirksamkeit von UV-C Bestrahlung zur Inaktivierung von SARS-CoV-2 Viren untersucht. Spezifisch bei Aerosol-gebundene MHV-Coronaviren (Walker and Ko, 2007) berichten die Autoren eine ‚Log reduction Dose‘ von 0.66 mJ/cm². Dies bedeutet, dass unter den in Walker and Ko beschriebenen Bedingungen Aerosol gebundener MHV Coronaviren, in der dem exemplarisch vorliegenden UV-C Luftreiniger (youvee®, S/N:B12190-00-0009) durchströmenden Luft, um mindestens 99.99 % inaktiviert werden könnten. Die hier dokumentierten Ergebnisse sind nicht Peer Reviewed und aus diesem Grund als vorläufig anzusehen. Die sich aus der Verwendung dieses UV-C Luftreinigers ergebende Abbaurrate für Stickoxide, Ozon und Kohlenwasserstoffen sowie die Bildung von Abbauprodukten wird im weiteren Rahmen dieser Studie in einem Peer reviewed Journal veröffentlicht.

Bibliographie:

- Buonanno, M., Welch, D., Shuryak, I., and Brenner, D. J.: Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses, *Sci Rep-Uk*, 10, ARTN 10285 10.1038/s41598-020-67211-2, 2020.
- Burkholder, J. B., Sander, S. P., Abbatt, J. P. D., Barker, J. R., Huie, R. E., Kolb, C. E., Kurylo, M. J., Orkin, V. L., Wilmouth, D. M., and Wine, P. H.: *Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Atmospheric Studies*, Evaluation No. 18, 2015.
- Hessling, M., Hones, K., Vatter, P., and Lingenfelder, C.: Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation - review and analysis of coronavirus photoinactivation studies, *Gms Hyg Infect Contr*, 15, ARTN Doc08 DOI: 10.3205/dgkh000343, 2020.
- Raeiszadeh, M. and Adeli, B.: A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations, *ACS Photonics*, 7, 2941-2951, 10.1021/acsp Photonics.0c01245, 2020.
- Reed, N. G.: The History of Ultraviolet Germicidal Irradiation for Air Disinfection, *Public Health Rep*, 125, 15-27, 10.1177/003335491012500105, 2010.
- Rockey, N. C., Henderson, J. B., Chin, K., Raskin, L., and Wigginton, K. R.: Predictive Modeling of Virus Inactivation by UV, *Environ Sci Technol*, 55, 3322-3332, 10.1021/acs.est.0c07814, 2021.
- Serdyuchenko, A., Gorshlev, V., Weber, M., Chehade, W., and Burrows, J. P.: High spectral resolution ozone absorption cross-sections - Part 2: Temperature dependence, *Atmos Meas Tech*, 7, 625-636, 10.5194/amt-7-625-2014, 2014.
- Walker, C. M. and Ko, G.: Effect of ultraviolet germicidal irradiation on viral aerosols, *Environ Sci Technol*, 41, 5460-5465, 10.1021/es070056u, 2007.

Acknowledgement :

We acknowledge the contribution of the Frenell Company by providing a sample UV-C air cleaning device free of charge and the work of Dieter Scharffe and Anywhere Tsokankunku for help with the setup and calibration of the measurement devices.