

Luchtzuiveringstoestellen voor de beperking van airborne transmissie van Covid-19

Auteur: Marianne Stranger, Borislav Lazarov VITO

Datum: 09/11/2020

SAMENVATTING

Luchtzuivering kan een aanvullende maatregel zijn om het risico op Covid-19 virustransmissie in het binnenmilieu te beperken. Luchtzuivering kan echter niet ingezet worden als vervanging van ventilatie, maar kan in ruimtes waar reeds geventileerd wordt het risico op lucht-gedragen virustransmissie verder beperken, naast maatregelen als social distancing, mondkmaskergebruik enz..

Hoewel in theorie elke techniek die aerosolen of partikels uit de lucht verwijdert ook SARS-CoV-2 uit de lucht kan verwijderen, is volgens de huidige wetenschappelijke literatuur voorlopig enkel voor HEPA-luchtfiltratie en UV-licht gebaseerde methoden voldoende aangetoond dat ze doeltreffend kunnen zijn. Voor andere technieken is er slechts beperkt bewijs voor hun doeltreffendheid tegen verwijdering van SARS-CoV-2 of kunnen ongewenste stoffen gevormd worden die kunnen leiden tot gezondheidseffecten zoals ademhalings- en huidirritaties.

Vraag de leverancier steeds, ook voor methoden gebaseerd op HEPA-luchtfiltratie en UV-licht, naar onafhankelijke laboratorium- en veldvalidatie-rapporten waaruit de doeltreffendheid voor SARS-CoV-2 reductie blijkt en welke rekening houden met nevenproducten die eventueel uitgestoten kunnen worden door het toestel.

Daarnaast zijn er nog een aantal aandachtspunten bij het gebruik van een luchtzuiveringstoestel:

- plaats het toestel centraal in de ruimte, nabij de aanwezigen
- gebruik het toestel volgens de richtlijnen van de producent
- zorg voor een goed onderhoud van het toestel
- het volume lucht dat het toestel per uur zuivert moet aangepast zijn aan het volume van de ruimte, de activiteiten (in functie van aerosolenproductie) die in de ruimte plaatsvinden, het aantal personen in de ruimte en de efficiëntie van de luchtzuivering.
- let op met luchtstromen veroorzaakt door het toestel waarbij lucht direct van de ene persoon naar de andere persoon wordt geblazen.

Dit advies wordt geformuleerd naar aanleiding van de vraag van AZG over het gebruik van luchtzuiveringsmethoden als preventiemaatregel voor de beperking van de kans op lucht-gedragen Covid-19 virustransmissie. De volgende vragen worden behandeld in dit advies: (1) Welke luchtzuiveringsmethoden kunnen efficiënt zijn en wat is het werkingsmechanisme? (2) Wat is gekend over het potentieel van deze methoden om specifiek Covid-19 geïnfecteerde partikels uit de lucht te verwijderen? (3) Welke wetenschappelijke onderbouwing is beschikbaar of ontbreekt momenteel? (4) Zijn er risico's verbonden aan het gebruik van deze luchtzuiveringstechnieken in het binnenmilieu?

1. WETENSCHAPPELIJKE ONDERBOUWING VOOR HET GEBRUIK VAN LUCHTZUIVERING OM BLOOTSTELLING AAN COVID-19 TE REDUCEREN

1.1 SITUERING

In haar onderzoekspaper 'How can airborne Covid-19 virus transmission be minimized', duidt Morawska et al. (2020) luchtzuivering aan als *'to be avoided'* in het schema die erin opgenomen is (zie Figuur 1). Verder in haar analyse wordt nader gespecificeerd: *'air cleaning and disinfection may be beneficial'*. De auteurs stellen dat lokale luchtzuivering of desinfectietoestellen (zoals bv. UVGI – ultraviolet germicidal irradiation of ultraviolet kiemdodende straling) zinvol kunnen zijn voor risicobeperking in binnenmilieus waar het moeilijk is om ventilatie nog meer te verbeteren, maar wijzen ook op de voorlopige onbekenden bij het gebruik van luchtzuivering bij Covid-19 airborne transmissiepreventie: over het algemeen is er een gebrek aan onderbouwing voor de meeste luchtzuiveringsmethoden. Dit heeft dan vooral betrekking op de vragen

- (1) welke is de efficiëntie, de performantie, van de luchtzuivering mbt Covid-19?
- (2) hoe lang kan deze efficiëntie gegarandeerd worden, treedt er een afname van de doeltreffendheid op na verloop van tijd?
- (3) worden er nevenproducten uitgestoten door het toestel, en welke is de gezondheidsimpact hiervan?
- (4) wat is de impact van fout gebruik van het toestel?

1.2 LABOTESTEN VERSUS VELDTESTEN

Antwoorden op deze vragen dienen gemotiveerd te worden d.m.v. een wetenschappelijke onderbouwing. Deze wordt bij voorkeur uitgevoerd door een derde partij, zoals een onafhankelijk onderzoekscentrum. De wetenschappelijke onderbouwing voor het gebruik van luchtzuivering als preventieve maatregel tegen Covid-19 situeert zich steeds op twee niveaus:

- enerzijds zijn laboratoriumtesten nodig om bv. aan te tonen dat Covid-19 (of een equivalent virus) verspreid in de lucht van een gecontroleerde kamer, doeltreffend gebroken of gedesactiveerd wordt dankzij het toestel, dit zijn laboratoriumvalidaties
- anderzijds zijn ook demonstraties in reële situaties nodig, om aan te tonen dat ook onder 'normale' omstandigheden de doeltreffendheid van de methode gegarandeerd kan worden en het toestel geen schadelijke nevenproducten uitstoot, dit zijn veldvalidaties.

. Het is belangrijk om steeds na te gaan welke laboratorium- of veldvalidatierapporten beschikbaar zijn voor een luchtzuiveraar; voor veel producten zal deze ontbreken of slechts gedeeltelijk aanwezig zijn. Voor andere luchtzuiveringsmethoden zullen dan weer hoofdzakelijk gegevens van oppervlaktereiniging beschikbaar zijn, maar dit is echter geen garantie voor een gelijkwaardige werking op vlak van luchtzuivering.

SAGE-EMG (2020) stelt dat de doeltreffendheid van luchtzuiverende toestellen bepaald wordt door volgende parameters:

- De onderliggende technologie
- Het ontwerp van het toestel
- De locatie van het toestel in de ruimte
- De omgeving waarin het gebruikt wordt
- En het onderhoud van het toestel.

De gecommuniceerde doeltreffendheid of performantie van de meeste luchtzuiveringstoestellen is meestal gebaseerd op testen in een (geïdealiseerde) gecontroleerde ruimte (laboratoriumvalidaties), die typisch verschillend is van een echte omgeving, waardoor de werkelijke performantie in een reële situatie vaak lager is dan wat aan de consument gecommuniceerd wordt. Voorzichtigheid dient geboden wanneer de leverancier enkel data over laboratoriumvalidaties meegeeft, omdat de werking in reële omstandigheden verschillend kan zijn van deze in een laboratorium. Er bestaan ook mogelijke neveneffecten van luchtzuivering, die niet altijd meegenomen worden in de performantietesten, zoals nevenproducten die uitgestoten worden door het toestel en gezondheidseffecten kunnen veroorzaken, geluidshinder, impact op omgevingstemperatuur en tochtgevoel. Daarnaast blijven correct gebruik en regelmatig onderhoud noodzakelijk. Het is belangrijk om bij de selectie van een luchtzuiveringstoestel steeds alle aspecten in overweging te nemen, en niet enkel te kijken naar de mogelijkheid om SARS-CoV-2 te reduceren of te inactiveren, raadt SAGE-EMG (2020) ook nog aan.

Voor elke luchtzuiveringsmethode bestaat het risico dat ze een vals gevoel van veiligheid wekken. Verder kunnen foutief gebruik nefast en slecht onderhoud zijn voor de werking van het toestel.

1.3 LUCHTZUIVERING ALS AANVULLING

Luchtzuivering kan gebruikt worden als aanvullende preventieve maatregel om het besmettingsrisico op Covid-19 verder te beperken in een ruimte. Het is belangrijk te weten dat luchtzuivering in geen geval een alternatief voor verluchting of ventilatie kan zijn. En al even belangrijk te weten dat zelf bij een goede ventilatie, social distance en persoonlijke bescherming, een nul-risico voor Covid-19 onbestaand is. Luchtzuivering kan wel, als aanvulling op ventilatie en andere preventieve maatregelen, het besmettingsrisico verder beperken.

1.4 WELKE LUCHTZUIVERING?

1.4.1 Covid-19 in de binnenlucht

Transmissie van het SARS-CoV-2 virus in lucht gebeurt niet onafhankelijk van partikels of deeltjes in de lucht, zoals Rahmani et al. (2020) ook rapporteert; men zal het virus dus steeds in een ander deeltje aantreffen. Deeltjes die actief virus bevatten bestaan uit een mengsel van componenten, en kunnen bestaan uit organisch en anorganisch materiaal, proteïnen, zouten en andere virussen (Verreault et al., 2008). De grootte van het virus op zich is dus verschillend van de grootte van deeltjes die actief virus kunnen bevatten. Omwille van deze reden kan eerder elke luchtzuiverende techniek, die partikels in suspensie uit de lucht verwijdert, potentieel bijdragen tot een risicobeperking op Covid-19 besmetting. Zodoende komen in theorie zowel luchtzuiveringstechnieken gebaseerd op filtratie (HEPA-filters), elektrostatische precipitatie (ESP), ionisatie en UV-licht in aanmerking om de lucht te zuiveren en het risico op lucht-gedragen transmissie van Covid-19 potentieel te beperken. Het is echter belangrijk om voor elke luchtzuiveringsmethode voldoende aandacht te schenken aan

mogelijke beperkingen, wetenschappelijke onderbouwing van de doeltreffendheid, onbekenden en risico's die verbonden zijn aan elke methode.

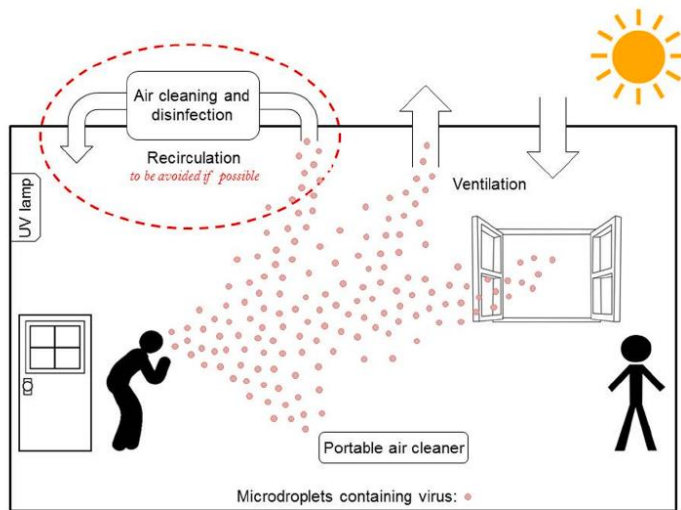


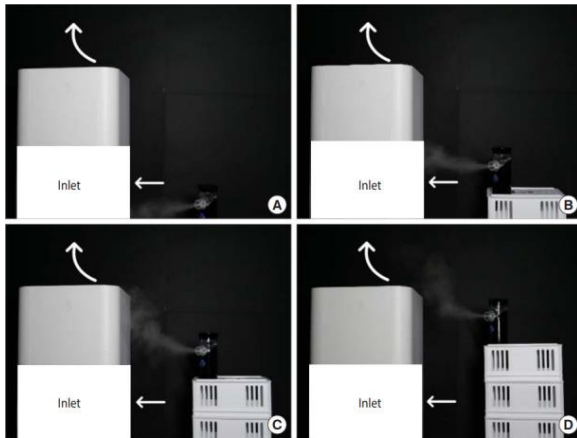
Fig. 2. Engineering level controls to reduce the environmental risks for airborne transmission.

Figuur 1 Maatregelen om het risico op Covid-19 lucht-gedragen transmissie te beperken. Uit: Morawska et al. 2020 Environment International 142 (2020) 105832

1.4.2 Centrale versus decentrale luchtzuivering

Naast centrale luchtzuiveringsinstallaties verbonden aan ventilatiesystemen, zijn er ook decentrale, mobiele units op de markt beschikbaar: de zgn. portable air cleaners. Zij kunnen bv. ingezet worden om de lucht in één bepaalde ruimte te zuiveren. De units zijn typisch gebaseerd op een enkele luchtzuiveringsmethode (bv. luchtfiltratie) of op een combinatie van luchtzuiveringsmethoden (bv. luchtfiltratie + kiemdodend UV-licht).

Bij deze mobiele units is het o.a. belangrijk te overwegen waar ze geplaatst worden in de ruimte, en of het luchtdebiet van het toestel afgestemd is op de grootte van de ruimte. Daarnaast is het ook belangrijk na te gaan waar de luchtinlaat zich bevindt ten opzichte van de potentiële bron. Het is namelijk zo dat in dergelijke toestellen het aanzuigdebiet meestal lager is dan het uitgaande luchtdebiet, met als doel de gezuiverde lucht zo ver mogelijk van het toestel weg de ruimte in te brengen. Het gevolg hiervan is dat een te groot hoogteverschil tussen de bron en de luchtinlaat kan leiden tot een inefficiënte luchtzuivering en een bijkomende verspreiding van mogelijk gecontamineerde lucht, waarbij het besmettingsrisico voor aanwezigen potentieel vergroot. Een simulatie hiervan wordt afgebeeld in Figuur 2.



Figuur 2 Gevisualiseerde luchtstroom t.o.v. de hoogte van de bron (A) op vloerniveau, (B) op 8 cm, (C) op 16 cm en (D) op 24 cm hoogte boven de vloer (uit: Ham, 2020)

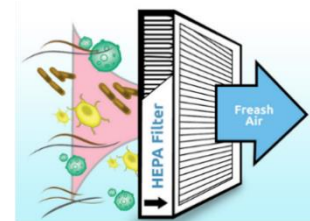
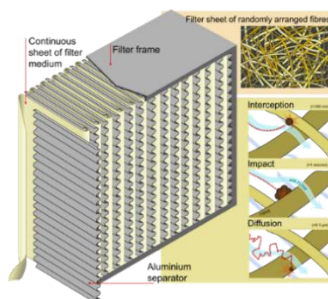
Ham (2020) toonde met deze simulatie van een typisch gebruiksscenario van een mobiele luchtzuiveringsunit dat de kans bestaat dat de lucht verder verspreid en verdeeld wordt over de ruimte, zonder dat het actieve SARS-CoV-2 virus uit de lucht filtert, verwijdert of inactieveert. Mobiele units die op deze manier gebouwd zijn, zouden in plaats van het risico op Covid-19 te beperken, potentieel de kans op besmetting in de ruimte vergroten.

In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op de werkingsprincipes van de meest voorkomende luchtzuiveringsmethoden, en de actuele evidentie over de doeltreffendheid ervan om SARS-CoV-2 uit de lucht te verwijderen.

2. WERKINGSPRINCIPES VAN DE MEEST VOORKOMENDE LUCHTZUIVERINGSMETHODEN

2.1 LUCHTZUIVERING OP BASIS VAN FILTER MEDIA: HEPA LUCHTFILTERS

Luchtzuivering d.m.v. een HEPA-filter (High Efficiency Particulate Air) heeft een aangetoond positief effect op de beperking van de binnenluchtconcentraties van partikels in suspensie (US EPA “Residential Air Cleaners” A Technical Summary, 3rd Edition, 2018). HEPA-filters verwijderen aan een hoge efficiëntie van 99,97% fijn en ultrafijn stof, virussen en bacteriën uit de gefilterde luchtstroom. Er kan dus verwacht worden dat ook Covid-19 geïnfecteerde luchtdeeltjes verwijderd worden uit de binnenlucht.



Ten gevolge van de hoge efficiëntie veroorzaakt de HEPA filter wel een hoge weerstand in de luchtstroom, waardoor een voldoende krachtig toestel nodig is met energieverbruik tot gevolg. De

filters dienen regelmatig vervangen te worden en bij het vervangen van de filter moet voorzichtigheid geboden worden: filters kunnen een bron van geuren zijn, maar in geval van Covid-19, ook een bijkomende bron voor virustransmissie zijn. Persoonlijke bescherming en voorzichtige behandeling van de filter is dus noodzakelijk.

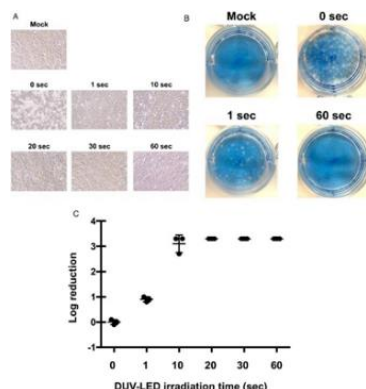
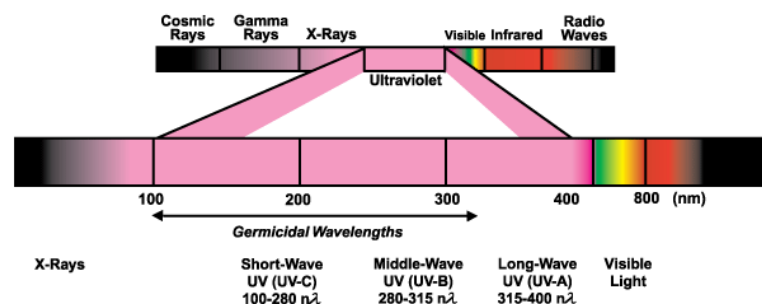
US EPA raadde tijdens de infosessie 'Indoor Air Quality in K-12 Schools: Addressing the Concept of Layered Risk Amidst COVID-19', op 19-11-2020 aan om de luchtfilters in klaslokalen niet meteen na het uitschakelen van het toestel te vervangen; er werd geadviseerd om de portable air cleaner uit te schakelen aan het einde van de werk- of schoolweek, het toestel bv. een weekend te laten staan in de niet-gebruikte ruimte, en vervolgens nog voor de ruimte in gebruik genomen wordt, voorzien van de nodige beschermingsmiddelen, de filter te vervangen.

Het is belangrijk te vermelden dat de efficiëntie van de luchtzuivering kan variëren voor verschillende deeltjesfracties (deeltjesgroottes) van aerosolen in suspensie. Het is dus niet zo dat 'alle' deeltjes in de lucht verwijderd worden door middel van een HEPA-luchtzuiveraar, maar de luchtconcentraties zullen wel dalen. Het luchtdebiet moet ook afgesteld zijn op de grootte van de ruimte, en het toestel moet centraal in de ruimte geplaatst worden voor een doeltreffende werking.

2.2 LUCHTZUIVERING OP BASIS VAN UV-LICHT: KIEMDODENDE WERKING

2.2.1 Wetenschappelijke evidentie voor de werking van UV-licht

Onder laboratoriumcondities werd de efficiëntie van germicide (kiemdodend) UV-licht (GUV), ook voor coronavirussen, reeds uitgebreid aangetoond (Morawska et al. 2020); specifiek tussen 200-280 nm situeren zich de UVC of de kiemdodende golflengtes. Zowel voor SARS-CoV-1 als voor MERS-CoV werd onder laboratoriumcondities aangetoond dat de werking van het UV-licht doeltreffend is. Specifiek voor SARS-CoV-2 werd intussen ook aangetoond dat het virus zeer gevoelig is aan kiemdodend UV-licht, al is het noodzakelijk de specifieke bestralingstijd en intensiteit die nodig zijn voor de SARS-CoV-2 inactivatie te respecteren (Heilingloh et al. 2020). Inagaki et al. (2020) onderzochten hoeveel energie er nodig is om SARS-CoV-2 te inactiveren door testen te doen met UV-licht van 280 ± 5 nm en een intensiteit van $3,73 \text{ mW/cm}^2$. De experimenten wezen uit dat vanaf 10 seconden bestraling een gedeeltelijke inactivatie van het virus waar te nemen was, met een inactivatie van 99,9% van het virus na 10 seconden, dus na bestraling met een totale dosis van 75 mJ/cm^2 .



Differences in infectious titer with different DUV-LED irradiation times.

Irradiation time	control (no irradiation)	DUV-LED irradiation time				
		1 sec	10 sec	20 sec	30 sec	60 sec
PFU(PFU/mL)	3.7×10^4	4.7×10^3	2.7×10^4	6.7×10^0	<20	<20
Log PFU ratio ¹⁾	—	0.9	3.1	>3.3	>3.3	>3.3
Infection titer reduction ratio ²⁾ (%)	—	87.4	99.9	>99.9	>99.9	>99.9

¹⁾ $\log_{10}(N_t/N_0)$, where N_t is the PFU count of the UV-irradiated sample, and N_0 is the PFU count of the sample without UV irradiation. ²⁾ $(1 - 1/10^{\log_{10}(N_t/N_0)}) \times 100$ (%).

Het is belangrijk om hierbij te vermelden dat de beschikbare evidentie telkens gedemonstreerd werd onder gecontroleerde laboratoriumcondities. De doeltreffendheid van de luchtzuivering onder reële condities is afhankelijk van de blootstellingstijd van het virus aan het UV-licht en van de mogelijkheid van de straling om het virus in de lucht (in water) of op oppervlaktes te bereiken. IUVA (de International UV Association) erkent dat indien het kiemdodend UV-licht een bepaald pathogeen niet kan bereiken, dit pathogeen ook niet geïnactiveerd zal worden, maar stelt wel dat elke reductie van het aantal pathogenen het risico op virustransmissie zal beperken. Een aantal onderzoeken toonde ook aan dat de efficiëntie van de inactivatie daalt bij een hogere luchtvochtigheid, zowel voor bacteriën (Xu et al., 2005) als voor virale aerosolen (McDevitt et al., 2012), waardoor de werking onder reële condities kan afwijken van laboratoriumsimulaties.

Heilingloh et al. (2020) concludeerden dat UV-straling een zeer doeltreffende desinfectiemethode is, zelfs bij hoge belasting met SARS-CoV-2, wat het een geschikte methode maakt voor desinfectie van ruimten in de gezondheidszorg en bij de voorbereiding van 'geïnactiveerd' SARS-CoV-2 materiaal voor onderzoek.

2.2.2 Oudere toepassingen van kiemdodend UV-licht

Deze luchtzuiveringstechniek kende een zeer wijd gebruik tijdens de uitbraak van een resistente vorm van tuberculose in de jaren '80, waarbij een zgn. 'upper-room' systeem geïnstalleerd werd, met lampen bovenaan in de ruimte, tegen de muren of aan het plafond, met het licht naar boven gericht zodat de kans op blootstelling van aanwezigen beperkt was (Xu et al., 2005, 2003). De techniek bleek destijds een doeltreffende methode om in drukbezette ruimtes met beperkte ventilatiemogelijkheden aerosoltransmissie te reduceren; ook tegen transmissie van griep werd in de jaren '60 reeds aangetoond dat het upper-room GUV-systeem efficiënt was. Noakes et al. publiceerden een schatting waaruit bleek dat de reductie van het infectierisico door middel van de luchtzuivering equivalent bleek met een verdubbeling van de ventilatie. Toch zijn er ook studies, gebaseerd op modellen, die aantonen dat de effectiviteit van de lampen afhangt van de plaatsing ervan relatief tot de ventilatiestroom en dat aanvullende ventilatoren aan het plafond de doeltreffendheid van GUV verbeteren.

2.2.3 Toepassing van kiemdodend UV-licht in de praktijk

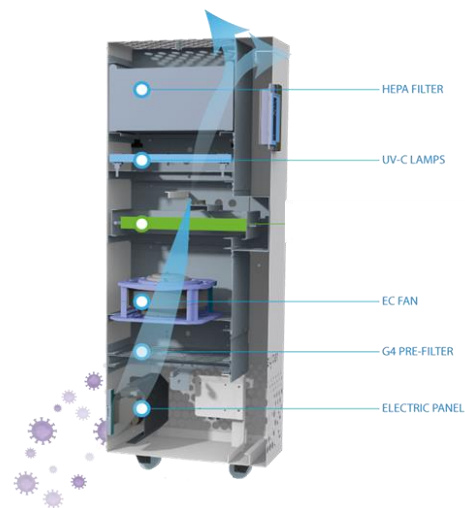
Het is belangrijk om de gevoeligheid van een micro-organisme voor GUV in rekening te brengen, en ook de dosis die een micro-organisme nodig heeft voor inactivatie te respecteren. Deze dosis wordt bepaald door de bestraling (intensiteit) en de tijd van de blootstelling.

Bij **upper-room GUV-systemen** is algemeen de dosis voldoende hoog. **UV-duct cleaning**, waarbij het UV-licht in de luchtkanalen van het ventilatiesysteem geplaatst wordt, zou op basis van onderzoek de meest ideale oplossing lijken, omdat zo debieten en intensiteit goed gecontroleerd kunnen worden, maar ook daar is onderhoud kritiek; een regelmatige controle of alle lampen werken, de luchtsnelheid in de kanalen mag niet te hoog zijn (< 2,2 m/s), enz. Voor beide technieken is een goede luchtmenging in de ruimte nodig: zonder luchtverplaatsing zie je dat het effect van kiemdodend licht klein is (in termen van te klein volume lucht dat behandeld wordt), maar wanneer er te veel luchtverplaatsing is ziet men geen effect meer (blootstellingstijd te kort om te inactiveren).

Stand-alone toestellen kunnen efficiënt zijn in kleinere kamers, maar het moet sterk benadrukt worden dat deze toestellen (net als andere stand-alone toestellen) aangepast moeten zijn aan de grootte van de ruimte en de dosis of intensiteit aangepast moet zijn aan het target micro-organisme van de luchtzuivering. Volgens Hiroko et al. (2020) is voor een inactivatie-efficiëntie van 99,9% een bestraling met 3,75 mW/cm² kiemdodend UV-licht nodig gedurende meer dan 10 seconden. Echter, ten gevolge van het hoger luchtdebiet van de uitgaande lucht bij een stand-alone luchtzuiveraar, is de tijd die nodig is voor de lucht om door het toestel te gaan typisch minder dan 1 seconde. Omwille van deze korte tijdsspanne (veel korter dan de nodige 10 seconden) is het gebruik van enkel UV-luchtzuivering in dergelijk stand-alone toestel onvoldoende om SARS-CoV-2 in het binnenmilieu efficiënt te inactiveren. Men zou de efficiëntie van UV-straling om lucht te zuiveren kunnen verhogen door krachtigere UV-lampen te gebruiken, welke de totale dosis straling waaraan de lucht gedurende de korte tijd in het toestel blootgesteld wordt zal verhogen. Echter, krachtigere UV-lampen resulteren in hogere O₃-uitstoot van de toestellen, wat ook vermeden zou moeten worden in het binnenmilieu.



In hun 'FACT Sheet on UV Disinfection for Covid-19' stelt de International UV Association (IUVA) dat kiemdodend UV-licht vaak gebruikt wordt **in combinatie met andere luchtzuiverende technieken**, binnen een 'multibarrier' benadering, om te verzekeren dat elk pathogeen dat niet gedood wordt door de ene methode (filtratie of zuivering), geïnactiveerd wordt door de andere techniek (kieldodend UV licht). Op deze manier kan kiemdodende UV-straling gebruikt worden als aanvullende methode, complementair aan de andere, bestaande protocols die reeds toegepast worden in de ruimte om het Covid-19 infectierisico te beperken (zoals ventilatie, mondkmaskers dragen, enz.).



Verschillende luchtzuiveringstoestellen beschikbaar op de markt combineren daarom HEPA-luchtfiltratie met UV-straling. In deze toestellen wordt het virus gevangen op een HEPA-filter, die vervolgens bestraald wordt met kiemdodend UV-licht; op deze manier kan de dosis UV-licht dan verhoogd worden conform de efficiëntietesten. IUVA benadrukt echter dat ten gevolge van de structuur van een HEPA filter (complex materiaal van geplooid vezels) het onwaarschijnlijk is dat het UV-licht de lagen onder het oppervlak van de HEPA-filter bereikt, waar bijgevolg dus ook de kleine virusdeeltjes waarschijnlijk vastgehouden zullen worden.

De IUVA benadrukt dat het belangrijk is om luchtzuivering op basis van UV-licht veilig te gebruiken. Elk toestel dat gebaseerd is op deze methode produceert variabele hoeveelheden UV-licht met golflengtes tussen 200 – 280 nm. Dit UV-licht is veel sterker dan gewoon zonlicht en kan daarom ernstige zonnebrandachtige schade toebrengen aan de huid en ook het retina van de ogen aantasten. Sommige toestellen produceren ook ozon (O₃), andere produceren licht en warmte vergelijkbaar met lasactiviteiten. Algemene veiligheidsrichtlijnen, training van gebruikers en naleving van de veiligheidsvoorschriften zijn erg belangrijk.

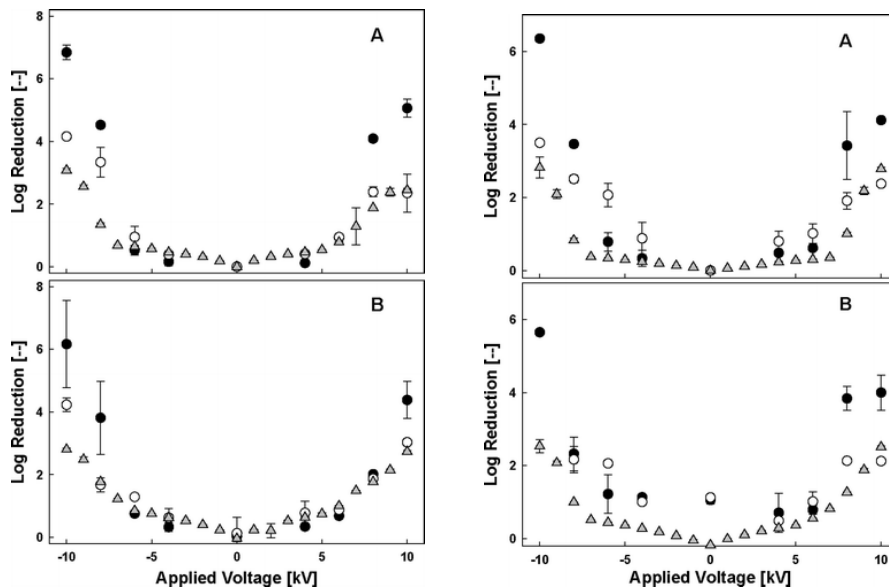
2.3 LUCHTZUIVERING OP BASIS VAN ELEKTROSTATISCHE PRECIPITATIE (ESP)

Bij deze methode worden deeltjes uit de luchtstroom verwijderd door een elektrostatische lading te induceren. De geladen deeltjes worden vervolgens gecollecteerd op polaire platen. Wetenschappelijke literatuur specificeert dat de deeltjescollectie-efficiëntie van elektrostatische precipitatie (ESP) functie is van de deeltjesgrootte en verder bepaald wordt door ontwerpparameters, zoals het luchtdebiet, de elektrische spanning, de oppervlakte van de collectie-cel, en de sterkte en de verdeling van het elektrische veld (Rim et al. 2013).

Luchtzuivering gebaseerd op ESP kan echter ook een bron van ozon (O_3) zijn in het binnenmilieu. Deze O_3 wordt gevormd door de corona-ontlading en de hoeveelheid die gegenereerd wordt hangt af van de ionisatiespanning, en het materiaal van de metaaldraad. Ozon heeft gekende schadelijke gezondheidseffecten, zoals kortademigheid, ademhalingsverstoring en ernstig ademhalingsdiscomfort (ASHRAE 2009, Lippman 1989) en kan ook reageren met andere moleculen die aanwezig zijn in de binnenlucht. Ozon als nevenproduct wordt dus best vermeden; de meeste luchtzuiveringsmethoden die ozon genereren trachten dan ook de uitstoot zo efficiënt mogelijk te beperken. De gegenereerde O_3 door ESP luchtzuivering wordt typisch gedeactiveerd d.m.v. actiefkool; in een studie naar de collectie-efficiëntie van een 3-tal dergelijke actiefkoolfilters rapporteerden Poppendieck et al. (2014) een sterk variabele O_3 reductie, met reductiepercentages van 6 – 39% (Poppendieck et al. 2014, Rim et al. 2013) en een degradatie na verloop van tijd (100 uren) met 26%.

De ESP-methode van luchtzuivering kent voornamelijk een hoge efficiëntie voor fijne en ultrafijne partikels. Kim et al. (2013) bepaalden voor een systeem gebaseerd op ESP onder laboratoriumcondities luchtzuiveringsefficiëntie (single pass efficiency) van 50-95%, welke daalde bij een hoger luchtdebiet (10-20 m^3/min) en toenam met de elektrische spanning. Biologische agentia worden er ook doeltreffend mee gedeactiveerd t.g.v. de schade die de ESP veroorzaakt aan proteïne- of nucleïnezuurstructuren; dit gebeurt door de reactieve species die door ESP gevormd worden zoals ozon, zuurstof-, stikstof-, hydroxyl- en OH_2 -radicalen. Voor het efficiënt verwijderen en inactiveren van virus uit een luchtstroom d.m.v. ESP wordt typisch een vermogen van -10kV tot +10kV toegepast, zo bleek uit een studie uitgevoerd door Kettleson et al. (2009) op bacteriofagen T3 en MS2 die in suspensie gebracht werden. Uit de studie bleek dat naast het verhogen van het vermogen, ook het toevoegen van X-stralen de ESP-luchtzuivering efficiënter maakte voor het laden van nanodeeltjes (tot een grootte van 100 nm), zie Figuur 4.

Ook voor ESP luchtzuivering blijft het belangrijk de capaciteit van het toestel (luchtdebiet) af te stellen op de grootte van de ruimte, het toestel centraal in de ruimte te plaatsen en de luchttoevoer correct te oriënteren tov de bron.



Log reduction of bacteriophage T3 without soft X-ray irradiation (A) and with soft X-ray irradiation (B) based on plaque (●), qPCR (○), and total particle concentration (△) measurements of the ESP effluent air stream.

Log reduction of bacteriophage MS2 without soft X-ray irradiation (A) and with soft X-ray irradiation (B) based on plaque (●), qPCR (○), and total particle concentration (△) measurements of the ESP effluent air stream.

Figuur 4 Logaritmische afname van bacteriofaag T3 en bacteriofaag MS2, met en zonder X-stralen, in functie van het vermogen dat toegepast wordt in de ESP-unit

2.4 LUCHTZUIVERING OP BASIS VAN IONISATIE

Bij ionisatie worden negatieve ionen gegenereerd, deze ionen zorgen ervoor dat airborne deeltjes en aerosolen negatief geladen worden en zo elektrostatisch aangetrokken worden tot een positief geladen collector-plaat. Bij dit proces wordt dus een luchtstroom gegenereerd die deeltjes doorheen een ioniserend toestel brengt.

Zuber en Brussow (2020) rapporteerden over een onderzoek dat de doeltreffendheid van de methode om lucht-gedragen transmissie van het Influenza A virus in pluimveebedrijven te reduceren aantoonde (Hagbom et al., 2015), maar ook over andere onderzoeken waaruit blijkt dat de techniek minder doeltreffend zou zijn voor bv. de reductie van MS2 collifaag, een surrogaat voor pathogene respiratoire virussen (Hyun et al., 2017). Zuber en Brussow (2020) concluderen daarom dat er weinig wetenschappelijke evidentie is die bevestigt dat lucht-gedragen transmissie doeltreffend beperkt wordt door middel van ionisatie. Verder onderzoek naar luchtdebieten, sedimentatie-kinetiek, en de inactivatie van virussen via ionisatie is nodig.

Door middel van ionisatie kunnen ook verhoogde concentraties ozon gegenereerd worden tijdens het ionisatieproces; deze ozon kan, zoals bij andere luchtzuiveringsmethoden toegelicht, een bijkomend gezondheidsrisico teweeg brengen.

Bijkomend kan het ionisatie-systeem een luchtstroom in de ruimte creëren, die potentieel infectieuze partikels en druppels van een besmet persoon naar een ander individu in dezelfde ruimte brengt.

Zuber en Brussow (2020) besluiten daarom dat, op basis van de huidige kennis, het gebruik van ionisatie als methode om de lucht te zuiveren momenteel te prematuur is en eerst verder onderzoek

nodig is om de doeltreffendheid voor de inactivatie van het SARS-CoV-2 virus aan te tonen, zowel onder labo-condities als in reële situaties.

Ook ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) publiceert in haar adviezen dat voor het gebruik van (bipolaire) ionisatie als luchtzuiveringstechniek, weinig wetenschappelijke onderbouwing van de doeltreffendheid beschikbaar is en dat dit ook geldt voor de reductie van specifiek SARS-CoV-2; zij raden gebruikers of potentiële gebruikers aan om onderbouwende labo- en testvalidatierapporten aan te vragen bij leveranciers – bij voorkeur uitgevoerd door een derde partij (CDC 2020).

3. INTERNATIONALE ADVIEZEN

SAGE-EMG (2020), de *Scientific Advisory Group for Emergencies* van het Verenigd Koninkrijk publiceerde op 20 november 2020 een uitgebreid advies over luchtzuivering als preventie tegen SARS-CoV-2 lucht-gedragen transmissie en stelt dat enkel luchtzuivering gebaseerd op filtratie of UV-licht doeltreffend kunnen zijn, indien correct gehanteerd. Er wordt benadrukt door de adviesraad dat luchtzuivering nooit ventilatie kan vervangen, en dat de toestellen nooit ingezet mogen worden als reden om minder te ventileren: alle ruimtes die gebruikt worden moeten voorzien zijn van een ventilatie om hen bruikbaar te maken voor humaan gebruik, en om aan de geldende bouw- en werkplaatsregelgeving te voldoen. De auteurs adviseren om eerst de ventilatie van een ruimte te bepalen, en indien mogelijk te verbeteren, voordat overwogen kan worden of er nood is aan een luchtzuiveraar. Zowel doeltreffendheid als veiligheid van het toestel moeten steeds bewezen worden door relevante en onafhankelijke testdata. Toestellen gebaseerd op andere technologieën (ionisatie, plasma's, chemische oxidatie, fotokatalytische oxidatie en elektrostatische precipitatie) beschikken volgens de auteurs slechts over beperkte evidentie van de doeltreffendheid tegen SARS-CoV-2 en/of kunnen ongewenste secundaire agentia produceren die vervolgens kunnen leiden tot gezondheidseffecten zoals ademhalings- en huidirritaties. Dergelijke toestellen worden daarom niet aangeraden, tenzij hun veiligheid en doeltreffendheid ontegensprekelijk en wetenschappelijk aangetoond is met relevante testgegevens. Wat betreft het gebruik van chemische sprays zoals triethyleen glycol, of sprays gebaseerd op etherische oliën om de lucht te zuiveren in een ruimte, is er slechts beperkte evidentie dat het risico op lucht-gedragen virustransmissie wordt verkleind en zijn er mogelijks ook andere potentiële gezondheidseffecten wanneer personen er gedurende een langere tijd aan blootgesteld worden. Ook voor deze producten is ontegensprekelijke wetenschappelijke evidentie nodig, dus laboratorium- en veldvalidatierapporten, die zowel veiligheid als doeltreffendheid aantonen. Een analoog advies geeft SAGE-EMG (2020) voor spray-kamers om personen te decontamineren, omwille van onzekerheden m.b.t. veiligheid en doeltreffendheid en omdat dergelijk decontaminatie-proces ook maar een tijdelijk effect kan hebben, nl. tot de persoon die door de spray kamer ging ademt, praat hoest of niest.

US EPA beveelt volgende aan i.v.m. het gebruik van luchtzuivering in de context van Covid-19 transmissie-beperking in het binnenmilieu:

- Overweeg mobiele luchtzuivering vooral als aanvulling op een verhoogde mechanische en natuurlijke ventilatie en verluchting
- Oriënteer de luchtstroom zo dat deze niet direct van de ene persoon naar de andere blaast, om verdere verspreiding van potentieel besmettelijke druppels of aerosolen te reduceren.
- Luchtzuivering kan zinvol zijn, indien gebruikt in combinatie met een bronbeperking en goede ventilatie; luchtzuivering kan in geen geval bronbeperking of ventilatie vervangen

- Het gebruik van alleen luchtzuiveraars is geen garantie voor een goede luchtkwaliteit, in het bijzonder wanneer significante bronnen aanwezig zijn en ventilatie onvoldoende is.

4. CONCLUSIE EN AANBEVELING

Luchtzuivering is een aanvullende methode om het risico op Covid-19 virustransmissie in het binnenmilieu te beperken, complementair aan ventilatie en andere preventieve maatregelen, zoals social distancing, mondkmaskergebruik enz..

In principe kan elk toestel dat aerosolen of partikels uit de lucht verwijdert de besmettingskans op Covid-19 verkleinen. Het is echter belangrijk om de doeltreffendheid van het toestel en de eventuele uitstoot van nevenproducten te kennen.

Op basis van de huidige wetenschappelijke literatuur, kan gesteld worden dat voorlopig HEPA-luchtfiltratie en UV-licht gebaseerde methoden aangetoond doeltreffend kunnen zijn voor beperking van SARS-CoV-2 verspreiding in een ruimte, indien de toestellen correct gebruikt en onderhouden worden, en capaciteit aangepast is aan de ruimte waarin ze gebruikt zullen worden. Het is voor alle luchtzuiveringsmethoden belangrijk leveranciers te vragen naar onafhankelijke laboratorium- en veldvalidatie-rapporten waaruit de doeltreffendheid voor SARS-CoV-2 reductie blijkt en rekening te houden met nevenproducten die eventueel uitgestoten kunnen worden door het toestel.

Centrale plaatsing, correct gebruik en onderhoud zijn voor elke luchtzuiveraar noodzakelijk voor een goed en veilig gebruik ervan. Ook de capaciteit van het toestel moet aangepast zijn aan het volume van de ruimte, de bezetting ervan en de efficiëntie van de luchtzuivering.

5. REFERENTIES

Rahmani A.R., Leili M., Azarian G, Poormohammadi A. Sampling and detection of corona viruses in air: A mini review. *Science of the Total Environment* 740 (2020) 140207

Ma J., Qi X., Chen H., Li X., Zhang Z., Wang H., Sun L., Zhang L., Guo L., Morawska L., Grinshpun S.A., Biswas P., Flagan R.C., Yao M. Exhaled breath is a significant source of SARS-CoV-2 emission. <https://doi.org/10.1101/2020.05.31.20115154>

Verreault, D., Moineau, S., Duchaine, C., 2008. Methods for sampling of airborne viruses. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 72 (3), 413–444

Morawska et al. 2020 How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environment International* 142 (2020) 105832

Heilingloh C.S., Aufderhorst U.W., Schipper L., Dittmer U., Witzke O., Yang D., Zheng X., Sutter K., Trilling M., Alt M., Steinmann E., Krawczyk A. Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. *American Journal of Infection Control* 48(10), 2020, Pages 1273-1275

Ham, S. Prevention of exposure to and spread of COVID-19 using air purifiers: challenges and concerns. *Epidemiology and health* vol. 42 (2020). doi:10.4178/epih.e2020027

Fact Sheet on UV disinfection for Covid-19, of the International Ultraviolet Association (IUVA). <https://iuva.org/IUVA-Fact-Sheet-on-UV-Disinfection-for-COVID-19>

Inagaki H., Saito A., Sugiyama H., Okabayashi T., Fujimoto S. Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with deep-UV LED irradiation, *Emerging Microbes & Infections* 9(1), 2020, Pages 1744-1747, DOI: 10.1080/22221751.2020.1796529

Kettleleson, E. M., et al. Airborne virus capture and inactivation by an electrostatic particle collector. *Environ Sci Technol* 43(15), 2009, Pages 5940-5946.

Poppendieck D.G, Rim D., Persily A.K. Ultrafine Particle Removal and Ozone Generation by In-Duct Electrostatic Precipitators. *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48, 2067–2074

Kim H.J., Han B., Kim Y.J.1, Oda T., Won H. Submicrometer particle removal indoors by a novel electrostatic precipitator with high clean air delivery rate, low ozone emissions, and carbon fiber ionizer. *Indoor Air* 2013; 23: 369–378

Zuber S. and Brussow H. COVID 19: challenges for virologists in the food industry. *Microbial Biotechnology* (2020) 13(6), 1689–1701

CDC Position on Bipolar Ionization ASHRAE, 2020

SAGE-EMG: Potential application of Air Cleaning devices and personal decontamination to manage transmission of COVID-19 Scientific Advisory Group for Emergencies – Environmental and Modelling Group, Gov.UK 20th November 2020