

Auteurs Ir. Eliane Khoury – CEO VFA Solutions; dr.ir. Francesco Franchimon – Franchimon ICM

Filtratie- en luchtreinigingstechnieken als alternatief in ruimten met beperkte ventilatiecapaciteit

Nederland is een ventilatieland. Wij gebruiken ventilatiesystemen voor het toevoeren van verse lucht van buiten aan een ruimte waarmee concentraties van bijvoorbeeld ziektekiemen in de ruimte verdund en naar buiten afgevoerd wordt. In het geval van het coronavirus moeten dus virussen, druppels met virussen en fijnstof waaraan het virus gehecht is verwijderd worden. Ondanks ons vertrouwen in ventilatiesystemen voor het creëren van een gezond binnenmilieu, zullen er met de huidige pandemie situaties ontstaan waarbij op korte termijn andere technieken toegevoegd moeten worden om de besmettingskans onder acceptabele grenzen te houden. Gezien onze cultuur met betrekking tot ventileren vraagt dit om omdenken. In ruimten die niet voldoen aan de ventilatie-eisen van het Bouwbesluit en/of de ventilatie onvoldoende blijkt te zijn met betrekking tot de besmettingskans voor een betreffende druppelvormende activiteit (spreken, schreeuwen, zingen) kunnen filtratie en luchtreinigingstechnieken een alternatief bieden. Dit artikel is gericht op zelfstandige technieken (stand-alone) als recirculatiesysteem in de ruimte. Het artikel van Joosten e.a. (zie pag 36-42) richt zich meer op systemen in centrale luchtbehandelingssystemen.

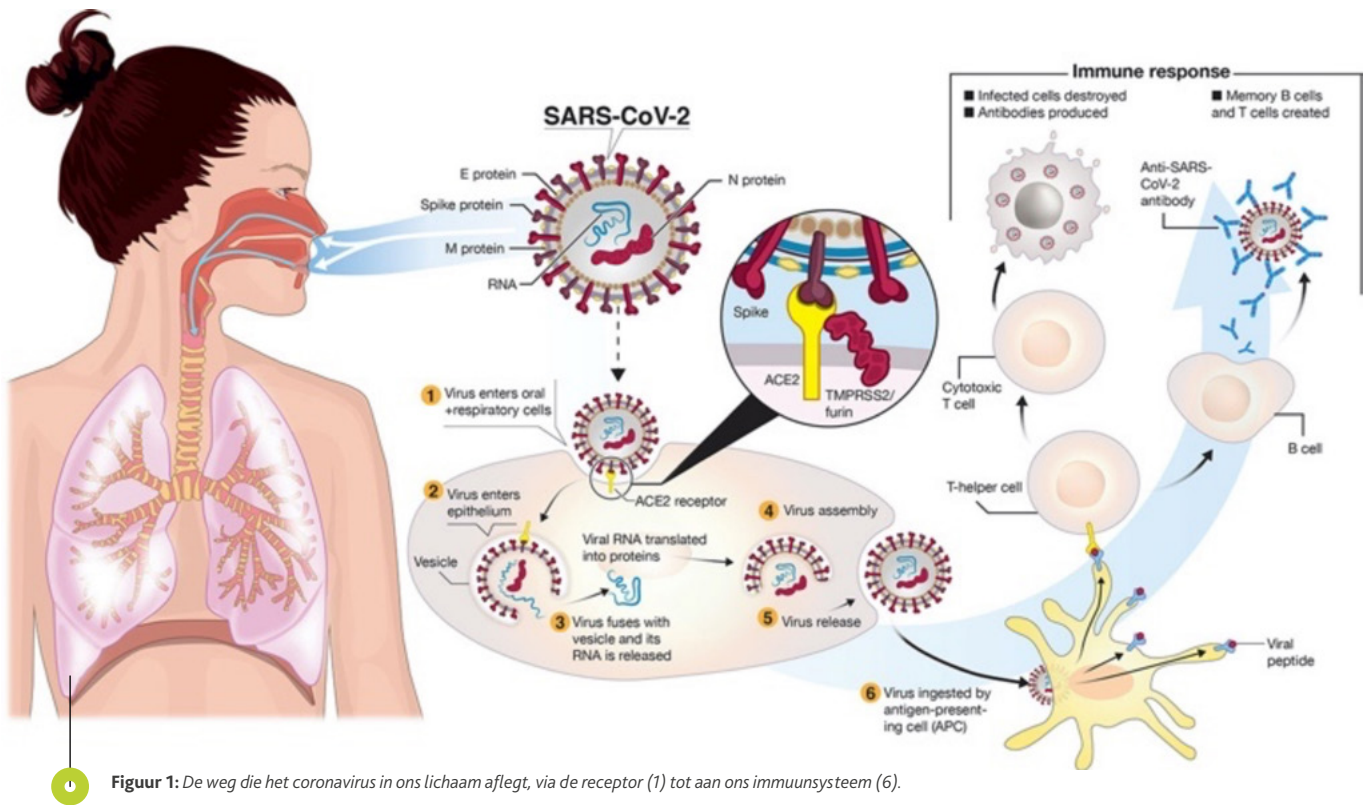
Wanneer ventileren als beheersmaatregel geldt voor infectiepreventie, dan is het vooral belangrijk wat voor soort activiteiten er plaatsvinden in een gebouw. Dit verschilt van gebouw tot gebouw maar ook tussen de verschillende functies van ruimte. Hier is vooral het aantal virus-geladen druppels en fijnstof een belangrijk uitgangspunt. Dit is dus een ander uitgangspunt dan het uitgangspunt dat gehanteerd wordt in het Bouwbesluit. Ruimten te kunnen blijven gebruiken met een acceptabele besmettingskans in gevallen met een te beperkte ventilatiecapaciteit kunnen filtratie- en luchtreinigingstechnieken een alternatief bieden.

Aerosolen: druppels en fijnstof

Aerosolen zijn deeltjes in de lucht die een verschillende grootte, herkomst en samenstelling kunnen hebben. Zo is de grootte van een coronavirus in naakte vorm ongeveer 80-130 nm [Monto, 1974]. Echter zitten de virussen vooral opgesloten in druppels die wij niet alleen produceren bij hoesten en niezen ook tijdens ademen, praten en schreeuwen. De grootte van deze druppels lopen uiteen van 0,3 tot >100 µm [Chen e.a. 2020] en veranderen van grootte en daarmee zwaarte door de aanwezige relatieve vochtigheid [Morawska e.a., 2009]. Niet alleen via de grote druppels (> 100 µm) kunnen virussen zich verspreiden, ook via de kleinere druppels van 0,65 µm – 7 µm kunnen verspreiden zij zich [Galton e.a., 2013].

Een virus kan in de lucht zelf autonoom niet leven, maar is wel levensvatbaar en gaat weer 'leven' en vermenigvuldigen als het een gastheer heeft. Het coronavirus lijkt via onze luchtwegen via een receptor (ACE 2) het lichaam binnen te treden om zich te nestelen en vermenigvuldigen om vervolgens het immuunsysteem van mensen te ontregelen (Figuur 1). Het virus dat besmette mensen in de lucht brengen, vindt plaats door druppels, uiteenlopend van heel klein tot wat groter doordat men ademt, praat, schreeuwt, hoest of niest. In Figuur 2 is te zien dat de verschillende vormen van ademen en harder en zachter praten invloed hebben op het aantal druppels en de grootte van de druppels. Eenmaal vrijgekomen in de lucht kan het zich hechten aan fijnstof dat al in de ruimte aanwezig is.

Een review-studie laat zien dat er een verband bestaat tussen fijnstofconcentraties buiten (PM_{10} , $PM_{2.5}$) en het aantal fatale COVID-19 gevallen en patiënten met zware symptomen. De meest waarschijnlijke verklaring wordt gevonden in de langdurige blootstelling aan fijnstof die daarmee het immuunsysteem van mensen aantast en chronische schade toebrengt aan de luchtwegen

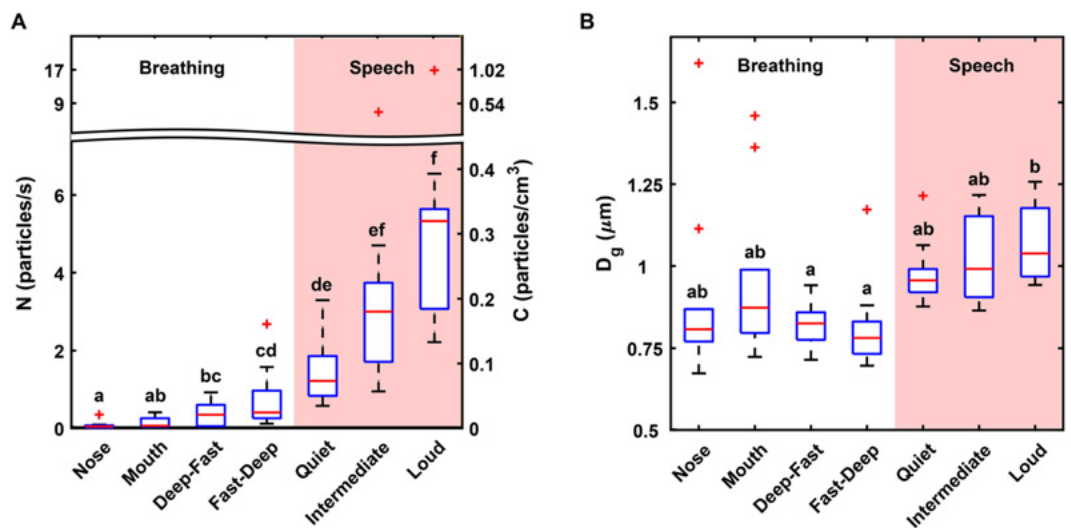


Figuur 1: De weg die het coronavirus in ons lichaam aflegt, via de receptor (1) tot aan ons immuunsysteem (6).

[Domingo e.a., 2020]. Enkele studies laten ook het effect zien van het disfunctioneren van onze slijmvliezen bij een hoge concentratie aan $PM_{2.5}$ waardoor zij irritaties veroorzaken en minder weerstand kunnen bieden tegen virussen [Zhao e.a., 2018; Xian, 2020]. Op basis van deze studies rechtvaardigt het vanuit een voorzichtigheidsbeginsel om ook aandacht te hebben voor de kortere blootstelling aan

hoge fijnstof concentraties. De invloed van de fysisch-chemische eigenschappen van aerosolen die betrokken zijn bij het ontstaan van ontsteking en immunotoxiciteit in het menselijk lichaam geeft hiervoor voldoende aanleiding [Domingo e.a., 2020]. Dit is bijvoorbeeld relevant voor mensen met een chronische luchtwegziekte (aantal COPD patiënten 613.800 en aantal astma patiënten 636.200) [Nivel 2019]. Tot slot is focus op het ultrafijne stof relevant vanwege de penetratiediepte in onze luchtwegen en de schade die het daar kan veroorzaken [Xing et al, 2016].

Figuur 2: Het aantal druppels bij verschillende vormen van ademen en spreken (A) en verdeling van druppelgrootte bij verschillende vormen van ademen en spreken (B) De rode lijn is de mediaan, de blauwe box is het 25^e en 75^e percentiel en de uiteinde de standaard deviatie (Adesi e.a. 2019).



Effectiviteit filtratie- en reinigingstechnieken

Ventileren is niet de enige techniek die de besmettingskans in een ruimte kan beperken in het geval van aerogene transmissie, maar blijft wel het vertrekpunt in de Nederlandse gebouwen. In het Wells-Riley model, zoals die nu gebruikt wordt om een indicatie te geven over de besmettingskans door aerogene verspreiding, is ook ruimte om het effect van filtratie- en luchtreinigingstechnieken op ruimteniveau door te rekenen. Dit worden de zogenaamde sink-termen genoemd. Het artikel van Loomans e.a. op pagina 42-47 laat zien wat voor soort sink-termen er bestaan. Naast ventileren zijn inactivatie van het virus, depositie, filtratie, luchtreiniging of de toepassing van UVGI als sink-termen opgenomen of kunnen die opgenomen worden. Hiervoor is het debiet over het filter of over de luchtreinigingsapparaat benodigd, samen met het afvangrendement in geval van filtratie of de effectieve inactivatie van de betreffende kiem in het geval van luchtreiniging.

Prestatiebepaling

Om de prestatie van luchtreinigers te kunnen bepalen wordt gebruikt gemaakt van internationale standaarden. De NEN-EN-IEC 63086-1:2020 is door NEN uitgegeven om in Nederland te gebruiken. De prestatie van filtratie en luchtreiniging wordt hier uitgedrukt in de Clean Air Delivery Rate (CADR). De bepalingmethode om de CADR vast te stellen van een bepaald apparaat is ontwikkeld door Association of Home Appliance Manufacturers (www.aham.org) voor vooral de consumentenmarkt. Het bepaalt de prestatie met betrekking tot het verwijderen van tabaksrook, fijnstof en pollen. Door het aanbrengen van een aantal aanpassingen op bepaalde parameters kan deze bepalingmethode ook geschikt zijn voor ultra fijnstof en gassen zoals formaldehyde.

In de 'CADR norm' (NEN-EN-IEC 63086-1:2020) wordt een methode aangereikt om de maximale kamergrootte waarvoor een product geschikt is te berekenen. Volgens deze norm is dit de kamergrootte waarbij het apparaat 80% reductie in de steady-state concentratie behaalt, oftewel het aantal deeltjes is 80% minder dan wanneer er geen luchtreiniger geïnstalleerd zou zijn. Dit bij een ventilatievoud van 1. Het goede van deze methode is dat ze onafhankelijk is van de bronnen van buiten de ruimte; de reductie wordt gesteld ten opzichte van de situatie zonder luchtreiniger.

$$V = \frac{(1-x)}{x} \frac{CADR}{(k_v + k_{dep})} \tag{1}$$

Met:

- V Volume van de ruimte (m³)
- x Reductie in de concentratie door de plaatsing van de luchtfilter of -reiniger ten opzichte van de situatie zonder luchtfilter of -reiniger (%)
- CADR Clean Air Delivery Rate (m³/h)
- k_v ventilatievoud van de ruimte (h⁻¹)
- k_{dep} absorptie of depositie van de gassen of aerosolen in de ruimte (h⁻¹)

De k_v en k_{dep} zijn de waarden van een gegeven ruimte (huis, kantoor of ander gebouw) en gegeven vervuiling (rook, virus, fijnstof) en dienen dus ingevuld te worden.

De benodigde CADR van een luchtreiniger is in feite equivalent aan de hoeveelheid compleet schone lucht die aan een ruimte toegevoerd zou moeten worden door ventilatie om hetzelfde effect te bereiken als het effect van de luchtreiniger in kwestie. Deze CADR-formule is dus ook zeer bruikbaar om, gegeven een bepaalde ruimte met bekend volume en ventilatievoud, een indicatie te bepalen voor de te verwachten reductie bij het plaatsen van 1 of meerdere luchtreinigers in deze ruimte. Bij grote ruimten met meerdere luchtreinigers is de totale CADR de som van de individuele CADR's van luchtreinigers.

De CADR is ook een functie van het luchtdebiet over het apparaat en de single pass efficiency van het apparaat:

$$CADR = F_{LR} \eta_{LR} \tag{2}$$

Met

- F_{LR} luchtdebiet over apparaat (m³/h)
- η_{LR} single-pass efficiency van de luchtreiniger per deeltjesgrootte/vervuilingssoort (%)

Het selecteren van filtratie en luchtreinigingsapparaten vraagt om het goed interpreteren van de specificaties van de leverancier. Het juiste gebruik van de CADR-norm helpt om te bepalen voor welk volume de apparaten werkelijk geschikt zijn. Het is af te raden enkel af te gaan op de technische specificaties van het apparaat.

Positionering lokale filtratie- en luchtreinigingstechnieken

De prestaties van filtratie- en luchtreinigingstechnieken worden vastgesteld onder laboratoriumomstandigheden. Daar wordt de CADR vastgesteld voor een bepaalde bron. Echter, het gaat om schone lucht die mensen inademen en gefiltreerd of gereinigd is door (i) lokaal gepositioneerd in de ruimte, (ii) ingebouwd in een plafond of (iii) een mobiele stand-alone unit.

In een veldstudie is aangetoond dat in een cellenkantoor van 28 m² de prestatie nauwelijks beïnvloed wordt door de positionering van de unit. Alleen als er geen vrije luchtstroom kan ontstaan neemt de prestatie af, bijvoorbeeld wanneer de unit onder een bureau wordt geplaatst [Küpper et al, 2019]. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de lucht ideaal gemengd moet zijn. In de praktijk is daarom belangrijk de lucht goed te mengen

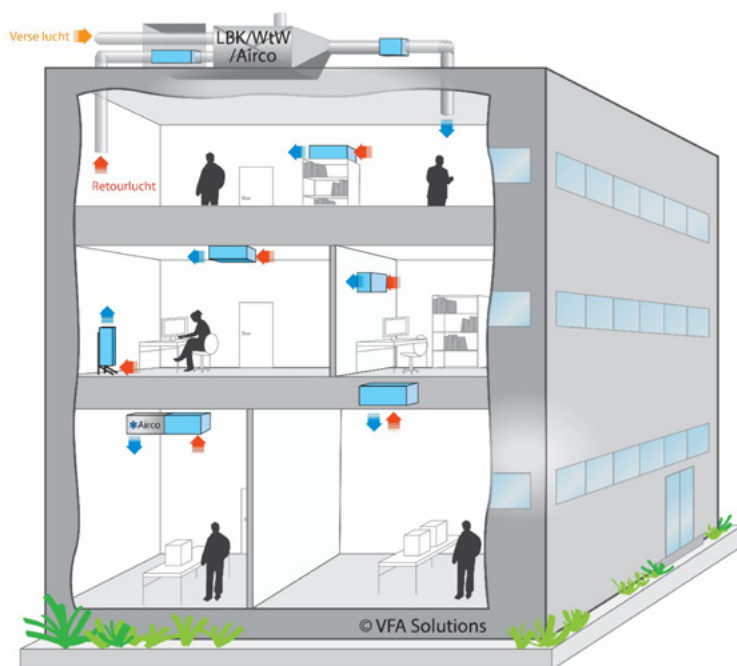
Figuur 3: Verbeelding van luchtreinigings- en filtratiepositionering, waarmee luchtrecirculatie mogelijk is.

middels het mengventilatiesysteem of eventueel met lokale hulpbronnen zoals plafondventilators. Ook is het uitgangspunt dat de unit slechts een zone/ruimte bedient. Indien met een unit meerdere zones moet worden bereikt is het belangrijk de luchtstromingen tussen de verschillende zones te begrijpen om daarmee de meest geschikte positie vast te stellen en de noodzakelijke CADR te berekenen om tot een significante reductie te komen [Novoselac & Siegel, 2009].

Plaatsing van filtratie- en luchtreinigingstechnieken

Er zijn diverse luchtreiniging en luchtfiltratie technieken mogelijk en beschikbaar. De plaatsing van deze systemen is ook mogelijk op diverse posities:

1. In de retoursectie van een luchtbehandelingskast of een airco-systeem waarmee veiliger recirculeren mogelijk wordt
2. Zelfstandig (stand-alone) als recirculatiesysteem in de ruimte:
 - a. Op de vloer
 - b. Op een verhoging, bijv. stellage of een kast
 - c. Opgehangen aan een muur
 - d. Opgehangen aan/in het plafond



Filtratie- en Reinigingstechnieken

In het overzicht hieronder zijn een aantal filtratie en reinigings-technieken beschreven. Het gaat om omschrijvingen van de technologieën/producten met enkel 1 techniek. Wanneer een product meerdere gecombineerde technieken bevat, dient aandacht besteed te worden aan het productontwerp en de volgorde van toegepaste technieken.

HEPA Filter

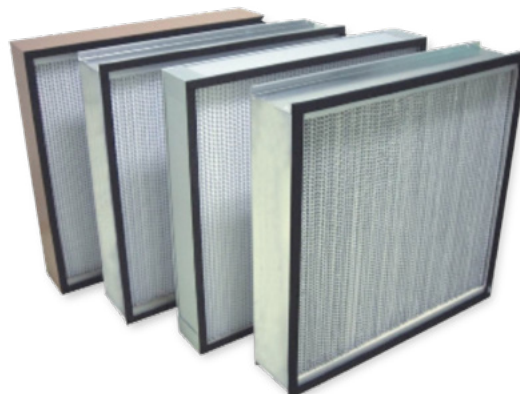
HEPA-filters zijn samengesteld uit een mat van willekeurig gerangschikte vezels. De vezels zijn typisch samengesteld uit glasvezel en hebben diameters tussen 0,5 en 2,0 μm . Sleutelfactoren die de functie beïnvloeden, zijn vezeldiameter, filterdikte en lichtsnelheid.

Voordelen

- Bewezen technologie
- Effectief deeltjes filtratie
- Microorganismen/ virussen worden effectief afgevangen
- Breed beschikbaar
- Breed toepasbaar in vele luchtreinigers
- Eenvoudige technologie

Nadelen

- Hoge drukval / weerstand voor de luchtstroom, wat kan leiden tot:
 - Hoog energieverbruik
 - Hoog geluidsniveau
- Micro-organismen blijven aan de oppervlakte en kunnen verder groeien (risico op biofilm vorming)
- Filtratie efficiëntie is sterk afhankelijk van vezeldiameter, filterdikte en snelheid
- Hoge onderhoudskosten
- Meestal gecombineerd met andere voorfilters



UV-C

UVC gebruikt ultraviolet licht in het bereik van 200 - 280 nm. De effectiviteit van UVC hangt sterk af van intensiteit, stromingseigenschappen en stralingstijd. UVC deactiveert alleen micro-organismen door het vernietigen van nucleinezuren en verstoren het DNA/RNA. Het verwijdert geen deeltjes uit de lucht.

<p>Voordelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewezen technologie • Lichtgewicht apparatuur • Laag geluidsniveau • Effectieve desinfectie van oppervlakken en water wanneer dosis is gegarandeerd • Bij juiste implementatie, effectieve werking tegen virussen in luchtstroom. 	
<p>Nadelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het verwijdert geen deeltjes of druppels uit de lucht. • Effect is afhankelijk van het garanderen van de juiste dosis, afhankelijk van lampintensiteit en luchtsnelheid, afstand tot lamp. • Vaak is luchtsnelheid te hoog waardoor desinfectie niet gegarandeerd is • Ieder pathogeen heeft andere dosis nodig (het is geen one-solution-fits-all) • Schaduweffect (ziekteverwekkers achter deeltjes worden niet blootgesteld aan UV) • Gedactiveerde micro-organismen kunnen nog steeds mensen infecteren • Bij onvoldoende dosering bestaat er een risico op mutatie van de pathogenen • Zichtbare UVC beschadigt de ogen • Hoog energieverbruik (TL UV-lampen) • Hoge onderhoudskosten 	

Elektrostatisch precipitator (ESP)

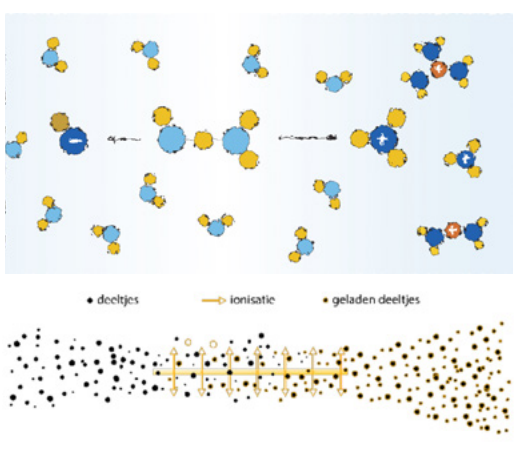
Een elektrostatische precipitator/stofvanger (ESP) is een techniek die deeltjes effectief verwijdert door de kracht van geïnduceerde elektrostatische lading te gebruiken. Deeltjes en luchtstroom worden geladen door elektrisch geladen draden (hoge spanning en lage stroom). Vervolgens worden de geladen deeltjes op een elektrisch geladen metalen platen verzameld.

ESP's zijn zeer efficiënte filtratieapparaten die fijne deeltjes zoals stof en rook gemakkelijk uit de luchtstroom kunnen verwijderen.

<p>Voordelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stille werking (excl. ventilator) • Lage drukval / weerstand / lage belemmering voor de luchtstroom • Laag energieverbruik • Bewezen efficiëntie in zware industriële toepassingen (laatste fase van filtratie) • Op grote schaal toegepast in luchtreinigers • Elektrisch veld kan effectief zijn voor deactivering van virussen 	
<p>Nadelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Over het algemeen gaat het om het produceren van hoge ozon (O3) niveaus. • Afmeting hangt af van de luchtsnelheid. Voor een hoog rendement zijn grote afmetingen van • ESP nodig • Moeilijke reiniging van ESP-platen • Gevoelig bij aanwezigheid van hoge mate van olie in de lucht. Risico op storings of vonken door afzetting van oliën op isolatoren • Kansen om het reststroom-apparaat te activeren • Kans op elektromagnetische pulsen 	

Open Ionisatie / Plasma

Ionisatie is het proces waarbij een atoom of molecuul wordt omgezet in een ion door het toevoegen of verwijderen van elektrisch lading. Ionen hebben de neiging om samen te clusteren. Vanwege de elektrische lading worden de ionen aan een tegengestelde lading of gearde oppervlakken getrokken of dwarrelen naar beneden vanwege het gewicht.

<p>Voordelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laadt deeltjes in de kamer op en zorgt ervoor dat ze worden aangetrokken door oppervlakken i.p.v. in de lucht • Kan Vluchtige Organische Stoffen (VOC's) als gassen en geuren verminderen • Kan pathogenen deactiveren / doden wanneer de ladingsdichtheid op pathogenen voldoende is • Stille werking • Licht gewicht • Laag energieverbruik • Makkelijk onderhoud • Lage investering (bij huishoudelijke systemen) 	
<p>Nadelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laadt deeltjes in de kamer op en zorgt ervoor dat ze worden aangetrokken door alle oppervlakken en bewoners • Micro-organismen en fijnstof deeltjes worden niet afgevangen • Meestal van invloed op grote deeltjes en niet op de gevaarlijkere kleine deeltjes • Ionen en geladen deeltjes hebben tot 5x hoger risico op afzetting in de longen dan niet-geladen deeltjes [Cohen, B.S. 1998] • Te hoge ozon (O3) productie (met name bij ongecontroleerde systemen) • Meestal geen controle aanwezig op de lading en hoeveelheid ionen en geen controle van het ionisatie systeem op luchtvochtigheid, met extra risico op Ozon en radicalen vorming • Verkleuring van deeltjes afzetting op oppervlakken 	

Gesloten Ionisatie/elektrostatiche filtratie

Gesloten ionisatie is een techniek die bestaat uit 2 delen: ionisatie sectie en afvang sectie. In apparaten met gesloten ionisatie worden deeltjes door een elektrisch veld geleid en daarmee worden de deeltjes/aerosolen elektrisch geladen en geïoniseerd. Vanwege de elektrische lading worden de ionen/aerosolen opgevangen door een statisch medium collector/filter. Het systeem in zijn geheel (ionisatie en collector sectie samen) heeft een hogere filtratieklasse dan van enkel het filter zelf.

De maximale mate van ionisatie en collector oppervlak dient afgestemd te zijn op het maximale luchtdebiet van het systeem.

<p>Voordelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effectieve verwijdering van een breed scala aan deeltjes (alle grootte) • Ionisatie vindt binnen in het systeem plaats, waardoor uitstoot van vrije ionen naar de ruimte minimaal tot nihil is. • Kan pathogenen deactiveren / doden wanneer de ladingdichtheid op pathogenen voldoende is. • Collector is voortdurend aan ionisatie blootgesteld waardoor risico op biofilm vorming op collector nihil is, hierdoor kan het onderhoud van het collector/filter veilig worden uitgevoerd • Door de juiste ionisatie instellingen en filter materiaal te gebruiken, is een HEPA-filtratieklasse mogelijk. • Bij hoge efficiëntie systemen worden de micro-organismen dood of levend afgevangen. • Laag energieverbruik (excl. ventilator) • Stille werking (excl. ventilator) <p>Nadelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niet breed bekende techniek. • Mogelijk risico op ozon (O_3) productie bij ongecontroleerde en/of te hoge ionisatie • De werking is sterk afhankelijk van de instellingen: mate van ionisatie en type en structuur van de collector/filter. • Gevoelig bij aanwezigheid van hoge mate van olie in de lucht. Risico op storingen of vonken door afzetting van oliën op isolatoren. • Afmetingen hangt af van de luchtsnelheid. Voor een hoog rendement zijn mogelijk grotere afmetingen nodig dan inbouwmaten binnen standaard LBK's. 	
---	--

Koolstof filter

De werking van actieve kool berust op een zeer groot oppervlak door een fijne microstructuur met een groot aantal zeer fijne poriën.

De actieve-kooldeeltjes (koolstofatomen) oefenen een aantrekkingskracht uit op gasvormige of vloeibare deeltjes (moleculen), die de actieve kool omgeven of doorstromen. Dit wordt "adsorptie" genoemd.

<p>Voordelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • VOC's worden verwijderd vanwege gefunctionaliseerd gasadsorptiemateriaal. • Breed toepasbaar voor gas- en geurfiltratie in industrie, utiliteitsbouw maar ook in commerciële luchtreinigers <p>Nadelen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heeft geen enkele impact op virussen of andere deeltjes • Werkt enkel tegen gassen en geuren. • Gevoelige werking bij te hoog of te laag RH% en temperatuur • Effectiviteit is afhankelijk van samenstelling van de lucht: soort gas, vorm en massa van de moleculen (het is geen one-solution-fit-all). • De effectiviteit van het adsorptiemateriaal is voornamelijk afhankelijk van het contactoppervlak met het gas en de contacttijd, koolbed-dikte, luchtvolume en snelheid, doorstroomoppervlak. • Gevoelige werking bij stoffige omgeving (deeltjes filtratie vooraf is essentieel) • Hoge weerstand/drukval, dus hoog energieverbruik • Hoge onderhoudskosten en frequentie. 	
---	--

By-products

Bij het toepassen van bovengenoemde technieken is het cruciaal om de werking goed te begrijpen en vast te leggen, inclusief mogelijke bijproducten.

Te denken aan:

- Effectiviteit tegen welke deeltjesgrootte/filter klasse
- Afstemming tussen de luchtdebieten en snelheden met de techniek
- Drukval, weerstand en energieverbruik

- Emissie factoren zoals licht emissie, vrije ionen, radicalen en Ozon gehalte. Dat is met name relevant voor elektrostatiche, ionisatie/plasma en UV-systemen. Veel is niet altijd beter. Te veel ionen of licht intensiteit kan te veel by-producten creëren waardoor het medicijn erger wordt dan de ziekte.
- Cross-interferentie tussen de by-producten en de samenstelling van de omgevingslucht (bijvoorbeeld O_3 in een NH_3 rijke omgeving geeft risico op NO_x).

Bij toepassing van een recirculatie luchtreiniger in de ruimte is uiteraard de CADR en de plaatsing van de systemen van cruciaal belang om de juiste zuiveringscapaciteit te bepalen.

	Elektrostatisch filtratie / gesloten ionisatie	Open ionisatie (monopolair of bipolair)	Deeltjes filters	HEPA filters	Actiefkoolfilters	Ultraviolet (UVGI)	Photokatalytische Oxidatie (PCO)
Beschrijving	Aerosolen in de luchtstroom worden elektrisch geladen en daarna afgevangen op een statisch medium binnen in het systeem.	Ionen worden vrij gestuurd in de luchtstroom/ruimte. Aerosolen worden geladen, klonteren aan elkaar en slaan neer in de ruimte.	Zakken of geplooid filters voor het afvangen van grove deeltjes in de luchtstroom	(glas-vezel) filters voor het afvangen van fijne deeltjes in de luchtstroom	Absorbeert chemicaliën als gassen en geuren	Pathogenen worden aan UV licht blootgesteld voor deactivatie	Radicalen worden geproduceerd door UV straling op een media met TiO_2 coating
Verwijdert Aerosolen	Ja	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee
Deactiveert virussen	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja
Effect op gassen/VOC's	Minimaal	Medium	Geen	Geen	Ja	geen-minimaal	Medium
Risico op Ozon	laag	Medium-hoog	Geen	Geen	Geen	laag-medium	medium-hoog
Energiebesparing t.o.v. conventioneel filter	Induct: 40-80% stand-alone: geen	tot 30%	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen
Drukval	Minimaal	Minimaal	Medium	Hoog	Hoog	Minimaal	Minimaal
Effectieve deeltjes grootte	Alles	Alles	groot (> 5µm)	Klein	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.

Tabel 1: Technieken vergeleken in praktijksituaties.

Referenties

- Asadi e.a. 2019. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Scientific Reports* – Nature 9:2348.
- Chen e.a., 2020. Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact. *Building and Environment* 176:106859.
- Gralton e.a., 2013. Respiratory Virus RNA is detectable in Airborne and Droplet Particles. *Journal of Medical Virology* 85:1251-2159.
- Domingo e.a., 2020. Influence of airborne transmission of SARS-CoV-2 on COVID-19 pandemic. A review. *Environmental Research* 188: 109861.
- Küpfer et al, 2019. Testing of an Indoor Air Cleaner for Particulate Pollutants under Realistic Conditions in an Office Room. *Aerosol and Air Quality* 19(8): 1655-1665.
- Morawska e.a., 2009. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Aerosol Science* 50: 259-269.
- Monto AS, 1974. Medical reviews. Coronaviruses. *The Yale Journal of Biology and Medicine* 47(4): 234-251.
- Nivel, 2019. Nivel Zorgregistraties eerste lijn.
- Novoselac & Siegel, 2009. Impact of placement of portable air cleaning devices in multizone residential environments. *Building and Environment* 44 (2009) 2348-2356.
- NEN-EN-IEC 63086-1:2020. Household and similar electrical air cleaning appliances - Methods for measuring the performance - Part 1: General requirements.
- Xing e.a., 2016. The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease* 8(1): E69-E74.
- Zhao e.a., 2017. Nasal epithelial barrier disruption by particulate matter $\leq 2.5 \mu m$ via tight junction protein degradation. *Journal of Applied Toxicology* 38(5):678-687.
- Zian et al, 2020. Particulate Matter 2.5 Causes Deficiency in Barrier Integrity in Human Nasal Epithelial Cells. *Allergy, Asthma & Immunology Research* 12(1): 56-71.
- Cohen, B.S. et. al. Deposition of charged particles on lung airways, *Health Phys.* 74 (1998), p. 554-560, Melandri, C. et. al. Deposition of charged particles in the human airways, *J Aerosol Sci.* 14 (1983), p. 657-669"