

## Auteurs

Ir. F. (Froukje) van Dijken<sup>1</sup>, Dr.ir. M. (Marije) te Kulve<sup>1</sup>, Drs. W.N.J. (Bob) Ursem<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> bba binnenmilieu, Den Haag

<sup>2</sup> Faculteit Technische Natuurwetenschappen, TU Delft

## Fijnstofreductie in scholen op belaste locaties

*Blootstelling aan fijnstof leidt tot gezondheidsrisico's. In dit onderzoek hebben we de effectiviteit van fijnstofreducerende maatregelen onderzocht in een school nabij snelwegen. Hierbij werden het effect van verbeterde filters in de luchtbehandelingskast en van een mobiel HEPA-filter op de (ultra)fijnstofconcentraties onderzocht. Toepassing van betere filters in de LBK had een gunstig effect op (ultra)fijnstofconcentratie in de lokalen: bijna 75% reductie van  $PM_{2,5}$ . Het HEPA-filter was niet effectief in onze testsituatie.*

In de buurt van drukke wegen, luchtverkeer, industrie of veehouderijen is de luchtkwaliteit vaak slechter dan elders.[1] Verontreinigde buitenlucht is van invloed op de luchtkwaliteit in gebouwen. Via kieren en naden in de gevel en via ventilatie komt bijvoorbeeld fijnstof vanuit de buitenlucht gebouwen binnen.[2] Met name de kleine fracties fijnstof ( $PM_{2,5}$  en ultrafijne deeltjes) kunnen gemakkelijk binnendringen. Blootstelling aan fijnstof gedurende een langere periode levert gezondheidsrisico's op. Overschrijding van de luchtkwaliteitsrichtlijnen voor fijnstof van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) [3] kan leiden tot acute en chronische gezondheidsklachten, waaronder keel- en neusirritaties, astmatische klachten en (verergering van) hart- en vaatziekten.[4]

Uit epidemiologisch onderzoek blijkt dat er geen niveaus kunnen worden aangetoond, waarbij geen schadelijke gezondheidseffecten van fijnstof optreden. Dit betekent dat bij elke verlaging van de fijnstofconcentratie (ook binnenshuis) gezondheidsvoordelen te verwachten zijn, ongeacht de aard of samenstelling van het fijnstof.[5] Voor ultrafijnstof zijn er nog geen gezondheidsgerelateerde richtlijnen. Verschillende



Foto 1: Het betere toevoerfilter (ePM1 85%) wordt door Camfil in de luchtbehandelingskast geplaatst.

epidemiologische studies tonen echter een verband aan tussen blootstelling aan ultrafijnstof en gezondheidseffecten, zoals astma, bij kinderen.[6]

Het is dus belangrijk om maatregelen te nemen om de blootstelling aan fijnstof in de binnenlucht te verminderen. Oplossingen voor bestaande gebouwen zijn onder meer de toepassing van verbeterde filters in de luchtbehandelingsunit (LBK) en lokale luchtreinigers. Er is echter weinig bekend over de algehele effectiviteit van dit soort maatregelen in gebouwen die in gebruik zijn.

Om inzicht te krijgen in de effectiviteit van deze maatregelen en daarmee bij te dragen om de invloeden van fijnstof in Nederland tot een minimum te kunnen reduceren, doen TVVL en VCCN een praktijkonderzoek waarmee nieuwe inzichten worden opgedaan door de fijnstofconcentratie in verschillende typen Nederlandse gebouwen in kaart te brengen en te onderzoeken hoe effectief verschillende fijnstofwerende maatregelen zijn. In dit deelonderzoek is gekeken naar fijnstofreductie in een schoolgebouw op een belaste locatie.

Het doel van dit onderzoek was om het effect van fijnstofreducerende maatregelen in een schoolgebouw op een verkeersbelaste locatie te kwantificeren.



Foto 2: Opstelling van het mobiele HEPA-filter.



Foto 3: Meting in uitvoering met links de TSI personal aerosol monitor AMS20 en rechts de TSI Condensation Particle Counter 3775.

### Situatie

We hebben tussen april en oktober 2021 een onderzoek uitgevoerd in een basisschool in een wijk omringd door snelwegen. De school (bouwjaar 1997) bestaat uit 2 vrijwel identieke gebouwen met daartussen een schoolplein. De afstand tot de weg en de oriëntatie van de te openen ramen was gelijk. Beide gebouwen hebben een eigen CO<sub>2</sub>-gestuurd mechanisch ventilatiesysteem. Het maximale ventilatiedebiet was ongeveer 950 m<sup>3</sup>/uur per lokaal. De luchtbehandelingskasten (LBK's) waren voorzien van ePM<sub>2,5</sub> 70% filters. De klaslokalen op de bovenste (tweede) verdieping hebben een koelsysteem.

### Interventies

De volgende interventies zijn onderzocht:

- I. Verbeterd filter in de centrale LBK (foto 1). In één van de schoolgebouwen hebben we de standaard ePM<sub>2,5</sub> 70% filters vervangen door ePM1 85% filters.
- II. Mobiel HEPA-filter (foto 2). Er is gebruik gemaakt van Camfil City M-units met een H14-filter met een rendement van 99,995% voor deeltjes tussen 0,1 en 0,25 µm. De maximale capaciteit van de unit is 433 m<sup>3</sup>/uur (stand 6). Vanwege het geluid hebben we de unit tijdens het onderzoek ingesteld op stand 4 (127 m<sup>3</sup>/uur). De lokalen waarin de units zijn gebruikt hebben een vloeroppervlak van ±50 m<sup>2</sup> en een volume van ±140 m<sup>3</sup>. Het circulatievoud van de unit was daarmee circa 0,9. De unit stond tijdens de onderzoeksperiode continu aan.
- III. Combinatie van interventie I en II. Deze situatie werd alleen getest met open ramen.

### Momentane metingen

Door middel van momentane metingen in lege klaslokalen is het effect van de interventies gekwantificeerd (foto 3). Eerst is in beide gebouwen een nulmeting uitgevoerd. Vervolgens werden de interventies gelijktijdig met de uitgangssituatie getest. Dit was

mogelijk omdat de school twee identieke gebouwen heeft.

De metingen van de PM<sub>2,5</sub>-massaconcentratie werden uitgevoerd met een TSI Sidepak personal aerosol monitor (TSI AM520). Op elke meetlocatie werd de massaconcentratie van deze deeltjes gedurende 10 minuten gemeten met een interval van 1 seconde.

Metingen van de ultrafijne deeltjes werden uitgevoerd met behulp van een TSI Condensation Particle Counter (TSI 3775). Het apparaat meet het aantal deeltjes van 4 nm in diameter en groter in een bandbreedte van 0 tot 107 deeltjes per kubieke centimeter lucht. De metingen werden uitgevoerd over een periode van 10 minuten met een vast interval van 10 seconden.

Deze metingen werden achtereenvolgens binnen en buiten uitgevoerd. Het CO<sub>2</sub>-gestuurde ventilatiesysteem hebben we tijdens de momentane metingen overruled, zodat de klaslokalen allemaal op maximale capaciteit werden geventileerd. Het HEPA-filter was minstens een uur voor de metingen in bedrijf. Tabel 1 toont het aantal meetreeksen per interventie.

### Duurmetingen

De PM<sub>2,5</sub>-concentratie werd tijdens de onderzoeksperiode continu gemonitord. Deze metingen werden gelijktijdig binnen en buiten uitgevoerd. De metingen binnen vonden plaats in 15 lokalen met Siemens QSA2700 ruimtesensoren. De situatie buiten is gemeten bij de luchtinlaat van de LBK met een Siemens QSM2100 kanaalsensor. Het meetinterval was 5 minuten.

Situatie	Aantal locaties
Nulmeting	10
Interventie I	9
Interventie II	5

Tabel 1: Overzicht van het aantal momentane metingen (PM<sub>2,5</sub> en ultrafijnstof).

Data-analyse

De impact van de interventies is geanalyseerd door de indoor/outdoor (I/O)-ratio van de verschillende situaties te vergelijken. De I/O-ratio is de gemeten fijnstofconcentratie binnen gedeeld door de concentratie buiten en geeft een algemene indruk van in de mate waarin de fijnstof van buiten in de ruimte binnen terecht komt. Door gebruik te maken van de I/O-ratio in plaats van absolute concentratie kan de invloed van wisselingen in de buitenconcentratie worden ondervangen.

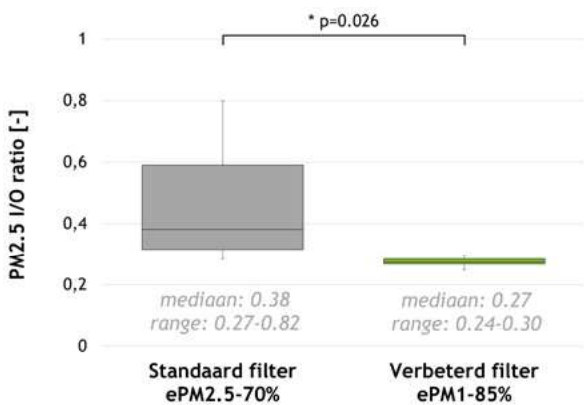
Voor de momentane metingen werden de gemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentratie en concentratie ultrafijnstof berekend per meetlocatie, binnen en buiten, over de meetperiode van 10 minuten. Voor de PM<sub>2,5</sub>-meting is ook de standaarddeviatie berekend. Vanwege de meetonnauwkeurigheid zijn alleen metingen uitgevoerd met PM<sub>2,5</sub>-concentraties buiten boven 5 µg/m<sup>3</sup> werden in de analyse opgenomen.

Met een ongepaarde t-test werd onderzocht of de gemiddelde I/O-ratio's in een situatie met verbeterde filters (interventie I) significant verschillen van de situatie zonder interventie. Een p-waarde <0,05 werd als statistisch significant beschouwd. De statische analyses zijn uitgevoerd in Microsoft Excel versie 2102. De gegevens van de andere interventies konden niet statistisch worden getoetst, vanwege het beperkte aantal momentane metingen. De duurmetingen van de PM<sub>2,5</sub>-concentratie werden gebruikt om de resultaten van de momentane metingen te onderbouwen en inzicht te krijgen in de het verloop van de concentraties gedurende de dag. Het uurgemiddelde op schooldagen van de fijnstofconcentraties en I/O-ratio's zijn weergegeven in grafieken.

Resultaten

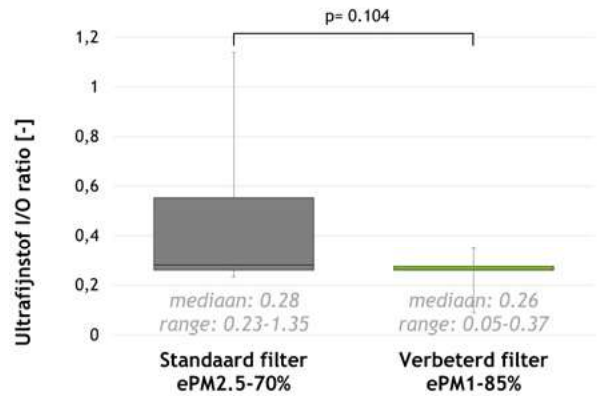
Interventie I: Verbeterd filter in de centrale LBK

De I/O-ratio in de situatie met een ePM1 85%-filter is vergeleken met het standaard ePM<sub>2,5</sub> 70%-filter (Figuur 1). De mediaan van de

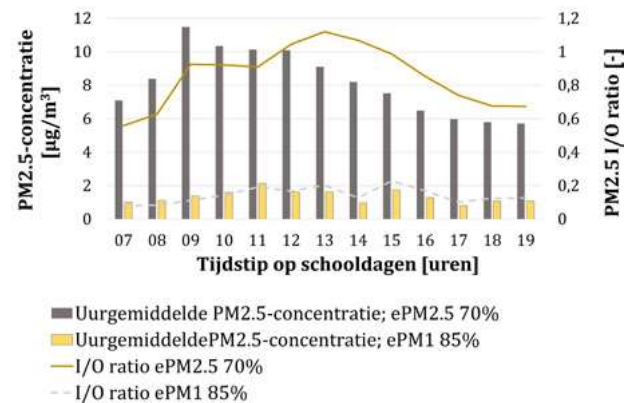


Figuur 1: Boxplot van de gemiddelde I/O-ratio van PM<sub>2,5</sub>. Hierin worden de lokalen met een standaardfilter (n=8) vergeleken met lokalen met een verbeterd filter (n=5).

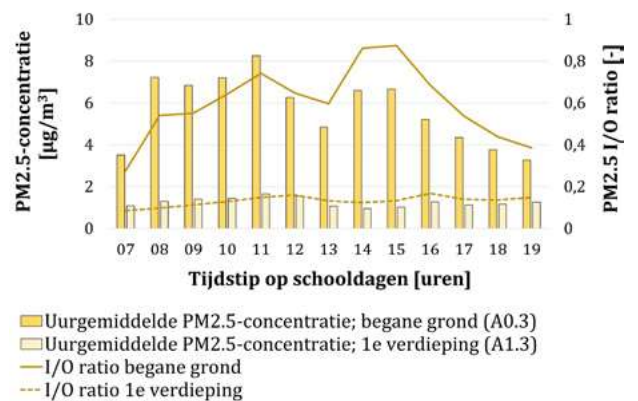
gemiddelde I/O-ratio's van alle metingen was 0,27 in de situatie met een verbeterd filter, wat aanzienlijk lager is (p=0,026) dan bij een standaardfilter (0,38). Met een verbeterd filter lagen de gemiddelden van alle metingen tussen de 0,24 en 0,30. Bij een standaard filter tussen de 0,27 en 0,82.



Figuur 2: Boxplot van de gemiddelde I/O-ratio van ultrafijnstof. Hierin worden de lokalen met een standaardfilter (n=8) vergeleken met lokalen met een verbeterd filter (n=5).



Figuur 3: Duurmetingen in een lokaal met een standaardfilter (ePM<sub>2,5</sub> 70%) in vergelijking met een lokaal met een verbeterd filter (ePM1 85%).



Figuur 4: Duurmetingen in lokalen met een verbeterd filter (ePM1 85%) op de begane grond en eerste verdieping.

De mediane I/O-ratio's van de concentratie van de ultrafijne deeltjes waren vergelijkbaar voor het standaard filter en het verbeterd filter (0,28 versus 0,26) (figuur 2). De range van de I/O-ratio is groter voor het standaardfilter; de P75 voor het standaardfilter is 0,55, terwijl het 0,28 was voor het verbeterde filter. Het verschil is niet significant ( $p=0,104$ ).

De duurmetingen lieten een duidelijk verschil zien tussen zowel de fijnstofconcentraties en de I/O-ratio in de klaslokalen in het gebouw met het standaardfilter en het gebouw met het verbeterde filter (figuur 3). Opvallend is dat we ook verschillen vonden tussen klaslokalen binnen hetzelfde gebouw (figuur 4). Deze verschillen waren zichtbaar tussen de lokalen op de begane grond (hogere concentraties) en de verdiepingen (lagere concentraties).

### Interventie II: Mobiel HEPA-filter

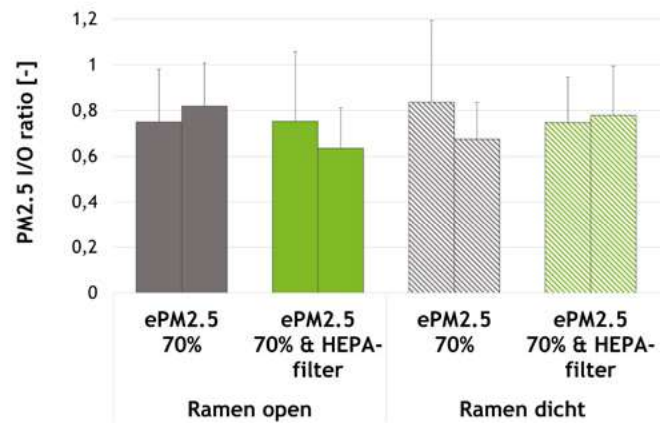
De gemiddelde I/O-ratio's waren 0,75 en 0,82 zonder HEPA-filter en 0,63 en 0,75 met HEPA-filter tijdens de momentane metingen in de ruimte in een situatie met open ramen (figuur 5). Het verschil was niet significant ( $p=0,158$ ). Bij gesloten ramen waren de gemiddelde I/O-ratio's 0,67 en 0,84 zonder HEPA-filter en 0,75 en 0,78 met HEPA-filter in de ruimte (figuur 5). De verschillen tussen de metingen in dezelfde situatie zijn echter vergelijkbaar met de verschillen tussen de situatie met en zonder HEPA-filter. De metingen van ultrafijnstof (figuur 6) laten een vergelijkbare trend zien. Ook in de duurmetingen zijn er tijdens schooltijd geen verschillen te zien tussen twee aangrenzende lokalen met en zonder HEPA-filter (figuur 7). Het valt wel op dat de  $PM_{2,5}$ -concentraties 's nachts (als het ventilatiesysteem is uitgeschakeld en het lokaal niet in gebruik is) lager zijn in de lokalen met een HEPA-filter.

### Interventie III: Verbeterd filter in LBK en mobiel HEPA-filter

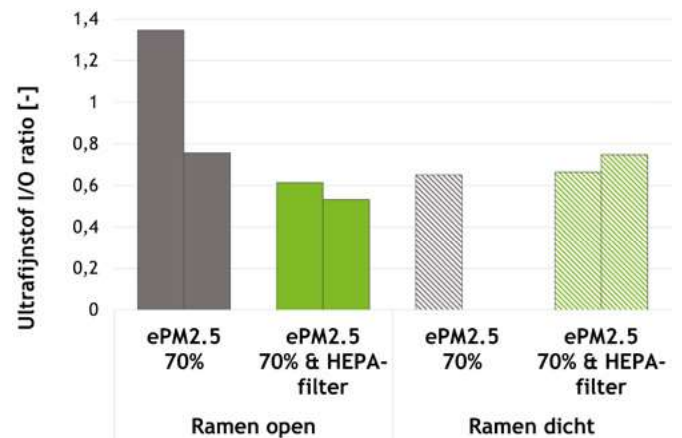
Met alleen een verbeterd ePM1 80%-filter in de LBK lagen de gemiddelde I/O-ratio's tussen 0,30 en 0,33. Als het lokaal ook was voorzien van een HEPA-filter was dit tussen 0,32 en 0,37. Beide in een situatie met de ramen open (figuur 8). De combinatie van een verbeterd filter en een HEPA-filter leidde niet tot een verlaging van de fijnstofconcentratie in vergelijking met de situatie met alleen een verbeterd filter.

Ook als het gaat om ultrafijnstof zien we geen duidelijke verbetering van de situatie bij de toepassing van een HEPA-filter als er al een verbeterd filter in de LBK aanwezig is (figuur 9).

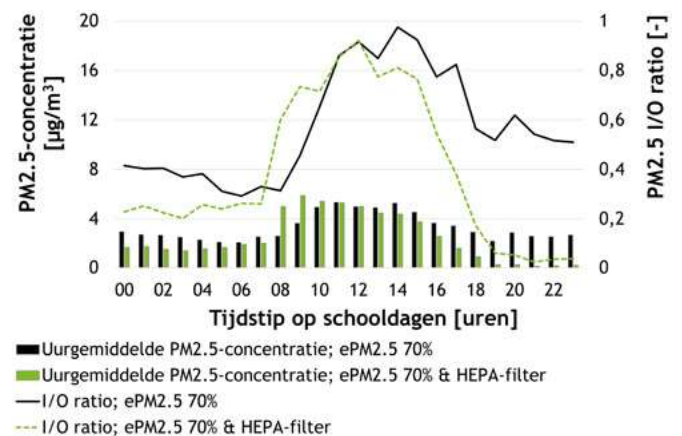
Het gecombineerde effect van de verbeterde filters en het HEPA-filter is ook aan de hand van de duurmetingen nader onderzocht. De uurgemiddelde concentratie gedurende de dag in het gebouw met het verbeterde filter in de LBK is vergelijkbaar in de situatie met en zonder mobiel HEPA-filter (figuur 10). In tegenstelling tot de situatie waarin het HEPA-filter werd gecombineerd met een standaardfilter (figuur 7), werden 's avonds of 's nachts geen lagere  $PM_{2,5}$ -concentraties waargenomen.



Figuur 5: Staafdiagram van de I/O-ratio van  $PM_{2,5}$  (gemiddelde en standaarddeviatie) voor de interventie met een mobiel HEPA-filter.



Figuur 6: Staafdiagram van de I/O-ratio van de ultrafijnstofconcentratie (gemiddelde) voor de interventie met een mobiel HEPA-filter.



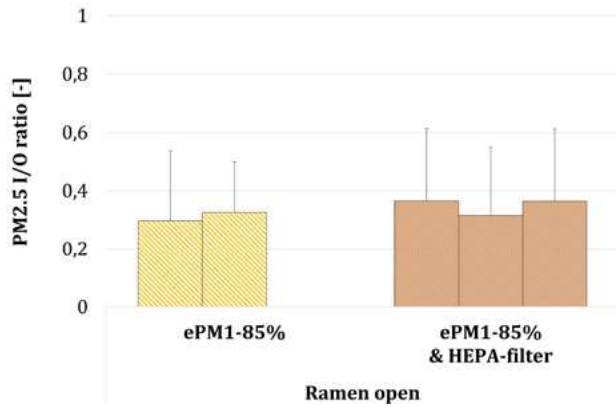
Figuur 7: Duurmetingen in een lokaal met alleen een standaardfilter in vergelijking met een lokaal met zowel een standaard filter als een HEPA-filter.



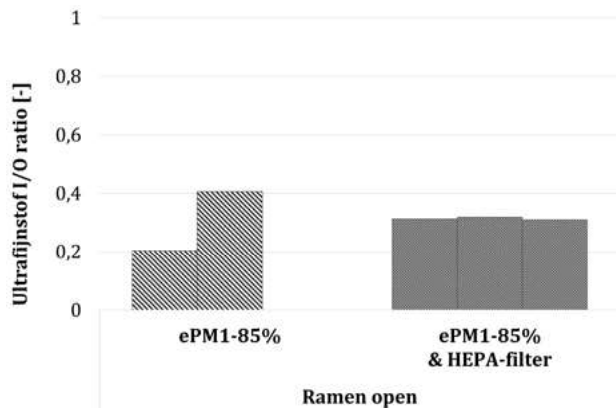
Discussie

**Methode**

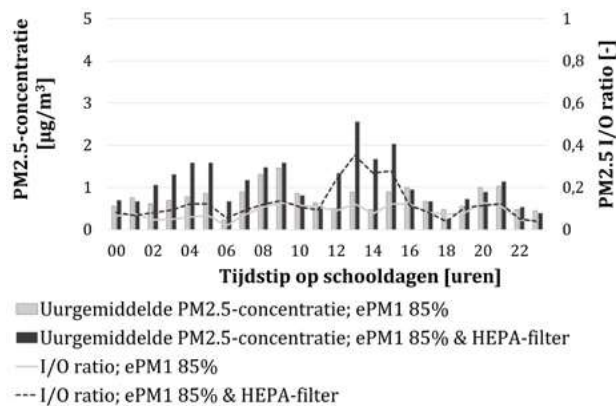
Dit onderzoek is uitgevoerd in een praktijksituatie in een school. Daarbij hadden we te maken met verschillende versturende



**Figuur 8:** Staafdiagram van de I/O-ratio van PM<sub>2,5</sub> (gemiddelde en standaarddeviatie) voor de interventie met een verbeterd filter in LBK én mobiel HEPA-filter.



**Figuur 9:** Staafdiagram van de I/O-ratio van de ultrafijnstofconcentratie (gemiddelde) voor de interventie met een verbeterd filter in LBK én mobiel HEPA-filter.



**Figuur 10:** Duurmetingen in een lokaal met alleen een verbeterd filter in vergelijking met een lokaal met een verbeterd filter én een HEPA-filter.

factoren. Denk aan veranderende buitenomstandigheden, zoals fijnstofconcentraties in de buitenlucht, windsnelheid en windrichting. Hierop hebben we de frequentie van de metingen buiten verhoogd om de betrouwbaarheid van de resultaten te vergroten. Daarnaast bleek het bereik van de beschikbaar gestelde sensoren voor de duurmetingen te groot. De sensoren zijn vervangen, maar de eerste duurmetingen waren onbruikbaar voor dit onderzoek. In een praktijksituatie is het door versturende factoren altijd lastiger om de effectiviteit van maatregelen statistisch te bewijzen. Vooral wanneer de impact van de interventie klein is, zijn effecten niet duidelijk zichtbaar en veel observaties nodig. Ondanks de beperkte omvang van het onderzoek hebben we waargenomen dat interventies tot een significante verbetering van de situatie leidden.

**Interventie I: Verbeterd filter in de centrale LBK**

De meetgegevens tonen een duidelijk gunstigere I/O-ratio in het gebouw waar het verbeterde filter (ePM1 85%) in de LBK is geplaatst ten opzichte van het gebouw met het standaardfilter (ePM<sub>2,5</sub> 70%). Dit komt overeen met de verwachtingen: het verbeterde filter moet de concentratie fijnstof PM1 in de aanzuiglucht met 85% verlagen, terwijl het standaardfilter voor PM<sub>2,5</sub> een efficiëntie heeft van 70%.

Hoewel de algemene bevindingen duidelijk zijn, vonden we opmerkelijke verschillen tussen lokalen binnen hetzelfde gebouw, zoals te zien is in figuur 1. De I/O-ratio in de lokalen op de begane grond (I/O-ratio gemiddeld 0,45) bleek veel hoger dan op de 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> verdieping (I/O-ratio gemiddeld 0,20). Dit is tot op zekere hoogte te verwachten: van verkeersgerelateerde deeltjes is bekend dat ze zich laag bij de grond verspreiden. Hierdoor is de buitenlucht op de begane grond meer vervuild dan op de eerste verdieping. Het verschil kan echter ook worden verklaard door de verschillende instellingen van vraaggestuurde ventilatie in combinatie met het openen van ramen. Alle ruimten zijn voorzien van vraaggestuurde ventilatie op basis van de CO<sub>2</sub>-concentratie. Bij het uitvoeren van de metingen merkten we dat de ramen vaak open stonden, vooral in de lokalen op de begane grond. Dit zorgt ervoor dat het ventilatiesysteem in deze lokalen mogelijk niet of nauwelijks werd ingeschakeld, omdat er al voldoende luchtuitwisseling plaatsvond via de geopende ramen (natuurlijke ventilatie). Daardoor komt in deze ruimten regelmatig ongefilterde lucht binnen, wat leidt tot hogere I/O-ratio's. Bovendien waren in sommige ruimten op de eerste verdieping de instellingen van het ventilatiesysteem overruled en werd er continu lucht aangevoerd met een vast (maximaal) debiet. Deze lokalen krijgen daardoor continu gefilterde lucht ingeblazen, of de ramen nu open zijn of niet. Vanwege de aanwezige koeling op de tweede verdieping is daar het gebruik van te openen ramen voor verkoeling minder nodig.

Om meer inzicht te krijgen in het effect van vraaggestuurde ventilatie is het ventilatiesysteem enkele weken overruled naar een vast debiet en zijn de resultaten van duurmetingen in de periode met en zonder vraaggestuurde ventilatie vergeleken. Uit de resultaten van deze metingen (tabel 2) blijkt dat de I/O-ratio's van de PM<sub>2,5</sub>-concentratie in de ruimten

	Periode 1 (1- 20 sept) Vraagsturing	Periode 2 (22 sept - 4 okt) Overruled	Vershil Periode 1 - periode 2
Begane grond A0.1	0,62 ± 0,17	0,08 ± 0,04	0,54
Begane grond A0.2	0,60 ± 0,16	0,07 ± 0,04	0,52
Begane grond A0.3	0,65 ± 0,22	0,26 ± 0,15	0,39
1 <sup>e</sup> verdieping A1.1	0,19 ± 0,04	0,06 ± 0,03	0,13
1 <sup>e</sup> verdieping A1.3*	0,13 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,09
1 <sup>e</sup> verdieping A1.5	0,14 ± 0,05	0,03 ± 0,02	0,12
2 <sup>e</sup> verdieping A2.1	0,24 ± 0,06	0,09 ± 0,03	0,15
2 <sup>e</sup> verdieping A2.3	0,22 ± 0,07	0,05 ± 0,02	0,17

\* vraagsturing was continu overruled

Tabel 2: Statistieken (gemiddelde ± stdev) van de I/O-ratio's (7-19 uur) voor de meetperiode met en zonder vraaggestuurde ventilatie.

op de begane grond significant lager zijn (gemiddelde  $\Delta=0,48$ ) als het ventilatiesysteem continu is ingeschakeld (vraagsturing overruled) ten opzichte van de situatie met vraaggestuurde ventilatie. Ook in de andere lokalen was een kleine verbetering zichtbaar.

Verder onderzoek is nodig om meer te weten te komen over het effect van te openen ramen op fijnstofconcentratie in gebouwen voorzien van vraaggestuurde ventilatie.

### Interventie II: Mobiel HEPA-filter

Het HEPA-filter heeft een hoger rendement dan het in de LBK toegepaste ePM1 80%-filter. Daarnaast kan een lokaal filter, in tegenstelling tot een filter in de centrale LBK, deeltjes die via open ramen de ruimte binnenkomen afvangen. In scholen is het openen van ramen erg belangrijk voor passieve koeling. Daarom is het in potentie een effectievere oplossing dan de installatie van betere filters in de LBK. We zagen echter dat de relatieve bijdrage van het lokale HEPA-filter te klein was om een duidelijke vermindering van fijnstof te realiseren.

Metingen in de buurt van de uitblaas van het filter toonden aan dat het HEPA-filter weldegelijk effectief was. De gemeten waarden van (ultra)fijnstof bij de uitblaas zijn beduidend lager dan de gemiddelde concentraties in de ruimte. De beperkte effectiviteit van het HEPA-filter kan worden verklaard door het debiet van de unit. Op het gebruikte stand wordt 127 m<sup>3</sup> lucht per uur gefilterd (circulatievoud van circa 0,9). Het mechanische ventilatiesysteem levert daarentegen ongeveer 950 m<sup>3</sup> gefilterde lucht per uur (ventilatievoud van ca. 6,8). Dit betekent dat de filtratie via het HEPA-filter ruim een factor 7 lager is dan die van het ventilatiesysteem. De filterunit heeft een hoger debiet nodig om effectief te worden in een klaslokaal. Een hoog geluidsniveau is echter tijdens de lessen onacceptabel.

### Referenties

1. Atlas Leefomgeving, Fijnstof. Geraadpleegd op 14 januari 2024 van <https://www.atlasleefomgeving.nl/thema/schone-lucht/fijnstof>.
2. Chen C., & Zhao B. Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. Atmospheric environment. 2011;45(2), 275-288.

### Interventie III: Verbeterd filter in LBK en mobiel HEPA-filter

We verwachtten dat het HEPA-filter de blootstelling aan (ultra)fijnstof bij het openen van ramen verder zou kunnen verminderen. We zagen echter geen effect van de aanwezigheid van het HEPA-filter in combinatie met verbeterde filters in de LBK.

### Conclusie

Toepassing van een verbeterd filter in de luchtbehandelingskast blijkt een effectieve maatregel om in scholen de blootstelling aan fijnstof afkomstig van buiten te verminderen. In het gebouw met een verbeterd filter (ePM1 85%) waren de I/O-verhoudingen aanzienlijk lager in vergelijking met het gebouw waar het standaardfilter (ePM<sub>2,5</sub> 70%) werd gebruikt.

Lokale luchtreiniging door een HEPA-filter bleek in de door ons onderzochte testopstelling niet effectief. Het HEPA-filter verwijdert wel verontreinigingen uit de lucht, maar aangezien het ventilatie-debiet in klaslokalen ongeveer 7 keer hoger is dan het circulatie-debiet van het HEPA-filter, was het dweilen met de kraan open. Bij een hoger debiet werd het geluidsniveau van de toegepaste filterunit kritisch.

Onze onderzoeksresultaten laten zien dat de fijnstofconcentratie op scholen aanzienlijk kan worden verlaagd met behulp van adequate filters. Realiseer echter dat ook andere stoffen in de buitenlucht op belaste locaties, zoals het gasvormige stikstof-(di)oxide en zwaveldioxide, een negatieve invloed hebben op de binnenluchtkwaliteit. Maatregelen om de blootstelling aan deze stoffen te beperken zijn in dit onderzoek niet in kaart gebracht. Bovendien worden kinderen ook blootgesteld als ze buiten spelen. Voorkomen dat (nieuwe) scholen op plaatsen met een slechte buitenluchtkwaliteit worden gebouwd is daarom de beste maatregel om de blootstelling aan verontreinigingen van verkeer of industrie te verminderen.

### Dankwoord

Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door TVVL en VCCN. De interventies werden gesponsord door Camfil. Siemens installeerde sensoren in de school voor continue monitoring van de PM<sub>2,5</sub>-concentratie.

3. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. WHO. 2021
4. Gezondheidsraad. Gezondheidseffecten luchtverontreiniging. Gezondheidsraad. 2018.
5. World Health Organization. Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. WHO. 2013.
6. García-Hernández C., Ferrero A., Estarlich M., Ballester F. Exposure to ultrafine particles in children until 18 years of age: a systematic review. Indoor air. 2020;30(1):7-23.