

TNO-rapport**TNO 2012 R10195****Reductie van de fijn- en ultrafijnstof
concentratie in een kinderdagverblijf****Technical Sciences**Van Mourik Broekmanweg 6
2628 XE Delft
Postbus 49
2600 AA Delftwww.tno.nlT +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10
infodesk@tno.nl

Datum 25 juni 2012

Auteur(s) ir. P. Jacobs
ir. M.H. Voogt
dr. ir V.A. Vons (Virus Free Air B.V.)

Exemplaarnummer TNO-060-DTM-2012-01945

Oplage

Aantal pagina's 54 (incl. bijlagen)

Aantal bijlagen

Opdrachtgever

Projectnaam TC frisse kinderdagverblijven

Projectnummer 052.01984

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2012 TNO

Samenvatting

Ventileren is belangrijk. Kinderen brengen een aanzienlijk deel van hun tijd binnenshuis door, en een flink deel daarvan in een kinderdagverblijf. Zomaar buitenlucht naar binnen blazen of een raam open zetten om te ventileren kan echter in veel gevallen ook negatieve gevolgen hebben, aangezien met de ventilatielucht ook fijn stof naar binnen komt. Met name de zeer kleine deeltjes (ultrafijn stof $< 0,1 \mu\text{m}$), in stedelijke omgeving vooral afkomstig van (diesel)verkeer, zijn schadelijk. Recent heeft de World Health Organisation aangegeven dat dieseluitletgasen bij mensen kanker veroorzaken [37]. Dit is geen reden om niet te ventileren, maar wel om de lucht te zuiveren. Dit kan op twee manieren: reinigingen van de toevoerlucht of reinigen van gerecirculeerde binnenlucht. Door het ontbreken van interne bronnen van ultrafijn stof in kinderdagverblijven en door het hoge ventilatievoud ligt het voor de hand om de toevoerlucht te reinigen.

Om te onderzoeken in welke mate het in de praktijk van een kinderdagverblijf mogelijk is om de luchtkwaliteit te verbeteren is in het kader van het Technologiecluster "Frisse kinderdagverblijven" een innovatief lage druk fijn stof filter (VFA Aspra XS) in een kinderdagverblijf in Delft beproefd. De drukval van het filter bedroeg 30 Pa, wat ten opzichte van conventionele F9 filters (250 Pa) en HEPA filters (500 Pa) zeer laag is. Dit is niet alleen gunstig voor het energiegebruik, maar maakt het ook mogelijk om een decentrale luchttoevoer te realiseren, wat vaak in bestaande situaties een voordeel is. Een week na de plaatsing van het filter in de luchttoevoer van één van de slaapkamers zijn gedurende een dag deeltjes aantallen ultrafijn stof gemeten. Vervolgens is gedurende twee weken het effect van het Aspra XS filter op diverse fijn stof fracties numeriek bepaald, onderstaande tabel geeft de vermindering van blootstelling aan fijn stof voor de slaapkamer weer.

Reductie [%]	$< 0,1 \mu\text{m}$	PM1	PM2,5 - PM1
t.o.v. buiten	85	77	77
t.o.v. referentie kamer	80	66	68

De fracties PM2,5, PM1 en $< 0,1 \mu\text{m}$ (ultrafijn) worden vooral door de buitenconcentratie bepaald. Aanwezigheid van kinderen of andere interne bronnen zijn hierbij geen dominante bron. Dit geldt niet voor het grove stof (TSP – PM2,5), de binnenconcentratie hiervan kan een factor 10 tot 50 hoger zijn dan de buitenconcentratie.

Tijdens de praktijkmeting zijn de randvoorwaarden zoals het aantal kinderen, eventueel openstaande ramen en deuren via een logboek bijgehouden. Het aantal kinderen in de slaap- en speelkamer waar het filter is geïnstalleerd was duidelijk groter dan in de referentiekamers. Hierdoor zijn de gerapporteerde reducties ten opzichte van de referentiekamer m.b.t. PM1, PM2.5 en TSP aan de conservatieve kant. Aanvullend op het logboek is een online sensor netwerk (MakeMoreSense) gebruikt om het binnenklimaat te bewaken. Hiermee is ook de werking van een online fijn stof meter getest.

De fijn stof reductie in onderhavige studie is beduidend hoger dan de reductie in de range van 11% – 30% die de GGD Amsterdam in een eerdere studie [30] heeft gevonden waarbij ventilatiesystemen werden getest met F7 – F9 filters. Naast het filterrendement kan ook infiltratie hierbij een rol spelen. Dat infiltratie een belangrijke rol speelt wordt geïllustreerd omdat in het onderhavige onderzoek gedurende enkele uren de buitendeur in de speelkamer open heeft gestaan. De concentratie PM_{2,5} in de speelkamer, die eerst slechts 23% van de buitenconcentratie bedroeg, nam hierdoor toe tot 80% van de buitenconcentratie. Wat fijn stof betreft werd er dus in feite niet echt frisse lucht binnengehaald door het luchten met een open buitendeur.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
1.1	Fijn stof	5
1.2	Fijn stof en kinderen	6
1.3	Dit onderzoek.....	7
2	Meetopzet	8
2.1	Plaatsen en afstellen van ventilator-luchtreiniger	8
2.2	Ultrafijnstofmetingen	10
2.3	Duurmeting (2 weken)	11
3	Resultaten ultrafijnstofmetingen	14
4	Duurmeting	17
4.1	Aanwezigheid en CO ₂	17
4.2	TSP-PM _{2,5}	19
4.3	PM _{2,5} en PM ₁	21
4.4	Effect van infiltratie	24
4.5	Effect stand-alone	27
4.6	Borging binnenklimaat met sensornetwerk	28
5	Conclusies.....	30
6	Referenties	32
	Appendix 1: Deelnemers beschrijving	36
	Appendix 2: Luchtreiniger - ventilator in het lab	37
	Appendix 3: Plattegrond van het kinderdagverblijf.....	39
	Appendix 4: Vergelijking tussen de verschillende ultrafijnstofmeters	40
	Appendix 5: Deeltjesgrootten	43
	Appendix 6: Logboeken	44
	Appendix 7: Infiltratiecoëfficiënten TSP en PM₁₀.....	49
	Appendix 8: MakeMoreSense Dylos fijn stof meter	50
7	Ondertekening	54

1 Inleiding

Frisse lucht is belangrijk. Kinderen brengen een aanzienlijk deel van hun tijd binnenshuis door, en een flink deel daarvan in een kinderdagverblijf. Er zijn aanwijzingen dat de kwaliteit van de lucht binnenshuis invloed heeft op het ontstaan van op luchtwegklachten bij kinderen. Astma is de meest voorkomende chronische aandoening bij kinderen: 5-7% van de schoolkinderen heeft symptomen van astma en 10% van de zuigelingen piept wel eens [1]. Ventilatie wordt in nationale en internationale richtlijnen benoemd als preventieve maatregel om luchtwegklachten te verminderen. Professionals in de gezondheidszorg (jeugdgezondheidszorg, astmaverpleegkundigen) adviseren ventilatie om klachten te verminderen. Ventilatie wordt tevens in verband gebracht met toegenomen algemeen welbevinden en een verminderd risico op wiegendood.

Zomaar buitenlucht naar binnen blazen om te ventileren kan echter in veel gevallen ook negatieve gevolgen hebben, aangezien met de ventilatielucht ook fijn stof naar binnen geblazen wordt. Inderdaad is in de VS gebleken dat in huizen waarin minder geventileerd werd (door het gebruik van een airconditioning installatie) mensen minder blootgesteld worden aan fijn stof en er bij deze mensen vervolgens minder COPD, hartklachten en longontsteking optrad [2].

1.1 Fijn stof

Al langere tijd is bekend dat hoge concentraties fijn stof schadelijk voor de gezondheid zijn. Epidemiologische studies geven inzicht in verbanden tussen blootstelling aan fijn stof en effecten op korte en langere termijn. Enkele dagen na een verhoging in de fijnstofconcentratie worden meer mensen met hart- en vaatziekten, COPD en longontsteking opgenomen in ziekenhuizen [2] en sterven er meer mensen [3]. Over een termijn van vele jaren leidt blootstelling aan fijn stof in de gehele populatie tot verhoogde kans op vroegtijdig overlijden door hart- en longziekten in het algemeen en longkanker in het bijzonder [4-7]. Naar schatting leidt de langdurige blootstelling aan fijn stof in Nederland tot een gemiddelde levensduurverkorting van ongeveer 1 jaar [8]. Ook komen uit deze epidemiologische studies aanwijzingen naar voren dat met name deeltjes die afkomstig zijn van verbrandingsprocessen, zoals van het wegverkeer, schadelijk voor de gezondheid zijn [2-3, 9-11]. Recent heeft de World Health Organisation aangegeven dat dieseluitlaatgassen bij mensen kanker veroorzaken [37].

Fijn stof is een zeer complex mengsel van stofdeeltjes van verschillende bronnen [12]. Normaal worden deze ingedeeld naar de diameter van de deeltjes; de twee bekendste categorieën zijn PM₁₀ en PM_{2,5}. PM₁₀ zijn alle deeltjes een diameter kleiner dan 10 micrometer, PM_{2,5} alle deeltjes met een doorsnede kleiner dan 2,5 micrometer. Het gevolg van deze definities is dan ook dat PM₁₀ gelijk is aan PM_{2,5} plus alle deeltjes met een grootte tussen 2,5 en 10 micrometer. De concentratie van deze deeltjes wordt in massa per volume lucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) gegeven. Tevens is er het ultrafijn stof, deeltjes < 0.1 micrometer; de concentratie ervan wordt uitgedrukt in aantal deeltjes per cm^3 lucht. Een alternatieve maat is de massa van de zwarte deeltjes (roet of elementair koolstof), welke in de buitenlucht in de orde van 1-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ is.

De reden dat deeltjes naar aerodynamische grootte ingedeeld worden is dat de transporteigenschappen en depositie mechanismen, de herkomst en chemische samenstelling, maar ook de diepte tot waarin de deeltjes doordringen tot in de longen aan de grootte gerelateerd zijn. Grof gesproken zijn deeltjes groter dan 2,5 micrometer (dus PM₁₀-PM_{2,5}) veelal afkomstig van mechanische processen, zoals slijtage, grondbewerking, constructiewerkzaamheden, stof uit de Saharawoestijn of van zee (zeezout aerosol). Beneden de 2,5 micrometer (dus PM_{2,5}) zijn de deeltjes voornamelijk afkomstig van verbrandingsprocessen, zowel direct (elementair koolstof, roet) als indirect, door reactie en condensatie van gasvormige componenten die bij verbrandingsprocessen vrijkomen, zoals SO₂, NO_x en vluchtige koolwaterstoffen [12,13]. Met name ultrafijn stof (<0.1 micrometer) is voor het overgrote deel van verbrandingsprocessen afkomstig [8,14].

Hoe kleiner de deeltjes, des te dieper ze in de longen doordringen. Daarom wordt met name het ultrafijne stof gevaarlijk geacht [15]. Het zijn deze kleine deeltjes die het diepst in longen doordringen en aldaar schade aan kunnen richten of zelfs in de bloedbaan kunnen doordringen. Deeltjes in deze grootte bestaan in een stedelijke omgeving voor een zeer groot deel uit elementair koolstof en organische verbindingen, afkomstig van wegverkeer [16]. Er zijn veelal kankerverwekkende koolwaterstoffen (gevormd in het verbrandingsproces) en kleine hoeveelheden (zware) metalen aan het oppervlak van dergelijke deeltjes gebonden. Zware metalen en bepaalde koolwaterstoffen fungeren als katalysator voor de vorming van reactieve zuurstofverbindingen (Reactive oxygen species, ROS), zoals het superoxide-anionenradicaal (O₂^{-•}), waterstofperoxide (H₂O₂) en het hydroxylradicaal (OH⁻). Deze gaan reacties aan met proteïnen, radicalen en DNA en resulteren aldus in celschade en ontstekingsreacties. Het vermoeden is dat fijnstofdeeltjes met name via deze route schade toebrengen [17, 18] en tot hart- en vaatziekten, COPD, longkanker, astma etc. leiden.

1.2 Fijn stof en kinderen

Bovenstaande epidemiologische resultaten gelden voor de duur van een heel leven. Wat is echter het directe effect van fijn stof op kinderen?

Er zijn aanwijzingen voor effecten op de groei van ongeboren kinderen via blootstelling van de moeder tijdens de zwangerschap [19-20]. Resultaten in verschillende studies zijn echter niet altijd eenduidig. Direct na de geboorte speelt fijn stof al een rol. In een aantal studies [17, 21] werden associaties gevonden tussen fijnstofconcentraties en sterfte door Sudden Infant Death Syndrome (wiegendood) en als gevolg van luchtwegproblemen tussen 2 maanden en 1 jaar. Studies waarbij, veelal over meerdere jaren, de groei van de longcapaciteit van kinderen gemeten wordt, tonen aan dat deze merkbaar lager is voor kinderen die aan hogere stofconcentraties blootgesteld zijn [22-26]. Tevens is er een verhoogde kans dat een kind bronchitis of allergieën zoals hooikoorts ontwikkeld door blootstelling aan fijn stof [10,11]. Dat het verlagen van de deeltjesconcentratie zin heeft blijkt wel uit het feit dat een reductie in het totaal aantal deeltjes in de lucht in Oost-Duitsland tussen 1993 en 1995¹ duidelijk geassocieerd kon worden met een significante reductie in bronchitis, middenoorontsteking en zelfs verkoudheden [27].

¹ Na de val van de muur zijn oude fabrieken gesloten en is veel huisverwarming van bruinkool naar aardgas overgeschakeld, hetgeen in een daling van de fijnstofconcentratie resulteerde.

De meeste van de bovenstaande studies betreffen kinderen tussen de 8-18 jaar. Dit heeft onder andere te maken met het feit dat gedurende de studies vaak de capaciteit van de longen gemeten wordt door middel van spirometrie; bij kinderen jonger dan een jaar of 6 werkt deze methode niet omdat ze moeite hebben met het volgen van de instructies. Juist bij kinderen onder de 8 jaar vindt echter de meeste ontwikkeling van de longen plaats. De longen zijn immers bij de geboorte nog niet volledig gevormd. Van de geboorte tot een leeftijd van 4 jaar vertienvoudigt het aantal longblaasjes zich, van 24 miljoen tot 257 miljoen [28]. Ook is het longepitheel (de binnenbekleding van de longen) nog niet volledig gevormd en derhalve meer permeabel, deze kinderen ademen meer en hebben meer longoppervlak per kilogram lichaamsgewicht dan volwassenen, en hun immuunsysteem is nog sterk in ontwikkeling [20]. Het is dus mogelijk dat bij kinderen onder de 8 jaar oud de gevolgen van blootstelling aan fijn stof op de groei van de longcapaciteit en de ontwikkeling van allergieën nog groter zijn dan bij oudere kinderen.

1.3 Dit onderzoek

Fijn stof is echter geen reden om niet te ventileren, zeker gezien de eerder genoemde voordelen van goede ventilatie. Het is echter wel een reden om de inlaatlucht niet zomaar naar binnen te leiden, maar dit eerst te zuiveren. Alhoewel prestaties van luchtreinigers in het laboratorium vaak zeer bemoedigend zijn, zijn de prestaties in de praktijk vaak veel minder. Dit komt bijvoorbeeld door luchthoeveelheden die door slecht ontwerp of onvoldoende onderhoud afwijken van het laboratorium, de aanwezigheid van mensen als bron van stof en door infiltratie van lucht via andere openingen.

Luchtreiniging kan in principe op twee manieren worden toegepast: reiniging van de toevoerlucht of reiniging op basis van filtering van gerecirculeerde binnenlucht. Kinderdagverblijven, maar ook scholen worden gekenmerkt door een hoge personenbezetting. Hierdoor zijn relatief hoge ventilatievouden noodzakelijk. Daarnaast zijn interne bronnen van fijn stof ten gevolge van verbrandingsprocessen zoals koken gering. Om deze reden ligt het voor de hand om luchtreiniging op de toevoerlucht toe te passen.

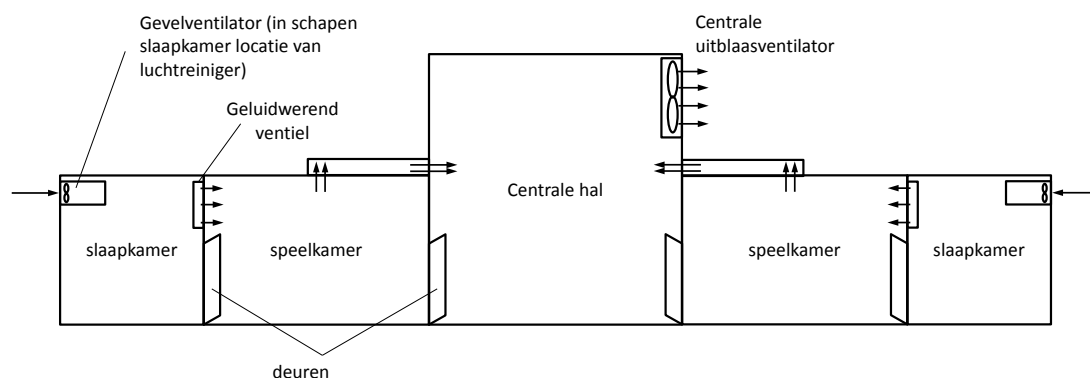
Om te onderzoeken of het in de praktijk van het kinderdagverblijf daadwerkelijk mogelijk is ervoor te zorgen dat de lucht minder fijn stof bevat, is in het kader van het Technologie cluster "Frisse kinderdagverblijven" een innovatief fijn stoffilter in de luchttoevoer van een kinderdagverblijf in Delft geplaatst. Een overzicht van alle deelnemers staat vermeld in Appendix 1. Een week na de installatie van het filter zijn metingen aan ultrafijn stof (<0.1 micrometer) verricht. Vervolgens is gedurende twee weken het effect van het filter op de fijn stof (PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ en TSP) concentratie gemeten. Tijdens de metingen zijn de randvoorwaarden zoals het aantal aanwezige personen, eventueel openstaande ramen en deuren en andere bijzonderheden door het personeel van het kinderdagverblijf door middel van een logboek bijgehouden.

2 Meetopzet

Een variant van de Aspra XS luchtreiniger van de firma Virus Free Air B.V. is geschikt gemaakt voor gebruik in combinatie met de door Industrie- en handelmaatschappij Bergschenhoek B.V. ontwikkelde ventilator die in hybride ventilatiesystemen wordt toegepast. De Aspra luchtreiniger verbetert door middel van ionisatie het rendement van een zeer open electret filter. Door middel van hoogspanning worden in een buis ionen genereerd, welke zich aan stofdeeltjes hechten. De lucht passeert vervolgens een speciaal zeer open filter, waarin de deeltjes door de aangebrachte lading sneller neerslaan. Doordat het filter zeer open is resulteert het in een zeer lage drukval, hetgeen ervoor zorgt dat stille, zuinige ventilatoren gebruikt kunnen worden. De combinatie Aspra luchtreiniger – hybride ventilator is eerst in het laboratorium getest, zie appendix 2. Vervolgens zijn gedurende twee weken van vrijdag 11 november 2011 tot en met vrijdag 25 november 2011 fijn stof metingen uitgevoerd. Op de eerste meet dag zijn detail metingen uitgevoerd gericht op ultra fijn stof bepaling.

2.1 Plaatsen en afstellen van ventilator-luchtreiniger

Om de praktijkprestaties van het luchtfilter te meten is de combinatie ventilator-luchtreiniger in het kinderdagverblijf geplaatst. Dit kinderdagverblijf is uitgerust met een ventilatiesysteem waarbij in de slaapkamers verse lucht van buiten ingeblazen wordt door een ventilator in de gevel. Deze lucht stroomt vervolgens van de slaapkamers over naar de speelkamers via een geluidwerend rooster. Vandaar stroomt het vervolgens naar de centrale hal van het verblijf, waar de lucht die via alle slaapkamers ingevoerd wordt samenkomt en centraal naar buiten afgevoerd wordt door één grotere ventilator. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 1. Een plattegrond van het gehele kinderdagverblijf is gegeven in appendix 3. De verschillende ventilatoren worden d.m.v. een centraal regelsysteem aangestuurd. De uitvoering en werking van het ventilatiesysteem is in meer detail beschreven in [29, 30].



Figuur 1 Schematische weergave van de luchtstromen in het kinderdagverblijf. In totaal komt de lucht van 10 slaapkamerventilatoren samen in de centrale hal.

De combinatie ventilator-luchtreiniger is aan de binnenkant van de gevel geplaatst, ter vervanging van één van de bestaande gevelventilatoren, in de slaapkamer van de zgn. Schapen groep. Figuur 2 is een foto genomen tijdens de installatie van de

combinatie ventilator-luchtreiniger, boven het systeemplafond. Op dezelfde gevel bevindt zich ook de ventilator van een andere slaapkamer, die van de Dolfijnen groep, waar geen luchtreiniger geplaatst wordt. Om een eerlijke vergelijking te kunnen maken tussen een ruimte mét en een ruimte zónder luchtzuiveraar moet de luchtkwaliteit die in beide ruimten ingeblazen wordt zoveel mogelijk hetzelfde zijn. De dolfijnen- en de schapengroep zijn dan ook geselecteerd omdat de gevelventilatoren van beiden op dezelfde gevel geplaatst zijn. Hierdoor is de invloed van wind en verkeer op de deeltjesconcentratie in beide groepen zoveel mogelijk hetzelfde.

Via het regelsysteem zijn beide ventilatoren met behulp van een Acin Flowfinder zo afgesteld dat er overdag 35 L/s ($126 \text{ m}^3/\text{hr}$) ingeblazen wordt. Het ventilatievoud in de speel- en slaapkamer bedraagt hiermee respectievelijk 1,3 en 5 ACH. Alle boven de ramen aanwezige ventilatiesleuven werden gesloten. Van 18 uur 's avonds tot 7 uur 's ochtends staat de ventilatie uit. De ionisatie van de luchtreiniger is door middel van een tijd klok zo afgesteld dat deze gelijk met de ventilator aan gaat; helaas ging door een miscommunicatie de 1^e week van de metingen de ionisatie pas om 8 uur aan, de 2^e week is dit hersteld. Dit is met behulp van de online deeltjes metingen geconstateerd, zie paragraaf 4.6,

Het kinderdagverblijf bevindt zich aan de Buitenhofdreef, een redelijk grote straat in Delft, met trambaan. Alhoewel op deze straat weinig doorgaand verkeer is te verwachten, is het wel de belangrijkste weg in en uit de wijk Buitenhof, een grote wijk met 10 buurten waarin onder andere ook het Reinier de Graaff Ziekenhuis gevestigd is [31]. Gedurende de metingen werden werkzaamheden verricht aan de trambaan voor het kinderdagverblijf. Hierdoor reden er geen trams (die veel stof kunnen genereren), maar wel werden er door onderhoudswagens (Figuur 2) en een railslijpwagen waarschijnlijk veel deeltjes uitgestoten.



Figuur 2 Links: Plaatsing van ventilator en filter. Rechts: Foto van de weg voor het kinderdagverblijf, genomen vanaf het dak. De trambaan was vanwege werkzaamheden niet in gebruik. De werkzaamheden hebben zeer waarschijnlijk voor extra stof gezorgd, onder andere door de aanwezigheid van de duidelijk niet zo schoon werkende onderhoudswagen (de grote zwarte plek op het witte dak van de gele vrachtwagen is zonder twijfel het gevolg van sterke roetvorming) op deze foto.

Tevens is er in de weken voor de metingen al geobserveerd dat thermietlassen toegepast werd voor het vormen van een voegloos spoor. Thermietlassen, waarbij

de reactie tussen ijzeroxide en aluminium gebruikt wordt om de spoorstaven voldoende te verhitten zodat ze aan elkaar smelten, is een proces waarbij zeer veel rook vrijkomt. Alhoewel dit in ieder geval niet geobserveerd is tijdens de ultrafijnstofmetingen zou het kunnen zijn dat er in de eerste week van de duurmeting (waarbij de apparatuur autonoom aan het meten was en er dus geen toezicht is geweest) er ook nog thermietlassen is verricht.

2.2 Ultrafijnstofmetingen

Op vrijdag 11 november 2011, een week na de installatie van het elektrostatisch filter, zijn metingen aan de ultrafijn stof (deeltjesgrootte <0.1 micrometer) concentratie in de twee slaapkamers verricht. Hiervoor zijn twee TSI 3007 condensation particle counters (CPCs) en twee Aerasense Nanotracers ingezet. Beiden meten ultrafijn stof, een CPC meet het aantal nanodeeltjes van 10-1000 nm, de Nanotracer van 10-300 nm. Echter, onder normale omstandigheden domineren de kleinere deeltjes altijd in aantal, in de praktijk zal het aantal deeltjes >100 nm van geringe invloed op het totaal aantal gemeten deeltjes zijn. Gedurende de metingen zijn de normale activiteiten in het kinderdagverblijf doorgegaan. Eén CPC (CPC1) is samen met één van de Nanotracers (AS340) op een leeg bed in de schapen slaapkamer geplaatst (Figuur 3), de tweede CPC (CPC2) stond in de slaapkamer van de dolfijnen en de andere Nanotracer (AS330) op het dak. Helaas waren er significante verschillen tussen de twee Nanotracers en de CPCs, met name tussen de AS340 en de andere apparaten (zie appendix 4). Daarom is de data van AS340 verder niet gebruikt. De CPCs daarentegen kwamen zeer goed overeen (4 % verschil, hetgeen veel beter is dan de door de fabrikant geclaimde $\pm 20\%$ concentration accuracy). De AS330 en de CPCs kwamen na correctie redelijk overeen. Voor het nog resterende verschil, gemeten door de apparaten gelijktijdig en naast elkaar op het TNO terrein te laten meten, is gecorrigeerd.



Figuur 3 Links: foto van de Aerasense Nanotracer (linker, donkergrijze apparaat) en de TSI 3007 CPC in de schapenslaapkamer. Rechts: Een Osiris (witte kast op de grond) met een MakeMoreSense Dylos (zwarte kastje op de Osiris) en een MakeMoreSense klimaatsensor (witte kastje tegen het houtwerk) in één van de slaapkamers.

2.3 Duurmeting (2 weken)

Voor de duurmetingen zijn de CPCs te kostbaar, kwetsbaar en vereisen ze teveel onderhoud, tevens was het aantal CPCs beperkt. Op dezelfde dag dat de ultrafijnstofmetingen verricht werden zijn daarom ook meerdere Osiris meters verspreid door het gebouw geplaatst. Deze Osiris meters meten veel grotere deeltjes (0.5-20 micrometer) via lichtverstrooiing. Hierbij worden de aantallen omgerekend naar een massaconcentratie in verschillende deeltjesgrootte categorieën, namelijk:

- Total suspended particles (TSP): de massa van alle inkomende deeltjes tezamen
- PM_{10} : de massa van alle deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer.
- $PM_{2,5}$: de massa van alle deeltjes kleiner dan 2,5 micrometer
- PM_1 : de massa van alle deeltjes kleiner dan 1 micrometer

Deze definities betekenen dat TSP gelijk is aan PM_{10} *plus* de massa van alle deeltjes met een grootte tussen 10 en 20 micrometer, PM_{10} weer gelijk aan de massa van $PM_{2,5}$ *plus* de massa van alle deeltjes met een grootte tussen 2,5 en 10 micrometer etc. Een reductie in $PM_{2,5}$ zal dus ook in een reductie van PM_{10} resulteren (zie ook appendix 5). Om duidelijker het effect van de luchtzuiveraar per deeltjesgrootte te evalueren, wordt daarom vanaf nu alleen gerefereerd naar de verschil categorieën:

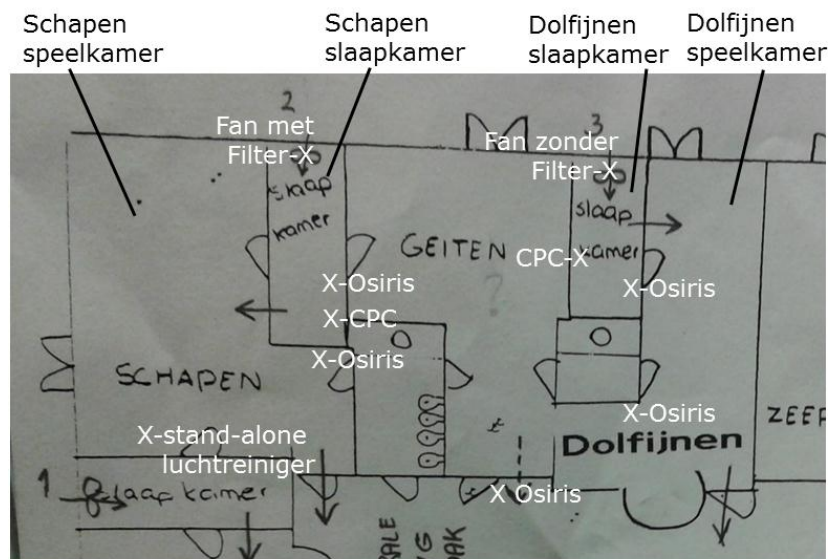
- Ten eerste het allerfijnste stof: **PM_1** = de massa concentratie van alle deeltjes met een grootte tussen 500 nanometer (de onderste detectiegrens van de Osiris meetapparaten) en 1 micrometer.
- **$[PM_{2,5} - PM_1]$** = de massa concentratie van alle deeltjes met een grootte tussen 1 en 2,5 micrometer.
- Vervolgens zijn er nog twee categorieën te definiëren, namelijk TSP- PM_{10} en PM_{10} - $PM_{2,5}$. Echter, deze twee categorieën zijn zeer vergelijkbaar in gedrag, hebben veelal een vergelijkbare oorsprong en worden dan ook gecombineerd in de categorie “**grof stof**”²: **$[TSP - PM_{2,5}]$** = de massa concentratie van alle deeltjes met een grootte tussen 2,5 en 20 micrometer

De Osiris meters zijn op verschillende locaties in het kinderdagverblijf geplaatst, om gedurende 2 weken elke 5 minuten de concentraties (via GPRS) door te geven. Naast in de slaapkamers is er ook in de aan de slaapkamers verbonden speelkamers, waarin de lucht van de slaapkamers doorstroomt, gemeten, als ook in de centrale hal van het gebouw. Tevens is een Osiris op het dak geplaatst, ter plaatse van de Dolfijnen groep op circa 2 m van de dakrand. De locatie van alle meetapparatuur is aangegeven in Figuur 4. Ook nu fungeert de dolfijnengroep (slaap- en speelkamer) weer als controle. Alle Osirissen zijn overigens uitgerust met verwarmde inlaten die water, gecondenseerd op de deeltjes, verwijderen.

De absolute concentraties gemeten met de Osiris zijn in deze studie niet vertaald of gekalibreerd naar concentraties gemeten met de referentiemethode voor het meten

² Deze term is in dit rapport gekozen om de fractie TSP- $PM_{2,5}$ aan te duiden, het meest grove deel van het stof dat bemonsterd is. De term grof stof refereert normaal gesproken eigenlijk aan de stofdeeltjes die mensen niet inademen.

van fijn stof in de buitenlucht. Wel zijn de monitoren vooraf en achteraf met elkaar vergeleken door ze buiten op het TNO terrein in Utrecht gelijktijdig te laten meten. Op basis van deze vergelijkende metingen zijn de signalen met correctiefactoren naar elkaar geschaald. Dat betekent dat de vergelijking tussen monitoren onderling wel relatief, maar niet absoluut gemaakt kan worden; in andere woorden, de gemeten concentraties kunnen niet met wettelijke normen worden vergeleken, maar wel met de andere monitoren.



+ 1 Osiris buiten op het dak

Figuur 4 Schematisch overzicht van de locaties van de verschillende Osirissen in het kinderdagverblijf. Ook de locaties van de CPCs en de ventilatoren zijn aangegeven. Bij ieder van de Osirissen in de slaapkamers en speelkamers is een klimaatsensor opgesteld. De locatie van de stand-alone luchtreiniger is ook aangegeven.

2.3.1 Stand-alone

Stof kan niet alleen van buiten komen, maar kan ook binnen gegenereerd worden. In kinderdagverblijven betreft dat veelal opwervend stof door de aanwezigheid en dynamiek van kinderen en volwassenen. Een luchtzuiveraar op de ventilatielucht inlaat doet hier niet veel tegen; een luchtzuiveraar die de lucht in de ruimte circuleert en zuivert wel. Gedurende de 2^e week van de meting, vanaf 22 november 2011, is naast de zuivering op de inlaat daarom nog een extra zelfstandige luchtzuiveraar in de schapen slaapkamer neergezet, om te zien in welke mate deze de concentratie binnen nog verder kan verlagen.



Figuur 5 Foto van de losstaande luchtreiniger (de witte “buis” bovenop de stellingkast) zoals geplaatst in de schapen speelkamer.

De gebruikte stand-alone zuiveraar is een Aspra XS van Virus Free Air B.V., opererend op stand 3 (200 m³/hr). Door middel van een tijd klok werd deze zuiveraar aangezet tussen 7 uur 's ochtends en 18 uur 's avonds (dus tegelijk met de ventilatie en de ionisatie). Het apparaat is hoog op een tegen de wand geplaatste stellingkast neergezet (Figuur 5). De locatie van de kast met het apparaat is ook weergegeven op de plattegrond van Figuur 4. Vanwege de veiligheid van de kinderen moest de stellingkast aan de wand vastgezet worden, dit kon slechts op één enkele plaats vrij ver in de hoek tegen een wand. Helaas was er geen tijd meer om de eenheid meer centraal in de ruimte te plaatsen door deze aan de wand te bevestigen of bijvoorbeeld door het boven het plafond weg te werken met toe- en afvoer roosters. Door de ver van optimale plaatsing is de eenheid mogelijk minder goed in staat het stof in de gehele ruimte te verminderen.

2.3.2 *MakeMoreSense*

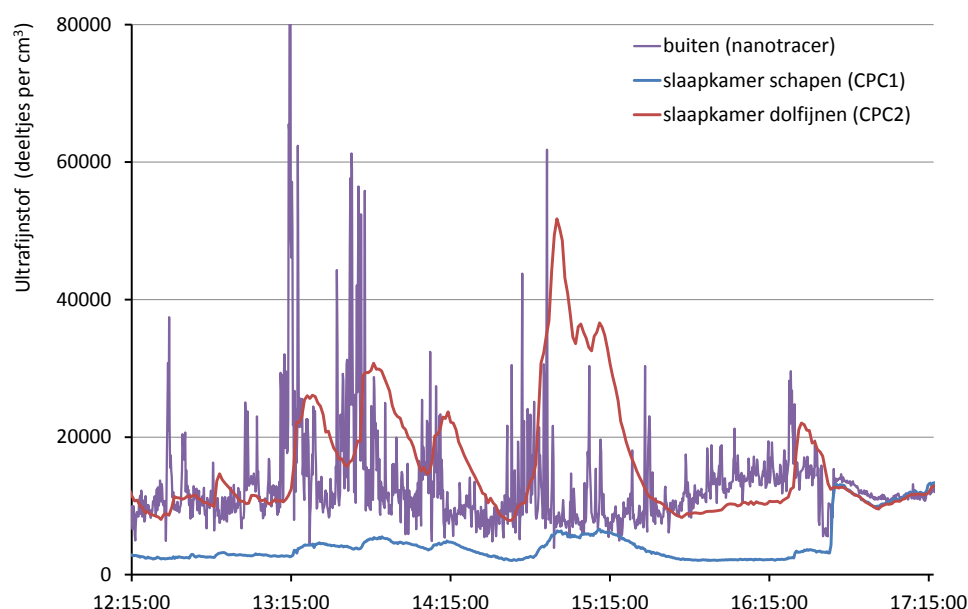
Naast de Osiris meters van TNO zijn door MakeMoreSense B.V. verschillende draadloze sensoren geplaatst. Data van deze sensoren wordt draadloos naar een centraal in het kinderdagverblijf geplaatste gateway verzonden, die de data vervolgens naar een aantal servers doorstuurt, waar de data online via een webportal te raadplagen is.

In alle vier de slaap- en speelkamers zijn binnenklimaatssensoren geplaatst, die CO₂, relatieve luchtvochtigheid, lichtsterkte, geluid, temperatuur en aanwezigheid (d.m.v. een infraroodsensor) meten. Tevens is een verscheldruksensor toegepast om de drukval over de luchtreiniger te meten.

In de twee slaapkamers zijn bovenop de Osiris meters (zie Figuur 3) ook MakeMoreSense Dylos online fijn stof sensoren geplaatst. Dit zijn relatief goedkope en compacte sensoren, die door middel van scattering het aantal deeltjes in de lucht groter dan 0,5 µm meten en rapporteren in twee klassen (> 0,5 µm en > 2,5 µm). De doelstelling hiervan was om inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van deze sensoren bij online bewaking van de fijn stof concentratie.

3 Resultaten ultrafijnstofmetingen

Figuur 6 geeft het resultaat van de vergelijking tussen de schapen slaapkamer met luchtreiniger en de dolfinen slaapkamer, zonder luchtreiniger. Wat direct opvalt, is de zeer hoge maar kortdurende pieken buiten. Deze komen zeer waarschijnlijk door passerende voertuigen op de weg voor het kinderdagverblijf. Volgens het KNMI weerstation Rotterdam, hetgeen ten noorden van Rotterdam op Rotterdam-The Hague Airport (en dus relatief dicht bij Delft) staat, was de windsnelheid tussen 12:12 en 16:35 op 11 november 2011 gemiddeld 5.2 m/s oftewel windkracht 3. Dit meetstation staat echter in het open veld, gemeten op het dak van het kinderdagverblijf was de windsnelheid gemiddeld 1,7 m/s, dit komt overeen met een zeer rustige windkracht 2. Bij deze windsnelheden en de door het verkeer geïnduceerde turbulentie verspreiden en verdunnen de deeltjes zich snel.



Figuur 6 Gecorrigeerde³ data voor CPC1 (slaapkamer schapen, blauwe lijn) CPC2 (slaapkamer dolfinen, rode lijn) en AS330 (buiten). Pieken in de buitenlucht komen met enige vertraging terug in beide kamers. Wel gereduceerd, en in de slaapkamer met filter sterk gereduceerd. Vanaf ~16:30 zijn de meters allemaal op de dolfinen slaapkamer geplaatst, daar geven met name de CPCs zeer vergelijkbare resultaten, hetgeen aangeeft dat de gebruikte correctie voldoende is.

Binnen in de controleslaapkamer (dolfinen) komen de buiten gemeten pieken al snel terug. Een momentane piek buiten leidt duidelijk tot een in absolute zin minder hoge, maar wel veel langer durende piek binnen. Als de deeltjes eenmaal binnen zijn, duurt het een tijd voor de kamer weer gespoeld is, terwijl buiten de wind de deeltjes veel sneller verspreidt en verdunt. De totale blootstelling (blootstellingsduur x concentratie) lijkt binnen soms zelfs hoger te zijn dan buiten op het dak. Dit is echter niet onomstotelijk vast te stellen, aangezien het door het verschil in werkingsprincipe tussen de CPCs en de Nanotracer (appendix 4) onduidelijk is of de resultaten van beiden kwantitatief (zelfs na correctie) met elkaar te vergelijken

³ Alle data is gecorrigeerd naar CPC2 volgens de vergelijkingen gegeven in appendix 4, Figuur 19.

zijn en omdat het vanwege vandalisme gevaar niet mogelijk was om de buitenmeting nabij de aanzuig roosters uit te voeren. Mogelijk treedt tussen het aanzuigrooster in de gevel op 3 m hoogte en de meetlocatie op het dak op 8 meter hoogte verdunning op door de aanwezigheid van onderdrukswervels op het dakvlak.

In de schapen slaapkamer is nog wel een effect te zien van de pieken buiten, echter de binnen bereikte concentratie is vele malen lager dan in de dolfijnen slaapkamer. In Tabel 1 zijn de tijdsgemiddelde concentraties weergegeven voor de twee CPCs. Gegeven de goede overeenkomst in het functioneren van CPC 1 en CPC 2 is duidelijk te concluderen dat de luchtzuiveraar de ultrafijnstofconcentratie in een praktijksituatie ten opzichte van de controlekamer met 80% reduceert.

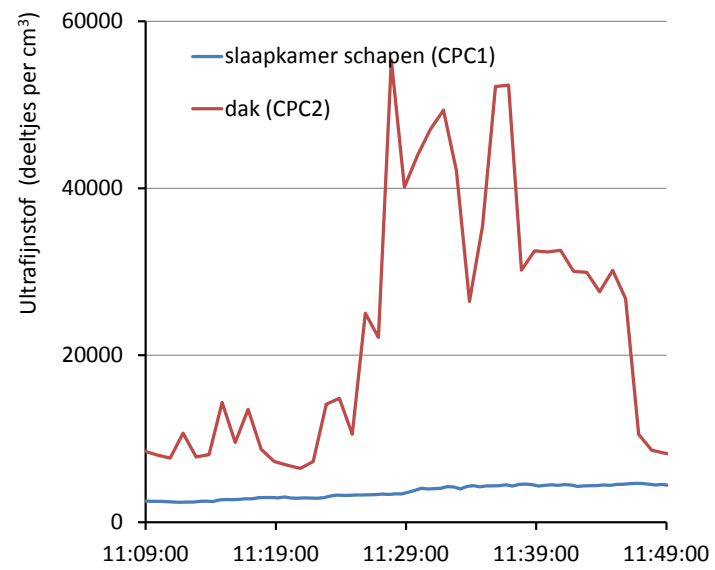
Tabel 1 Resultaten van de ultrafijnstofmeting, schapenslaapkamer t.o.v. dolfijnerslaapkamer (12:12-16:35). Gegeven het verschil in werkingsprincipe tussen de CPCs en de Nanotracer, is van de laatste meter geen gemiddelde concentratie gegeven.

	dolfijnen slaapkamer (CPC2)	Schapen slaapkamer (CPC1)
Tijdsgemiddelde ultrafijnstof concentratie (#/cm ³)	16969 ± 1115	3615 ± 104 (20%)

Uit Figuur 6 blijkt ook dat de hoeveelheid fluctuatie in de concentratie buiten en in de dolfijnen slaapkamer (dit geldt minder voor de schapen slaapkamer) dermate groot is dat gelijktijdige metingen noodzakelijk zijn om het effect van enige maatregel tussen twee ruimtes/ tussen een ruimte en buiten te vergelijken. Om het effect van het luchtfilter ten opzichte van de concentratie ultrafijn stof buiten ook inzichtelijk te maken, is eerder op de dag gedurende een kortere tijd CPC2 niet in de dolfijnerslaapkamer, maar op het dak geplaatst (Figuur 7). De resultaten daarvan staan in Tabel 2. Alhoewel met 40 minuten de totale meettijd voor deze waarde beperkt is, wordt een reductie ten opzichte van buiten van 85% bereikt. Dat is in dezelfde orde als de 80% reductie gevonden t.o.v. de referentiekamer. Dit leidt tot de (voorzichtige) conclusie dat, gemiddeld over een periode van enkele uren, de concentratie in de slaapkamer zonder filter ongeveer gelijk is aan de concentratie buiten. Zoals uit Figuur 6 blijkt zijn de pieken in de concentratie binnen lager, maar duren ze langer dan buiten.

Tabel 2 Resultaten van de ultrafijnstofmeting, schapen slaapkamer t.o.v. buiten (11:09-11:49).

	dak (CPC2)	Schapen slaapkamer (CPC1)
Tijdsgemiddelde ultrafijnstof concentratie (#/cm ³)	23671 ± 4877	3605 ± 172 (15%)



Figuur 7 Vergelijking tussen de concentratie ultrafijnstof in de schapenslaapkamer (CPC1) en op het dak (CPC2).

4 Duurmeting

Voor de Osiris meter op het dak ontbreekt in de 1^e drie dagen (14 t/m 16 november) vrij veel data. Deze meter bleek aangesloten op een stopcontact waar ook de centrale uitblaasventilator mee aangestuurd werd (zie Figuur 1). Elke keer als het regelsysteem deze centrale ventilator uitschakelde werd ook de meter uitgeschakeld. Dit is op de 16^e november hersteld door de meter op een andere manier van stroom te voorzien, daarna is data zonder onderbreking beschikbaar. Ook van de meter op de dolfinen slaapkamer ontbreekt vrij veel data op woensdag de 16^e, de reden hiervan is niet bekend maar dit is vanzelf hersteld om 0:00 op de 17^e. Vanwege de vele ontbrekende data op de 16^e is deze dag verder uit alle berekeningen en beschouwingen weggelaten. Op de 14^e en 15^e november is 84 % respectievelijk 77 % van de data buiten voorhanden, deze dagen zijn derhalve wel meegenomen.

4.1 Aanwezigheid en CO₂

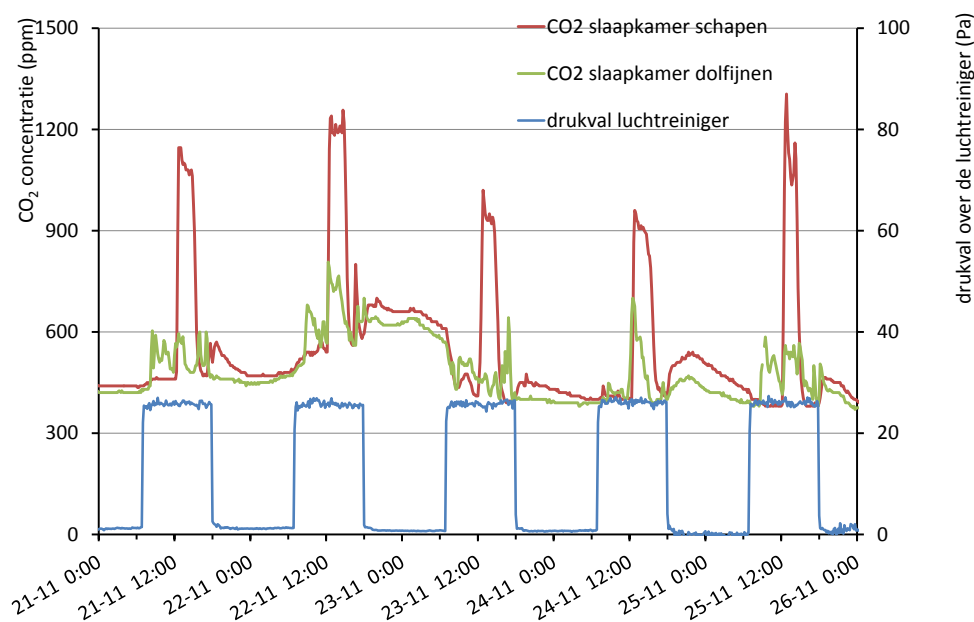
Zoals eerder gezegd zijn de dolfinen- en de schapengroep geselecteerd omdat de gevelventilatoren van beide op dezelfde gevel geplaatst zijn. De ingeblazen lucht is voor beide dan dus zo goed als hetzelfde. De schapen- en de dolfinengroep verschillen echter wel van elkaar in het feit dat het respectievelijk een zogenaamde horizontale- en een verticale groep betreft. Dit wil zeggen dat in de schapen alle kinderen van dezelfde leeftijdscategorie zijn, 1,5 - 3 jaar zijn, terwijl in de verticale dolfinengroep kinderen van alle leeftijden tussen 0-4 jaar zitten.

In Appendix 6 is van dag tot dag het aantal kinderen in zowel de speelkamers als de slaapkamers gegeven. Deze data zijn afkomstig van de leidsters die hiervoor dagelijks een speciaal formulier hebben ingevuld. De schapengroep in zijn geheel is duidelijk een grotere groep, gemiddeld waren hier ongeveer 12 kinderen (plus 2 à 3 leidsters) in de speelkamer aanwezig, terwijl in de dolfinengroep gemiddeld 8 kinderen en 2 leidsters in de speelkamer aanwezig waren. De gemiddelde CO₂ concentraties per ruimte, bepaald door middel van de draadloze klimaatsensoren, zijn gegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Gemiddelde CO₂ concentraties gedurende de metingen (overdag, van 7-18 uur). Naast deze gemiddelde concentratie en het 98^e percentiel is ook de hoeveelheid tijd dat de CO₂ concentratie boven de 1200 ppm uitkomt gegeven.

	Dolfijnen		Schapen	
	Slaapkamer	Speelkamer	Slaapkamer	Speelkamer
Gemiddelde CO ₂ concentratie (ppm)	514	840	624	904
98 ^e percentiel (ppm)	716	1120	1259	1378
Percentage van de tijd dat CO ₂ concentratie >1200 ppm	0 %	0 %	6 %	10 %

Voor de beoordeling van de luchtkwaliteit in scholen wordt gekeken naar tijdelijke piekwaarden, in de vorm van het 98^e percentiel. Dit wil zeggen een CO₂ concentratie waar de gemeten concentratie 98 % van de tijd onder blijft. Volgens de GGD-richtlijn “Beoordelen van Ventilatie Scholen” [32], is een 98^e percentiel CO₂ tussen de 800-1000 ppm acceptabel, en tussen de 1000-1400 “tijdelijk acceptabel”. Een concentratie 650-800 is volgens de GGD-richtlijn het streefdoel voor bestaande bouw, de dolfinenslaapkamer voldoet hieraan. Met 1120 ppm is de dolfinenspeelkamer redelijk acceptabel. Een 98^e percentiel concentratie van >1400 ppm is volgens de GGD richtlijn onacceptabel, de schapenspeelkamer komt hier met 1378 ppm wel zeer dichtbij, een gevolg van het grotere aantal kinderen. Dit toont overigens aan dat actieve ventilatie zeer noodzakelijk is, immers zelfs met actieve ventilatie is de CO₂ concentratie erg hoog.



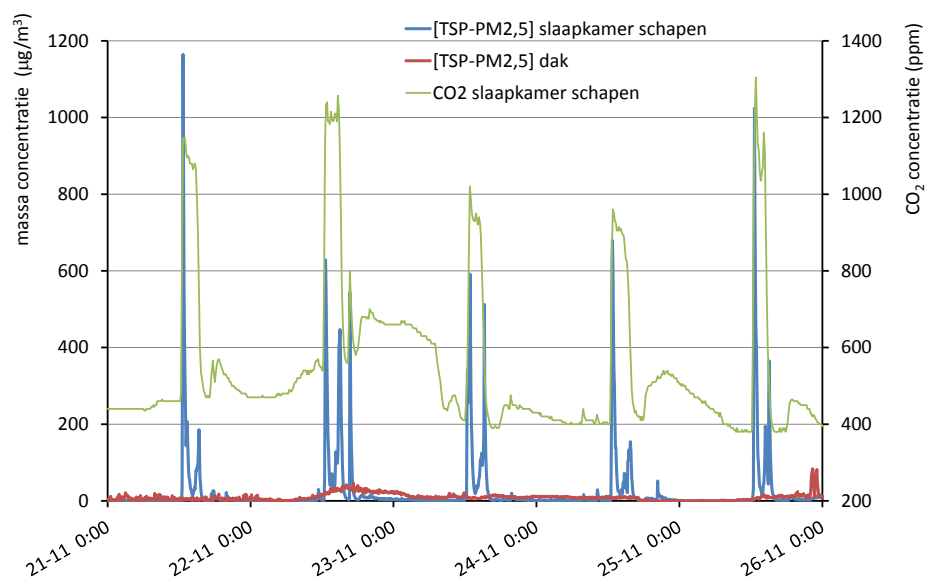
Figuur 8 CO₂ concentratie in de dolfinen- en de schapen slaapkamer gedurende de 2^e week van de metingen. Let op de grote pieken in de schapen slaapkamer wanneer alle kinderen tegelijk gaan slapen. In de dolfinen slaapkamer is er sprake van veel meer, maar ook veel lagere pieken. Ook weergegeven is de drukval over de luchtreiniger. Zodra de ventilatoren uitschakelen⁴ stijgt de CO₂ concentratie in de slaapkamers, mogelijk omdat er nog even mensen aanwezig zijn, terwijl de ventilatie al uitgeschakeld is. Deze CO₂ blijft vervolgens enigszins hangen totdat de ventilatie 's ochtends weer aangaat, waarna ze zeer snel daalt.

In de schapengroep slapen alle kinderen (11 à 13 in totaal) tegelijk, van ongeveer 12:30 tot ongeveer 15:00. In de dolfinenruimte daarentegen hebben alle kinderen een andere slaaptijd en liggen er dus de gehele dag wel een paar kinderen in de slaapkamer, maar maximaal 6 kinderen tegelijk. De verschillen in dagindeling tussen de groepen komen duidelijk terug in de gemeten CO₂ concentraties in de slaapkamers (Figuur 8). In de dolfinenslaapkamer is er gedurende de gehele dag sprake van meerdere, maar lage pieken. De CO₂ concentratie in de

⁴ De drukval over de luchtreiniger is een goede indicator voor het aanschakelen van de ventilator in de schapen slaapkamer, aangezien er alleen een significante drukval (~26 Pa) is als er daadwerkelijk lucht doorstroomt. De dolfinen ventilator is met die van de schapen gelijkgeschakeld. 's Nachts gaat de drukval (bijna) terug naar nul, verschillen in de nachtelijke waarden zijn duidelijk terug te voeren naar de windsterkte.

schapenslaapkamer daarentegen stijgt ver zodra de kinderen gaan slapen, maar is de rest van de dag, als niemand in de slaapkamer aanwezig is, behoorlijk laag. Dit verklaart het grote verschil tussen het 98^e percentiel (1259 ppm) en het gemiddelde (624 ppm) voor de schapenslaapkamer.

Het blijkt dus dat de schapengroep vrij hoge CO₂ concentraties heeft t.o.v. de dolfijnen. Dit is een gevolg van het feit dat de ventilatie voor de aanvang van de metingen is afgesteld op een vast volume (35 l/s)⁵ voor beide groepen, om te zorgen dat wat transport van deeltjes van buiten naar binnen betreft, beide ruimten dezelfde uitgangspositie hebben. In de praktijk is het gunstiger om de ventilatie CO₂ gestuurd te opereren, er is immers nog meer ventilatiecapaciteit in het geïnstalleerde systeem in de schapenslaapkamer. In dat geval zou echter in de schapenslaapkamer door het hogere aantal personen constant meer lucht (en dus meer deeltjes) naar binnen geblazen worden en is er geen eerlijk vergelijk tussen de twee kamers meer te maken.



Figuur 9 De totale concentratie “grof stof” ([TSP-PM_{2,5}]) in de schapenslaapkamer en op het dak gedurende de 2^e week. De CO₂ concentratie in de schapen slaapkamer is ook weergegeven, let op hoe pieken in de deeltjesconcentratie corresponderen met pieken in de CO₂ concentratie. De buitenluchtconcentratie, op het dak gemeten, vertoont daarentegen geen grote pieken gedurende deze periode.

4.2 TSP-PM_{2,5}

Het gezamenlijk slapengaan en weer opstaan in de schapengroep is zeer duidelijk te zien in de deeltjesconcentratie voor het grove stof in de schapenslaapkamer, [TSP-PM_{2,5}] (Figuur 9). Pieken in de deeltjesconcentratie corresponderen met pieken in de CO₂ concentratie, waarbij geldt dat de totale deeltjesconcentratie (TSP) tot ongekende hoogte stijgt zodra de kinderen gaan slapen of weer opstaan. TSP waarden tot boven de 1200 µg/m³ komen hierbij voor, terwijl buiten op het dak gedurende de gehele meetperiode de TSP concentratie nooit boven de 170 µg/m³ uitgekomen is.

⁵ In de dolfijenslaapkamer was het door de ventilator gegenereerde geluid dusdanig hoog dat het niet wenselijk was om deze harder dan 35 L/s te zetten, een hoger verversingsvolume was dus niet haalbaar.

Ook in de dolfinenslaapkamer en beide speelkamers (niet getoond) correspondeert de concentratie van het grove stof met pieken in de CO₂ concentratie. De stofconcentraties zijn in al deze ruimten wel lager. In de dolfinenslaapkamer is dit omdat de kinderen niet allemaal tegelijk gaan slapen en /of opstaan, in de dolfinenspeelkamer door het lagere aantal kinderen. Het verschil tussen de schapenspeelkamer en de schapenslaapkamer komt mogelijk door het in de slaapkamer aanwezige beddengoed wat flink kan bijdragen aan de stofconcentratie.

Aanwezigheid van kinderen is dus met afstand de grootste bron van deeltjes > 2,5 micrometer. Dit is een bekend gegeven uit eerdere onderzoeken [33-35]. Dit zijn waarschijnlijk voornamelijk huidschilfers en textielvezels, die direct van de kinderen afkomen, van de grond opwervelen tijdens lopen en spelen of van het bedtextiel afkomstig zijn bij het slapengaan en opstaan.

4.2.1 TSP-PM_{2,5} van buiten

Het mag duidelijk zijn dat, aangezien de aanwezigheid van kinderen binnen zeer veel grover stof genereert, luchtzuivering op de luchtinlaat dit deel van het fijn stof niet zal reduceren en dus ook geen meetbare verlaging van de concentratie binnen op zal leveren. 's Ochtends tussen 7:00 en 8:00 waren er echter op bijna⁶ geen van de dagen kinderen aanwezig in de slaapkamers. Dit biedt de mogelijkheid om alsnog te bepalen of de geïnstalleerde luchtreiniger in staat is te voorkomen dat "grov stof" van buiten naar binnen komt. De gemiddelde concentratie "grov stof" buiten, in de dolfinen- en in de schapen-slaapkamer is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Concentraties "grov stof" gemeten zolang er nog geen kinderen aanwezig zijn, maar de ventilatie en ionisatie wel aanstaan, tussen 7:00 en 8:00 's ochtends van 22-25 november. Aangezien de ionisatie t/m de 21^e tussen 7:00 en 8:00 uur nog uitstond, is alleen data van 22-25 november gebruikt.

	Concentratie µg/m ³ (reductie t.o.v. buiten in %)			Reductie Schapen t.o.v. Dolfinen
	Buiten	Dolfinen	Schapen	
"Grov stof" [TSP-PM _{2,5}]	4.89	3.83 (22 %)	0.49 (90 %)	87 %

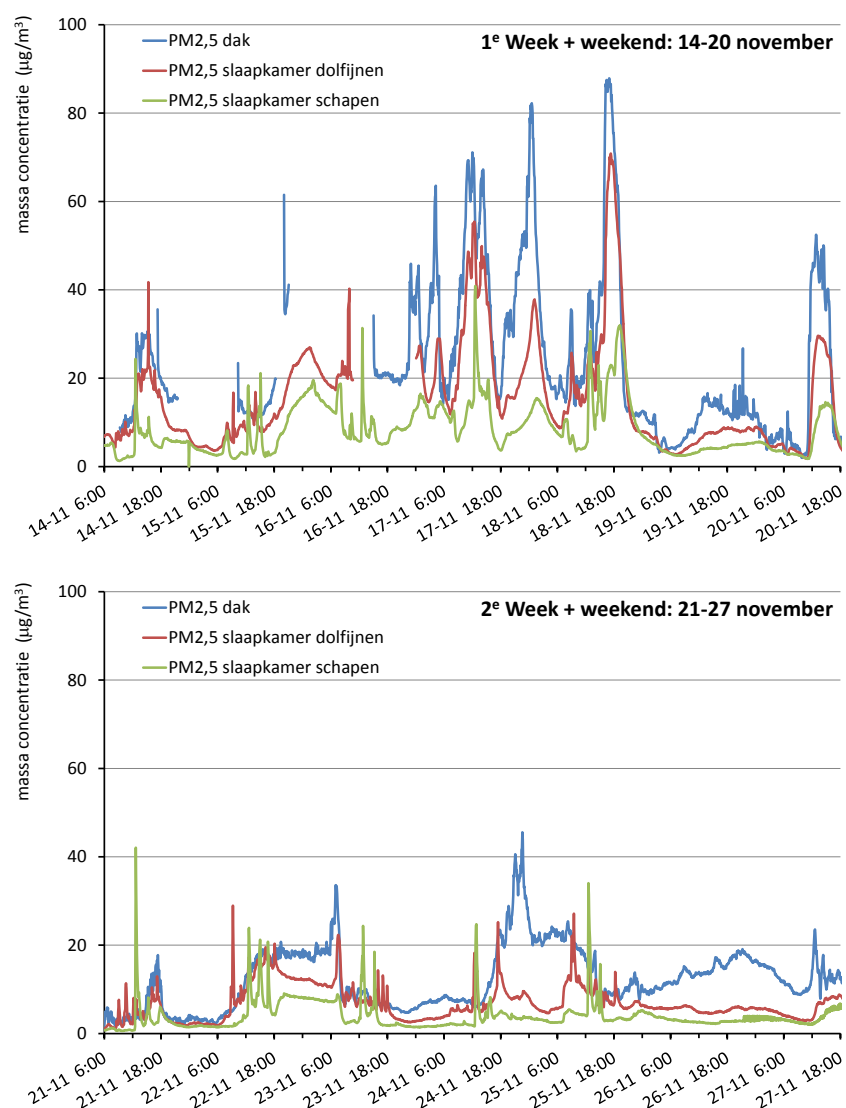
De concentratie in de dolfinenslaapkamer is ook zonder filter 22 % lager dan buiten, een gedeelte van de deeltjes blijft dus hangen onderweg naar binnen, of wordt in de slaapkamer aan oppervlakken geabsorbeerd. Het is duidelijk dat de luchtreiniger bij de schapenslaapkamer resulteert in een flinke extra reductie ten opzichte van de controlekamer, 90 % van al het grove stof wordt afgevangen, oftewel een reductie van 87 % ten opzichte van de nulmeting. De luchtzuiveraar is dus wel degelijk in staat "grov stof" dat wel van buiten afkomstig is, zoals bijvoorbeeld pollen (hooikoorts!), tegen te houden. De in tabel 4 genoemde reductie is op basis van een beperkt aantal metingen gebaseerd en dient daarom met aanvullende metingen worden bevestigd.

⁶ Op een enkele dag was uit de CO₂ concentratie zeer duidelijk te zien dat er al iets voor 8:00 kinderen in de slaapkamer te slapen gelegd werden, deze data is dan ook buiten beschouwing gelaten.

4.3 PM_{2,5} en PM₁

4.3.1 Algemeen

De concentraties PM_{2,5} en PM₁ binnen bleken wel veel meer bepaald door de buitenconcentratie. Dit is te verwachten, aangezien voor PM_{2,5}, en nog meer voor PM₁, geldt dat het afkomstig is van verbrandingsprocessen, en in de stedelijke omgeving van het kinderdagverblijf dus voornamelijk van het wegverkeer. Dit blijkt uit Figuur 10, waarin de PM_{2,5} (dus inclusief PM₁) concentratie op het dak, in de dolfinen- en in de schapenslaapkamer weergegeven is gedurende de gehele meetperiode.

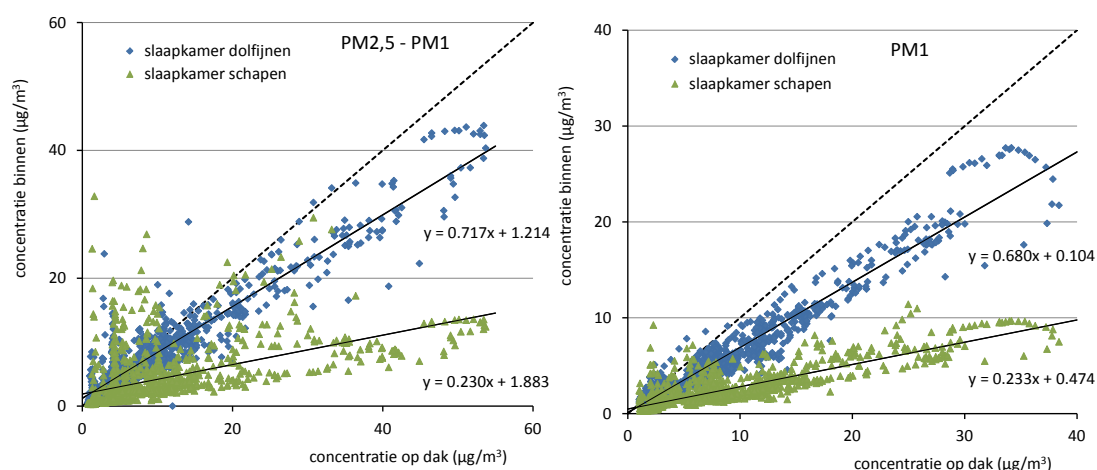


Figuur 10 Concentratie PM_{2,5} (dus inclusief PM₁) op het dak, in de dolfinen- en in de schapenslaapkamer, gemeten met de Osiris (zonder kalibratie naar referentiemethode), voor de 1^e (boven) en 2^e week. De concentratie in de dolfinen slaapkamer volgt de concentratie op het dak met name overdag zeer goed. De concentratie in de schapenslaapkamer is, behoudens enige pieken, duidelijk lager dan die in de dolfinen slaapkamer. Data van de meter op het dak is in de 1^e week niet compleet vanwege een onderbroken stroomvoorziening, dit is op 16 november hersteld. Ook ontbreekt enige data van de dolfinen slaapkamer op woensdag de 16^e.

De concentratie in de dolfinjenslaapkamer volgt de concentratie op het dak met name overdag zeer goed. De concentratie in de schapenslaapkamer is afgezien van enkele piekwaarden altijd lager dan in de dolfinjenslaapkamer. Ook 's nachts, wanneer de ionisatie uitstaat, is de concentratie in de schapenslaapkamer veel lager dan buiten. De reden hiervoor is waarschijnlijk dat de luchtzuiveraar en dan met name het gebruikte filter, alhoewel dit wel een zeer lage drukval heeft, toch een obstakel vormt en alsnog de binnenkomst van lucht via natuurlijke tocht sterk onderdrukt. Tevens werkt het filter bij de zeer lage stroomsnelheden die met natuurlijke ventilatie geassocieerd zijn ook zonder ionisatie al behoorlijk efficiënt. De hoogste piekwaarden in de schapenslaapkamer treden consistent op rond 12:30 en 15:00 uur; de pieken corresponderen dus weer goed met het gezamenlijk slapengaan en opstaan van de kinderen in de schapengroep. In veel mindere mate zijn dergelijke pieken, weliswaar op andere tijdstippen, ook in de dolfinjenslaapkamer te zien. Alhoewel het effect veel minder is dan bij het grovere stof, dragen de kinderen dus ook duidelijk bij aan de binnen gemeten concentratie van $PM_{2,5}$ en, in mindere mate, aan die van PM_1 , waarschijnlijk door het opwervelen van eerder neergedaald stof.

4.3.2 Infiltratiecoëfficiënten slaapkamers

In Figuur 11 wordt in twee figuren de correlatie tussen de beide slaapkamers en de concentratie buiten (op het dak) onderzocht. De concentratie op het dak is op de horizontale as uitgezet, de gelijktijdig gemeten concentratie in de slaapkamers op de verticale as. Alleen de meetpunten die verkregen zijn terwijl de ionisatie aanstaat zijn meegenomen; nachtelijke data (tussen 18:00 en 8:00 uur t/m de 21^e november en 18:00 en 7:00 uur van 22-25 november) en data voor de weekenden is dus weggelaten.



Figuur 11 Correlatie tussen de concentratie op het dak en de concentratie in de dolfinjen- en in de schapenslaapkamer voor $[PM_{2,5} - PM_1]$ (links) en PM_1 (rechts), voor die delen van de dag dat de ventilatie aanstaat. De stippellijnen geven een 1:1 verhouding tussen binnen en buiten weer, (dus wanneer de concentratie binnen exact gelijk is aan die buiten). Trendlijnen door de data zijn bepaald door lineaire regressie analyse op basis van kleinste kwadraten schatting; de hellingen van deze lijnen zijn de infiltratiecoëfficiënten.

Indien de concentratie binnen exact gelijk is aan de concentratie buiten ($c_{\text{binnen}} = c_{\text{buiten}}$), resulteert dit in een dergelijke grafiek in een rechte lijn door de oorsprong met helling 1, zoals aangegeven door de schuine stippellijn in beide

grafieken van Figuur 11. Het is waarschijnlijk dat, indien de concentratie binnen wel puur en alleen door de concentratie buiten bepaald wordt, er verlies optreedt van deeltjes tijdens het transport van buiten naar binnen. In dit geval resulteert dit in een rechte lijn met een helling van 1 of kleiner ($c_{\text{binnen}} = \alpha c_{\text{buiten}}$, met $\alpha < 1$). Deze helling is dan de zogenaamde infiltratie-coëfficiënt (IC), een goede maat voor de fractie deeltjes die van buiten naar binnen getransporteerd wordt. Punten boven de 1:1 lijn daarentegen geven aan dat er binnen een hogere concentratie gemeten wordt, hetgeen betekent dat er binnen ook bronnen van deeltjes moeten zijn.

Er is voor alle data in Figuur 11 in meer of mindere mate een lineair verband zichtbaar tussen de concentratie binnen en de concentratie buiten, zowel voor de dolfijnen- als voor de schapenslaapkamer. Alleen voor de $[PM_{2,5} - PM_1]$ in de schapenslaapkamer zijn er duidelijk veel datapunten die van de lineaire trend afwijken, in een flink aantal gevallen (die punten die boven de gestreepte 1:1 lijn liggen) is de concentratie binnen zelfs hoger dan die buiten. Dit wijst op bronnen van stof in de kamer. Uit Figuur 10 bleek al dat de concentratie $PM_{2,5}$ in de schapen slaapkamer rond 12:30 en 15:00 uur, als de kinderen in de schapengroep gaan slapen, flinke pieken vertoont; nader onderzoek van de data wees uit dat deze datapunten inderdaad geassocieerd zijn met het opstaan of slapengaan van de kinderen. Toch is uit de grafieken in Figuur 11 al direct duidelijk dat, met name bij hoge concentraties fijn stof buiten, de concentratie in de schapenslaapkamer bijna altijd lager is dan in de dolfijnenslaapkamer.

De infiltratiecoëfficiënten voor PM_1 en $[PM_{2,5} - PM_1]$ ⁷ staan in Tabel 5, bepaald door lineaire regressie analyse op basis van kleinste kwadratenschatting en inclusief 95 % betrouwbaarheidsinterval (BHI). De waarden voor de infiltratiecoëfficiënten voor de schapenslaapkamer blijken inderdaad significant veel lager dan die voor de dolfijnenslaapkamer. De infiltratiecoëfficiënt voor PM_1 bedraagt in de dolfijnenslaapkamer 0.68, door de luchtzuiveraar op de inlaat daalt dit in de schapenslaapkamer tot 0.23. Dit betekent dat in deze deeltjesgroottecategorie 65% minder deeltjes van buiten naar binnen doordringen door toepassing van de luchtzuiveraar. Voor de grotere fractie, $[PM_{2,5} - PM_1]$, daalt de infiltratiecoëfficiënt met 0.49 van 0.72 tot 0.23, een daling van 68 %.

Bij aanname dat de kinderen zelf ook een (geringe) bron zijn van fijn stof dan moet dit als een conservatieve schatting worden gezien omdat in de slaapkamer van de Schapen 9 kinderen slapen (Appendix 6) en in de slaapkamer van de Dolfijnen slechts 2 tot 3 kinderen.

Tabel 5 Infiltratiecoëfficiënten voor de slaapkamers, inclusief 95 % betrouwbaarheidsinterval (BHI).

	Infiltratiecoëfficiënt		Reductie	
	Dolfijnenslaapkamer- zonder luchtzuivering	Schapenslaapkamer- met luchtzuivering	Absoluut	Procentueel
$PM_{2,5} - PM_1$	0.72 ± 0.02	0.23 ± 0.02	0.49	68 %
PM_1	0.68 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.45	66 %

⁷ Overigens is het bepalen van infiltratiecoëfficiënten voor $[TSP - PM_{10}]$ en $[PM_{10} - PM_{2,5}]$ zinloos aangezien de concentratie binnen meestal veel hoger is dan buiten (zie ook appendix 7)

4.3.3 Vergelijking met andere systemen

Om de resultaten van deze studie te kunnen vergelijken met die verkregen in een studie van de GGD Amsterdam m.b.t. ventilatie oplossingen in een basisschool [33] zijn ook de infiltratiecoëfficiënten voor $PM_{2,5}$ (dus $PM_1 + [PM_{2,5} - PM_1]$) bepaald (Tabel 6). In het GGD rapport worden voor $PM_{2,5}$ infiltratiecoëfficiënten gerapporteerd tussen de 0.31 en 0.39, afhankelijk van het toegepaste ventilatiesysteem. Bij de nulmeting was de infiltratiecoëfficiënt 0.44. De daling ten opzichte van de infiltratiecoëfficiënt tijdens de nulmeting bedraagt derhalve tussen de 0.05 en 0.13, oftewel een procentuele reductie tussen de 11 en 30 %, een stuk lager dan de 68 % reductie die in onderhavige studie bepaald is.

Tabel 6 Vergelijking tussen de infiltratiecoëfficiënten voor $PM_{2,5}$ verkregen in deze studie en in een studie van de GGD Amsterdam naar de toepassing van 3 verschillende ventilatiesystemen in een klaslokaal.

$PM_{2,5}$	Infiltratiecoëfficiënt		Reductie	
	Nulmeting	met luchtzuivering	absoluut	procentueel
Deze studie	0.71	0.23	0.47	68 %
GGD Amsterdam	0.44	0.39 (F7 overdruk)	0.05	11 %
		0.38 (F7 balans)	0.06	14 %
		0.31 (F9 balans)	0.13	30 %

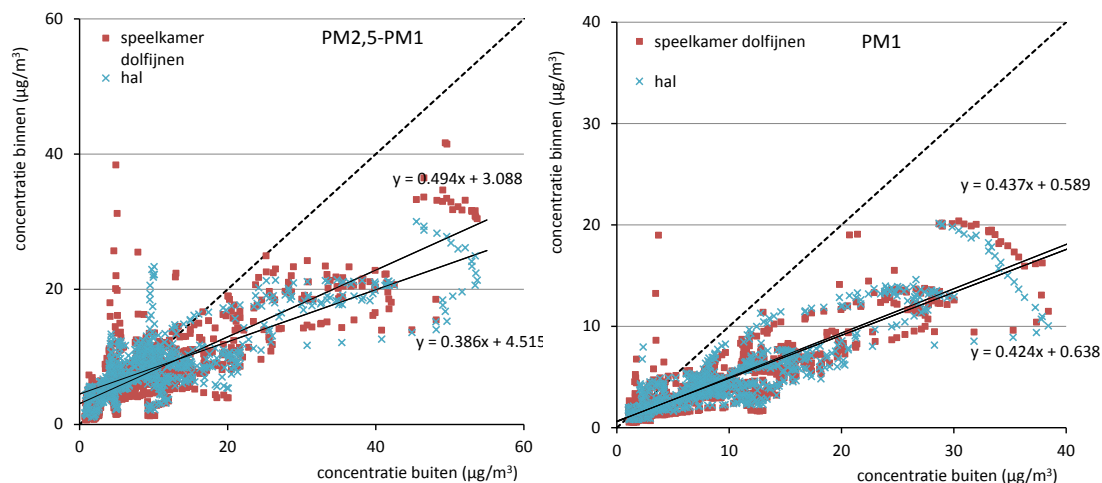
Hierbij moet wel worden opgemerkt dat dit ten dele door de infiltratiecoëfficiënt van 0.44 voor de nulmeting in de GGD studie komt, die veel lager is dan de infiltratiecoëfficiënt van 0.71 voor de dolfijnenslaapkamer (onze nulmeting). Het verschil in de infiltratiecoëfficiënt voor de nulmeting komt zeer waarschijnlijk doordat in de GGD studie bij de nulmeting niet actief lucht ingeblazen werd, maar volledig vertrouwd werd op natuurlijke ventilatie (openen van een raam, tocht door kieren en spleten en openen van deuren). Mogelijk was het ventilatiedebiet lager waardoor er relatief meer stof kan worden geabsorbeerd aan oppervlakken. Dit blijkt uit het CO_2 gehalte, dat tijdens de nulmeting in de Amsterdamse studie inderdaad veel hoger is, met een 98^e percentiel op 2061 ppm. Dit in plaats van de 716 en 1120 ppm voor respectievelijk de dolfijnenslaap- en speelkamer.

Op basis van de kwaliteit van de aanwezige filters (F7 – F9) zou voor $PM_{2,5}$ een component afvangstrendement in de ordegrootte van 85 – 95% worden verwacht. Tijdens de test van de ventilatiesystemen in de GGD studie werden deze CO_2 gestuurd, wat betekent dat de luchtverversing soms laag of zelfs uit staat, waardoor het effect van infiltratie relatief groter wordt, wat de infiltratiecoëfficiënt verhoogt. Mogelijk is hierdoor de in de GGD studie bepaalde infiltratiecoëfficiënt van 0.39 - 0.31 duidelijk hoger dan de in deze studie bepaalde 0.23 met een constante ventilatietoevoer.

4.4 Effect van infiltratie

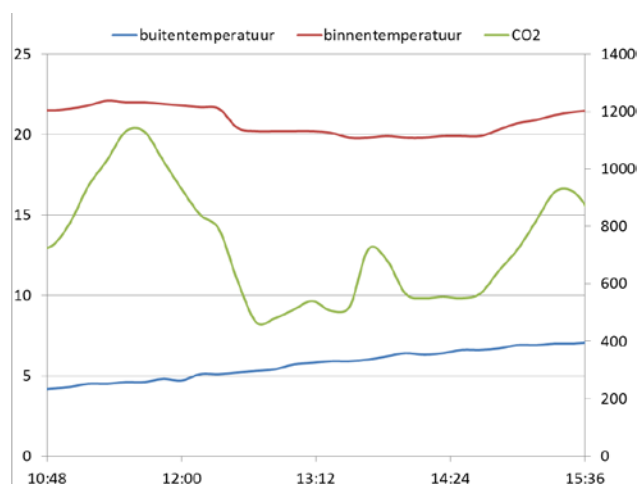
Tot nu toe is gekeken naar het effect in de slaapkamers, de ruimten waarin de lucht ingeblazen wordt. In dit kinderdagverblijf echter is sprake van een unieke situatie, de lucht die in de slaapkamers binnenstroomt, stroomt van deze kamers eerst door

naar de speelkamers en vervolgens naar de centrale hal (zie Figuur 1). In Figuur 12 is de correlatie tussen de concentratie op het dak, in de dolfijnspeelkamer en in de hal te zien. Alhoewel er met name voor $[PM_{2,5} - PM_1]$ meer variatie in de data zit, zijn er toch nog steeds lineaire verbanden te zien tussen de concentratie buiten en binnen.



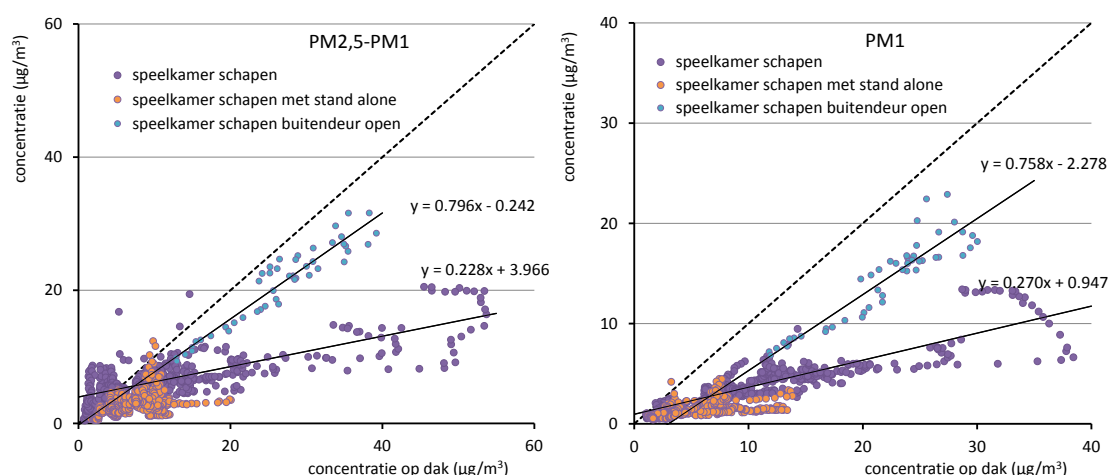
Figuur 12 Correlatie tussen de concentratie op het dak en de concentratie in de dolfijnspeelkamer en in de centrale hal voor $[PM_{2,5} - PM_1]$ (links) en PM_1 (rechts), voor die delen van de dag dat de ventilatie aanstaat. De stippellijnen geven een 1:1 verhouding tussen binnen en buiten weer.

In Figuur 12 is geen data voor de schapenspeelkamer weergegeven, in deze data was namelijk veel meer spreiding zichtbaar. Dit hangt samen met de wisselende omstandigheden in deze kamer. Zoals al eerder gezegd, is vanaf de 22^e november een losstaande luchtreiniger (stand-alone) in de speelkamer van de schapen geplaatst (zie Figuur 5). De data die hierna verzameld is wordt geanalyseerd in paragraaf 4.5. Toch bleek er zelfs zonder die datapunten nog steeds een grote spreiding in de data te zitten; na verdere analyse bleken de afwijkende datapunten voornamelijk in de middag van de 17^e november verzameld zijn. Uit de activiteitenbeschrijving die door de leidsters is bijgehouden tijdens de metingen bleek dat die middag de buitendeur van de schapenspeelkamer open geweest is. Uit de temperatuur en CO_2 registratie (Figuur 13) zijn vanuit het oogpunt van binnenklimaat geen redenen af te leiden om de deur te openen. Echter zelfs het op een kiertje open van de deur zal, ook bij de hier toegepaste overdrukventilatie, direct deeltjes binnenlaten van buiten. Bij een open staande deur ontstaan er door het temperatuurverschil tussen binnen en buiten namelijk grote uitwisselingstromen [36]. Aan de onderzijde stroomt koudere buitenlucht naar binnen en via de bovenzijde stroomt warme binnenlucht naar buiten. Bij een deur van 2 m hoog die op een kier van 10 cm open staat en het geregistreerde temperatuurverschil van 14 K bedraagt de uitwisselingstroom circa 45 L/s en is daarmee van dezelfde ordegrootte als de ventilatiestroom, die 35 L/s bedraagt (paragraaf 2.1). Om in dit geval uitwisseling geheel te voorkomen zou de ventilatiestroom 135 L/s moeten bedragen.



Figuur 13 Buiten en binnentemperatuur op 17 november 2011, speelkamer Schapen. Tussen 12.15 uur en 14.35 is een temperatuurdaling ten gevolge van het open staan van de buitendeur waarneembaar. Ook neemt de concentratie CO₂ (rechters) duidelijk af.

Als de data nu in deze drie categorieën (speelkamer, speelkamer met deur open en speelkamer met stand-alone) verdeeld wordt, worden de grafieken van Figuur 14 verkregen.



Figuur 14 Correlatie tussen de concentratie op het dak en de concentratie in de schapenspeelkamer voor [PM_{2,5}-PM₁] (links) en PM₁ (rechts), voor die delen van de dag dat de ventilatie aanstaat. De data is onderverdeeld naar de wisselende omstandigheden in de schapen speelkamer. Op de middag van de 17^e november heeft de buitendeur van de schapenslaapkamer open gestaan; vanaf de middag van de 21^e november is een extra stand-alone luchtreiniger toegevoegd aan de schapenslaapkamer.

Door middel van lineaire regressie analyse op basis van kleinste kwadratenschatting zijn de infiltratiecoëfficiënten bepaald voor de data van Figuur 12 en Figuur 14. Alle coëfficiënten, inclusief de al eerder voor de slaapkamers bepaalde, zijn gegeven in Tabel 7. De infiltratiecoëfficiënt voor de schapenspeelkamer zonder de stand-alone is 0.23 respectievelijk 0.27 voor [PM_{2,5}-PM₁] en PM₁. Dit is veel lager dan 0.49 en 0.44 die gemeten zijn voor de dolfijnenspeelkamer, een reductie van 54 % respectievelijk 38 %. Als op de 17^e november de deur van de schapenspeelkamer naar buiten open staat wordt een heel hoge infiltratiecoëfficiënt van 0.80 bepaald; er wordt dus in feite niet echt frisse lucht binnengehaald door het openen van een deur.

Tabel 7 Infiltratiecoëfficiënten voor alle ruimten, inclusief 95 % betrouwbaarheidsinterval (BHI). Voor de schapenspeelkamer is ook een infiltratiecoëfficiënt gegeven voor de data van de 17^e november, toen de buitendeur opengestaan heeft.

		Infiltratiecoëfficiënt (95 % BHI)	
		PM _{2,5} -PM ₁	PM ₁
Dolfijnen	Slaapkamer	0.72 ± 0.02	0.68 ± 0.01
	Speelkamer	0.49 ± 0.02	0.44 ± 0.01
Centrale Hal		0.39 ± 0.02	0.42 ± 0.01
Schapen	Slaapkamer	0.23 ± 0.02	0.23 ± 0.01
	Speelkamer	0.23 ± 0.01	0.27 ± 0.01
	Speelkamer met buitendeur open (middag van 17-11)	0.80 ± 0.08	0.76 ± 0.10

4.5 Effect stand-alone

De infiltratiecoëfficiënt zoals bepaald in de voorgaande secties is een goede maat voor het aantal deeltjes dat van buiten naar binnen komt. Het hoofddoel van de stand-alone luchtzuiveraar is echter niet zozeer het afvangen van deeltjes die van buiten komen, als wel van stof dat binnen gegenereerd wordt. Daarom wordt bij het evalueren van de invloed van de stand-alone naar de gemiddeld gemeten concentraties gekeken, met en zonder stand-alone.

Omdat de kinderaantallen (appendix 6) veel variëren tussen de verschillende weekdagen, maar elke week hetzelfde patroon vormen, worden uit beide weken steeds dezelfde dagen geanalyseerd. Om te corrigeren voor de wisselende omstandigheden, wordt gekeken naar de verhouding van het gemiddelde van de schapenspeelkamer ten opzichte van de gelijktijdig bepaalde concentratie in de referentiekamer (oftewel de dolfijnenslaapkamer). De stand-alone is op een maandagmiddag geplaatst, en is daarna voor 4 dagen (van 22-25 november) actief geweest. Deze kunnen dan vergeleken worden met dezelfde 4 dagen van de week ervoor, dinsdag 15-11 tot vrijdag 18-11. Echter, bij de schapenspeelkamer stond op de 17^e november de buitendeur open, waardoor deze donderdag geen bruikbare data opleverde. Tevens is er een zeer groot verschil in het aantal kinderen in de dolfijnenslaapkamer tussen woensdag de 16^e (9 kinderen) en woensdag de 23^e (4 kinderen). Als deze dag ook buiten de resultaten gelaten wordt, blijven beide dinsdagen en beide vrijdagen over om de schapen en de dolfijnen te vergelijken. Voor beide dagen zijn de kinderaantallen van zowel schapen als dolfijnen (redelijk) constant, zie appendix 6. De gemiddelde data voor deze twee dagen is gegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Invloed van de stand-alone op de concentratie in de schapenspeelkamer. De gegeven concentraties zijn het gemiddelde van de concentratie op dinsdag en op vrijdag van de desbetreffende week. Vervolgens wordt het ratio schapen/dolfijnen bepaald, om de invloed van de wisselende omstandigheden te verdisconteren⁸. De reductie is vervolgens de procentuele daling van deze ratio's.

	Concentratie di.+vrij. dolfijnenspeelkamer ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Concentratie di.+vrij. schapenspeelkamer ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Ratio schapen/referentie		Reductie
	Week 1	Week 2	Week 1	Week 2	Zonder stand-alone	Met stand-alone	
"Grof stof" (TSP-PM _{2.5})	121	138	143	110	1.18	0.80	32 %
PM _{2.5} -PM ₁	9.4	6.9	6.9	3.5	0.73	0.51	30 %
PM ₁	5.9	3.1	4.3	1.5	0.73	0.49	33 %

Zoals al in sectie 3.3.1 gemeld is, is de plaatsing van de stand-alone in een hoek van de ruimte niet ideaal. Tevens is de volumestroom van de stand-alone met 200 m³/hr relatief laag gehouden in vergelijking met de 126 m³/hr (35 L/s) van de luchtverversing; normaal wordt van minimaal een 2:1 verhouding tussen stand alone en luchtverversing, liever nog 3:1 of hoger uitgegaan. Toch resulteert het plaatsen van de stand-alone nog in een reductie van de stofconcentratie met ~30 % voor alle deeltjesgrootten, dit kan met een meer geoptimaliseerde plaatsing en hoger debiet zeer waarschijnlijk verder worden verhoogd.

Op basis van de volumestromen 126 m³/uur van het ventilatiesysteem en 200 m³/uur van de stand alone unit verwacht je theoretisch (bij evenwichtssituatie en optimale menging in de betreffende ruimte) een reductie van circa 60 %.

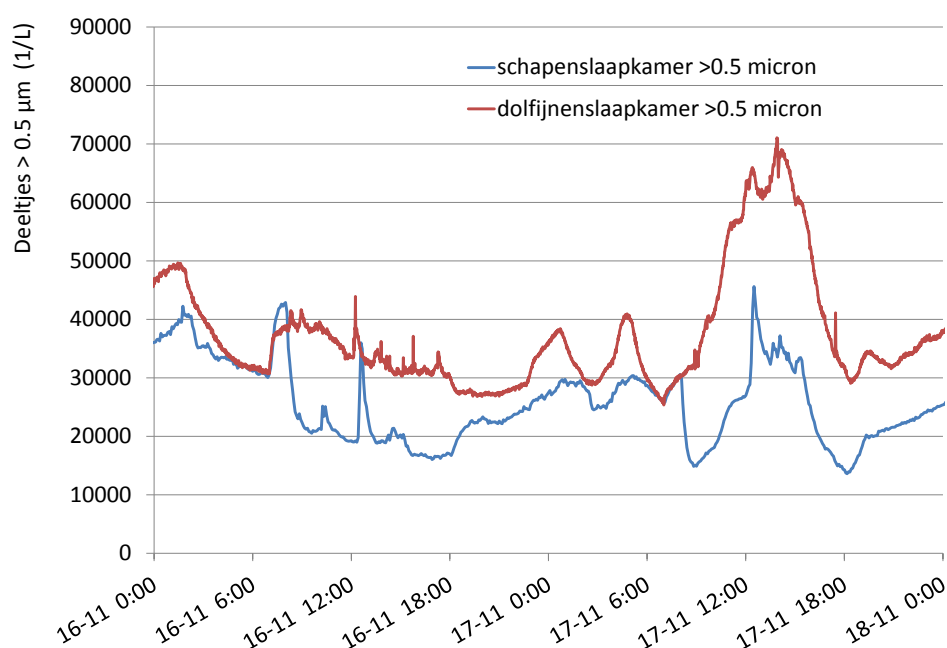
De gekozen testopzet introduceert een tijdafhankelijkheid in de metingen. De meetresultaten op verschillende dagen worden met elkaar vergeleken. Dit kan gemakkelijk resulteren in verschillende bronsterkten op deze dagen. De gepresenteerde reducties in Tabel 8 kunnen dan ook afwijkingen bevatten Meer onderzoek is noodzakelijk.

4.6 Borging binnenklimaat met sensornetwerk

Het geïnstalleerde sensor netwerk van MakeMoreSense heeft zich bewezen als een waardevol instrument om het binnenklimaat te verbeteren. Door gelijktijdig en

⁸ Inderdaad is in Tabel 8 zichtbaar dat de concentratie in de dolfinjenspeelkamer in de 2e week voor TSP-PM_{2.5} hoger is dan in de 1e week; van de kleinere deeltjes ([PM_{2.5}-PM₁] en PM₁) zijn er juist minder. Dit terwijl de overige omstandigheden niet veranderd zijn in de dolfinjengroep. Stel dat alleen naar het gemiddelde in de schapenspeelkamer gekeken zou worden, dan zou de reductie voor PM₁ van 4,3 naar 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = 65 % bedragen. Echter, in de dolfinjenspeelkamer is de concentratie ook gedaald, van 5.9 naar 3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ = 48 % lager. De omstandigheden zijn dus duidelijk veranderd, de data moet hiervoor gecorrigeerd worden. Gedurende de eerste week, zonder stand-alone, was de ratio schapen/dolfijnenspeelkamer voor deze dagen PM₁ 0.73. Als we nu aannemen dat deze ratio hetzelfde zou zijn als de stand-alone niet geïnstalleerd was, dan zou de concentratie in de schapenspeelkamer gedurende de 2^e week $0.73 \times 3.1 = 2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bedragen. De daling in de concentratie ten gevolge van de stand-alone is dan $1 - 1.5/2.2 = 33\%$. Hetzelfde geldt voor [PM_{2.5}-PM₁] en het grovere stof.

continue meerdere parameters te meten (temperatuur, relatieve vochtigheid, CO₂ concentratie, licht, geluid, aanwezigheid en fijn stof) wordt een goede indruk van het binnenklimaat verkregen. Omdat de data online beschikbaar is en eenvoudig trends kunnen worden bekeken kunnen defecten in het klimaatsysteem snel worden gedetecteerd. In dit onderzoek werd bijvoorbeeld vastgesteld dat de ionisatiesectie van het filter de eerste week pas een uur na het starten van de ventilatie werd geactiveerd. Figuur 15 laat zien dat om 7 uur de ventilatie wordt gestart. In beide slaapkamers neemt de concentratie fijn stof deeltjes groter dan 0,5 µm direct toe. In de Schapen slaapkamer neemt de concentratie om 8 uur met circa 50 % af op dat moment werd de ionisatie gestart. Op basis van deze waarnemingen is de tijdschakeling van de ionisatiesectie aangepast.



Figuur 15 Concentratie fijn stof deeltjes in de Schapen en de Dolfijnen slaapkamer gemeten met de MakeMoreSense Dylos sensor op 16 en 17-11.

De twee MakeMoreSense Dylos sensoren vertonen onderling een goede overeenkomst, zie bijlage 8. De meetwaarden tijdens de twee weken durende praktijkproef van de MakeMoreSense Dylos komen kwalitatief goed overeen met de Osiris meetwaarden. Een kwantitatieve vergelijking is lastig omdat de Osiris deeltjes concentratie in gewicht rapporteert en de MakeMoreSense Dylos in deeltjesaantallen. De interpretatie van de meetgegevens van deze apparaten onderling behoeft dan ook de nodige "terughoudendheid". In het laboratorium is ook een kortdurende vergelijking gemaakt met een Grimm Optical Particle Spectrometer. De MakeMoreSense Dylos meet deeltjes aantallen in twee klassen, groter dan 0,5 µm en groter dan 2,5 µm. Wat betreft de deeltjes aantallen groter dan 0,5 µm komen de resultaten van de MakeMoreSense Dylos goed overeen met de Grimm. De overeenkomst tussen de Grimm en de MakeMoreSense Dylos voor deeltjes groter dan 2,5 µm is minder goed.

5 Conclusies

De korte maar zeer hoge concentraties gemeten op het dak van het kinderdagverblijf gekoppeld aan de lagere maar langere concentraties in de controle slaapkamer (de dolfijnenslaapkamer) suggereren dat ultrafijn stof (deeltjes met een aerodynamische diameter <0.1 gegenereerd door passerend wegverkeer in de binnenruimten van het kinderdagverblijf terechtkomt. De totale blootstelling (blootstellingsduur x concentratie) verschilt niet veel tussen de binnen- en buitensituatie. Veelal wordt ervan uitgegaan dat de blootstelling buiten veel hoger is dan binnen, en dat het installeren van luchtzuivering slechts een klein effect op de totale blootstelling heeft. Als de concentratie binnen echter vergelijkbaar is met buiten, gekoppeld aan het feit dat de totale tijd die kinderen binnen doorbrengen over het algemeen veel langer is dan de tijd dat ze buiten zijn, betekent dat dat het grootste deel van de blootstelling binnen plaatsvindt. De installatie van een luchtreiniger op de luchtverversingsinlaat van het kinderdagverblijf resulteert in een verlaging van de concentratie ultrafijn stof gemeten centraal in de slaapkamer van 80 % ten opzichte van een controle slaapkamer.

Tijdens de duurmeting bleek de aanwezigheid van kinderen de grootste bron van het grovere stof (2,5-20 micrometer, [TSP-PM_{2,5}]). Dit heeft te maken met opwervend stof, maar waarschijnlijk ook met huidschilfers en textielvezels. Gedurende die uren dat er geen kinderen binnen aanwezig zijn was het mogelijk te bepalen hoeveel van dit grovere stof van buiten er naar binnen komt; de luchtzuiveraar bleek zeer goed in staat dit stof dat wél van buiten afkomstig is tegen te houden: 90% van al het grovere stof wordt afgevangen, oftewel een reductie van 87 % ten opzichte van de controlekamer.

Luchtzuivering op de luchtinlaat zal het binnen geproduceerde stof niet kunnen afvangen en dus ook geen meetbare verlaging van de concentratie [TSP-PM_{2,5}] binnen opleveren. Plaatsing van een stand-alone eenheid in de speelkamer kan het grove stof binnen wel verlagen, de reductie ten gevolg van de stand-alone was luchtreiniger beperkt tot circa 32 %. Dit is gezien de ingestelde luchtdebieten een laag percentage. Dit meetaspect behoeft nader onderzoek.

De kleinere stofdeeltjes, PM_{2,5} en PM₁, zijn wel grotendeels van buiten afkomstig. Toepassing van de luchtzuiveraar op de inlaat resulteert in een afname van 66 % in de infiltratie van PM₁, en 68 % voor [PM_{2,5}-PM₁] in de slaapkamer, een reductie met een factor 3 ten opzichte van een vergelijkbare kamer zonder luchtzuivering. Dit is een stuk beter dan de prestaties van andere systemen in een vergelijkbare studie [30], en bewijst dat een luchtzuiveraar ook in de dagelijkse praktijk van een kinderdagverblijf een significante reductie van de concentratie fijn stof kan bewerkstelligen. Wel dienen dan ramen en deuren gesloten te blijven. In het onderhavige onderzoek heeft gedurende enkele uren de buitendeur in de speelkamer open heeft gestaan. De concentratie PM_{2,5} in de speelkamer, die eerst slechts 23% van de buitenconcentratie bedroeg, nam hierdoor toe tot 80% van de buitenconcentratie. Wat fijn stof betreft werd er dus in feite niet echt frisse lucht binnengehaald door het luchten met een open buitendeur.

De toepassing van een online sensor netwerk heeft zich bewezen als een waardevol instrument om het binnenklimaat te bewaken. Hierbij is ook de werking van een online fijn stof meter getest. De meetresultaten van deze meter geven

tijdens de praktijkproef dezelfde trend als de Osiris meter. Tijdens een kortdurende test in het laboratorium blijken de resultaten voor deeltjes groter dan 0,5 μm goed overeen te komen met een Grimm fijn stof meter. De overeenkomst tussen de Grimm en de MakeMoreSense Dylos voor deeltjes groter dan 2,5 μm is minder goed.

6 Referenties

1. JGZ richtlijn Astma bij kinderen: JGZ richtlijn Astma bij kinderen:
http://www.ncj.nl/inc/getdocument.cfm?filename=upload/docs/JGZ-richtlijn_astma_DEF.pdf
2. N.A.H. Janssen, J. Schwartz, A. Zanobetti, H.H. Suh. Air Conditioning and Source-Specific Particles as Modifiers of the Effect of PM10 on Hospital Admissions for Heart and Lung Disease. *Environm. Health Perspect.* 110 (2002) p. 43
3. F. Laden, L. M. Neas, D. W. Dockery, J. Schwartz. Association of Fine Particulate Matter from Different Sources with Daily Mortality in Six U.S. Cities. *Environm. Health Perspect.* 108 (2000) p. 941
4. D.W. Dockery, C.A. Pope III, X. Xu, J.D. Spengler, J.H. Ware, M.E. Fay, B.G. Ferris Jr, F.E. Speizer. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl. J. Med.* 329 (1993) p. 1753–1759.
5. C.A. Pope III, M.J. Thun, M.M. Namboodiri, D.W. Dockery, J.S. Evans, F.E. Speizer, J.C.W. Heath. Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults; *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.* 151 (1995) p. 669-674.
6. C.A. Pope III, R.T. Burnett, M.J. Thun, E.E. Calle. D. Krewski, K. Ito, G.D. Thurston. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*, 287 (2002) p. 1132.
7. J.M. Samet, F. Dominici, F.C. Currier, I. Coursac, S.L. Zeger. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. Cities 1987-1994. *N. Engl. J. Med.* 343 (2000) p. 1742.
8. “Nationaal Kompas Volksgezondheid, Wat zijn de mogelijke gezondheidsgevolgen van grootschalige luchtverontreiniging”. RIVM (2010).
<http://www.nationaalkompas.nl/gezondheidsdeterminanten/omgeving/milieu/luchtverontreiniging/wat-zijn-de-mogelijke-gezondheidsgevolgen-van-grootschalige-luchtverontreiniging/>
9. G. Hoek, B. Brunekreef, S. Goldbohm, P. Fischer, P.A. van den Brandt. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 360 (2002) p. 1203.
10. V. Morgenstern, A. Zutavern, J. Cyrys, I. Brockow, S. Koletzko, U. Krämer, H. Behrendt, O. Herbarth, A von Berg, C.P. Bauer, H.-E. Wichmann, J. Heinrich. Atopic Diseases, Allergic Sensitization, and Exposure to Traffic-related Air Pollution in Children. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 177 (2008) p. 1331.

11. N.A.H. Janssen, B. Brunekreef, P. van Vliet, F. Aarts, K. Meliefste, H. Harssema, P. Fischer. The Relationship between Air Pollution from Heavy Traffic and Allergic Sensitization, Bronchial Hyperresponsiveness, and Respiratory Symptoms in Dutch Schoolchildren. *Environm. Health Perspect.* 111 (2003) p. 1512.
12. M. Schaap, E.P. Weijers, D. Mooibroek, L. Nguyen, R. Hoogerbrugge. Composition and origin of Particulate Matter in the Netherlands. Results from the Dutch Research Programme on Particulate Matter. (2010) <http://www.pbl.nl/en/dossiers/Transboundaryairpollution/content/Netherlands-Research-Program-on-Particulate-Matter>
13. G.J.M. Velders, J. Matthijsen, J.M.M. Aben, W.J. de Vries. Grootschalige PM_{2,5}-concentratiekaarten van Nederland. Milieu en Natuur planbureau (nu Planbureau voor de leefomgeving), MNP rapport 500088003/2007. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500088003.pdf>
14. G.R. Cass, L.A. Hughes, P. Bhawe, M.J. Kleeman, J.O. Allen, L.G. Salmon. The chemical composition of atmospheric ultrafine particles. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 358 (2000) p. 2581-2592.
15. R.J. Delfino, C. Sioutas, S. Malik. Potential Role of Ultrafine Particles in Associations between Airborne Particle Mass and Cardiovascular Health. *Environm. Health Perspect.* 113 (2005) p. 934.
16. M. Keuken, I. Wilmink, P. Tromp, Y. de Kluizenaar. Emissies, verspreiding en gezondheidseffecten van ultrafijnstof door wegverkeer. TNO, TNO-rapport TNO-034-UT-2009-00308_RPT-ML (2009). http://www.tno.nl/downloads/rapport_wp1_ultrafijn_project.pdf
17. C.A. Pope III, D.W. Dockery. Health effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *J Air Waste Management Ass.* 56 (2006) p 709.
18. M. Riedl, D. Diaz-Sanchez. Biology of diesel exhaust effects on respiratory function. *J Allergy Clin. Immunol.* 115 (2005) p. 221.
19. E.H. van den Hooven, F. H. Pierik, Y. de Kluizenaar, S.P. Willemsen, A. Hofman, S.J. van Ratingen, P.Y.J. Zandveld, J.P. Mackenbach, E.A.P. Steegers, H.M.E. Miedema, V.W.V. Jaddoe. Air Pollution Exposure During Pregnancy, Ultrasound Measures of Fetal Growth, and Adverse Birth Outcomes: A Prospective Cohort Study. *Children's Health* 120 (2012) p. 150.
20. J. Schwartz. Air Pollution and Children's Health. *Pediatrics* 113 (2004) p. 1037
21. T.J. Woodruff, J. Grillo, K.C. Schoendorf. The Relationship between Selected Causes of Postneonatal Infant Mortality and Particulate Air Pollution in the United States. *Environm. Health Perspect.* 105 (1997) p. 608.

22. E.L. Avol, W.J. Gauderman, S.M. Tan, S.J. London, J.M. Peters, Respiratory Effects of Relocating to Areas of Differing Air Pollution Levels. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 164 (2001) p. 2067.
23. M. Raizenne, L.M. Neas, A.L. Damokosh, D.W. Dockery, J.D. Spengler, P. Koutrakis, J.H. Ware, F.E. Speizer. Health Effects of Acid Aerosols on North American Children: Pulmonary Function. *Environm. Health Perspect.* 104 (1996) p. 506.
24. W. Jedrychowski, E. Flak, E. Mroz. The Adverse Effect of Low Levels of Ambient Air Pollutants on Lung Function Growth in Preadolescent Children. *Environm. Health Perspect.* 107 (1999) p. 669.
25. F. Horak Jr, M. Studnicka, C. Gartner, J.D. Spengler, E. Tauber, R. Urbanek, A. Veiter, T. Frischer. Particulate matter and lung function growth in children: a 3-yr follow-up study in Austrian schoolchildren. *Eur Respir J* 19 (2002) p. 838.
26. W.J. Gauderman, E. Avol, F. Gilliland, H. Vora. D. Thomas, K. Berhane, R. McConnell, N. Kuenzli, F. Lurmann, E. Rappaport, H. Margolis, D. Bates, J. Peters. The Effect of Air Pollution on Lung Development from 10 to 18 Years of Age. *N. Engl. J. Med.* 351 (2004) p. 1057.
27. J. Heinrich, B. Hoelscher, H.E. Wichmann. Decline of Ambient Air Pollution and Respiratory Symptoms in Children. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 161 (2000) p. 1930.
28. M.S. Dunnill. Postnatal Growth of the lung. *Thorax* 17 (1962) p. 329.
29. P. Jacobs, Verbetering binnenmilieu kinderdagverblijf Villa Knotz, TNO rapport 034-DTM-2010-04846, december 2010.
30. P. Jacobs, Improved Ventilation And Temperature Control In A Nursery, Proceedings Indoor Air 2011, 5-10 juni 2011, Austin (VS).
31. Informatie over de buitenhof:
http://www.delft.nl/Inwoners/Wonen_en_leven/Delftse_wijken/Buitenhof/Wijkbeschrijving_Buitenhof
32. GGD richtlijn beoordelen van ventilatie scholen, geactualiseerde versie februari 2008:
<http://www.rivm.nl/milieuportaal/bibliotheek/richtlijnen/ggd-richtlijn---beoordelen-van-ventilatie-scholen.jsp>
33. M. Dijkema, R. van Strien, R. Jonker, S. van der Zee. Effectiviteit van mechanische ventilatie met filtertoepassing in een klaslokaal, GGD Amsterdam, 19 juni 2009.
34. Janssen, N. A., Van Vliet, P., Aarts, F., Harssema, H., Brunekreef, B., 2001. Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways. *Atmospheric Environment* 35, 3875-3884.

35. R. Cremers, S.P.R. van Hout, P.T.J. Scheepers. Invloed van compacte luchtbehandelingsinstallaties op de luchtkwaliteit in klaslokalen. UMC St Radboud, Nijmegen, november 2010.
36. H.B. Bouwman, Mogen deuren in een ziekenhuis open blijven staan?, TNO/TVVL dag, Delft, oktober 1972.
37. WHO, Diesel engine exhaust carcinogenic, press release IARC, 12 juni 2012.

Appendix 1: Deelnemers beschrijving

Knotz kinderopvang (kinderopvangorganisatie)

Knotz is een innovatieve kinderopvangorganisatie die momenteel drie kinderdagverblijven in Delft beheert. In samenwerking met TNO is een van deze kinderdagverblijven voorzien van een innovatief lage druk ventilatiesysteem met nachtventilatie en vraagsturing. In dit kinderdagverblijf is de fijn stof filtratie proef uitgevoerd. Momenteel is Knotz bezig om een nieuw kinderdagverblijf in Leidschenveen te realiseren met mogelijk ook lage druk filtratie concept.

Virus Free Air (ontwikkelaar van fijnstof filtratie systemen)

Virus Free Air is gevestigd in Yes!Delft en is specialist op het gebied van (elektrostatische) luchtzuivering en zoekt permanent naar oplossingen voor de groeiende luchtverontreinigingproblematiek die zowel efficiënt als milieuvriendelijk zijn. Virus Free Air was nauw betrokken bij de uitvoering en uitwerking van de fijn stof filtratie proef.

MakeMoreSense (leverancier meet en regeltechniek)

MakeMoreSense maakt binnenklimaat en energiegebruik real-time en online inzichtelijk middels een eenvoudig aan te brengen, draadloos sensornetwerk. Op een web-based dashboard wordt zichtbaar hoe het is gesteld met het binnenklimaat (temperatuur, relatieve vochtigheid, CO₂, licht, geluid). In combinatie met het energiegebruik (gas, water, elektra) leidt dat tot verrassende inzichten en besparingen. MakeMoreSense was nauw betrokken bij de uitvoering en uitwerking van de fijn stof filtratie proef.

Mecanoo (architectenbureau)

Mecanoo architecten in Delft, officieel opgericht in 1984, heeft een multidisciplinaire, professionele staf van circa negentig mensen. Paul Ketelaars, partner bij Mecanoo, is de architect voor het nieuwbouw kinderdagverblijf in Leidschenveen.

DGMR (adviseur)

DGMR is een raadgevend ingenieursbureau wat in 1980 is opgericht. DGMR anticipeert op veranderingen en biedt heldere en realistische oplossingen. DGMR is adviseur voor het nieuwbouw kinderdagverblijf in Leidschenveen.

Reno (E-installateur)

Reno verzorgt al meer dan 85 jaar elektrotechnische installaties in Delft en omstreken.

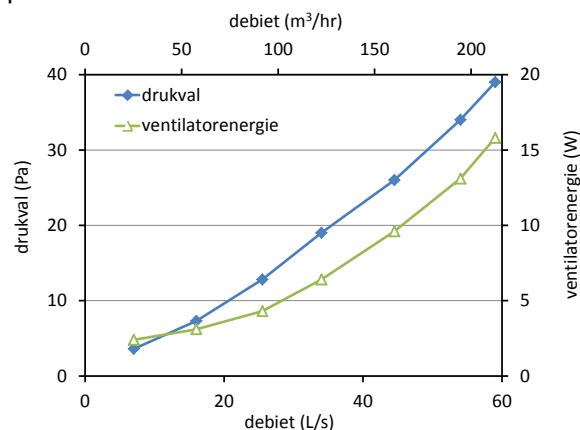
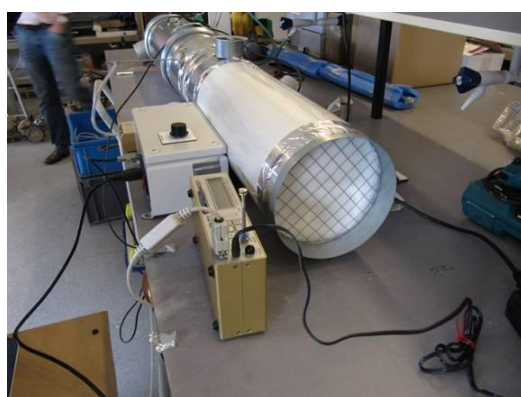
Hogenboom (toeleverancier zonwering)

Hogenboom Zonwering gevestigd te Delft is een bedrijf dat al 75 jaar gespecialiseerd is in regionale verkoop en montage van binnen- en buitenzonwering.

Appendix 2: Luchtreiniger - ventilator in het lab

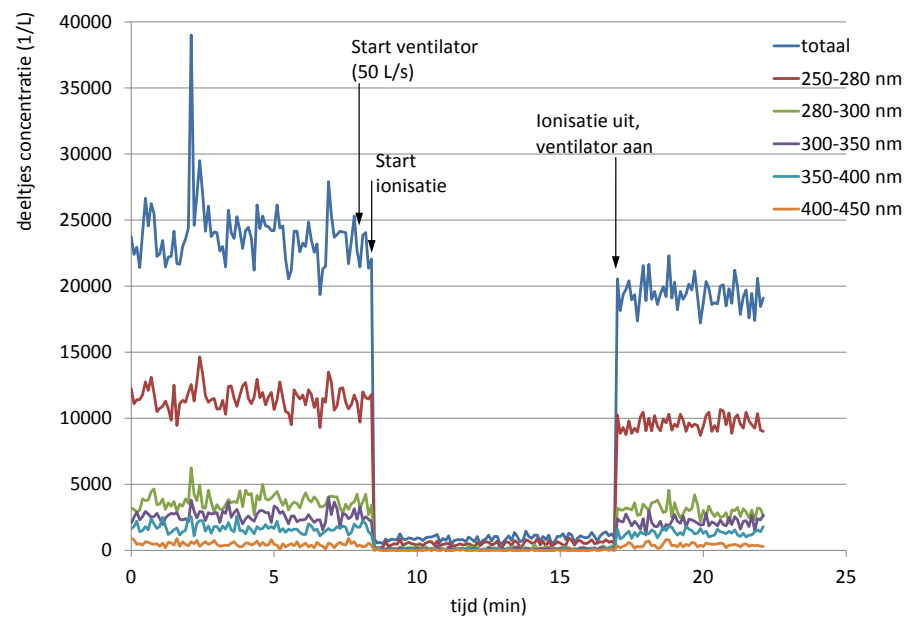
De combinatie Aspra luchtreiniger - hybrideventilator is eerst in het TNO laboratorium getest. De drukval over de luchtreiniger vs. het debiet is gemeten met een Acin flowfinder en een standaard drukmeter. Tevens is het energieverbruik van de ventilator bij verschillende snelheden gemeten. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 16. De drukval over de luchtreiniger is klein te noemen, alsook het energieverbruik van de ventilator. Het standby energieverbruik van de ventilator ten gevolge van de aansturingselektronica en de voeding is 0,7 W. Het energieverbruik van het elektrostatisch filter tijdens deze proef was 16,4 W. Bij de praktijkproef bleek dit gedaald tot 5 Watt, omdat tijdens de labproef nog de voeding van de standaard bij de unit behorende ventilator aanwezig was, die dus een standby energieverbruik van ~11 W had.

Het was helaas niet mogelijk om een objectieve geluidmeting uit te voeren omdat het achtergrond geluid in het lab door andere installaties circa 50 dB(A) bedroeg. Het geluidsniveau van de ventilator was acceptabel te noemen.



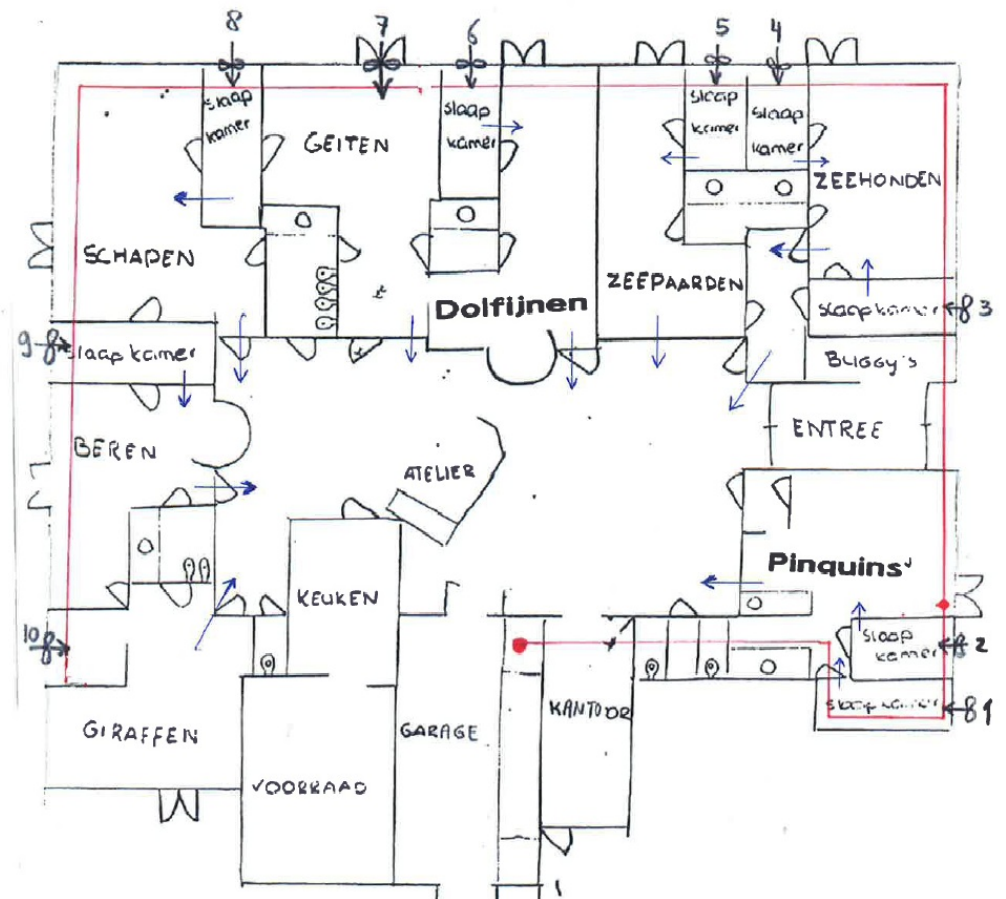
Figuur 16 Links: Meetopstelling. Linksachter ventilator, pitotmeter, vervolgens klep, ionisatie sectie (witte buis met witte kastje), electret filter (achter gaas) en fijnstof meter (kastje op de voorgrond). Rechts: Prestaties van de combinatie luchtreiniger/ventilator in termen van drukval over de ionisatie sectie en het electret filter (linker as) en verbruikte ventilatorenergie (rechter as). Het geleverde debiet is zowel in liter per seconde (onder) als in kubieke meter per uur af te lezen.

Tenslotte is indicatief de deeltjes reductie bepaald door een Grimm 1.109 Aerosol Spectrometer direct in de uitlaat van het filter te plaatsen. Deze meet deeltjes met een grootte van 0.25 μm tot 34 μm door middel van scattering van licht. Het luchtdebiet was ongeveer 50 L/s. In Figuur 17 is het verloop van de deeltjesconcentratie weergegeven als functie van de tijd. Aanvankelijk (tot 8 minuten) staat zowel de fan als de ionisatie uit, hierdoor is het mogelijk de achtergrond concentratie in het laboratorium te bepalen (~24000 deeltjes/liter). Als de fan en ionisatie kort achter elkaar aangaan, daalt de deeltjesconcentratie drastisch (met 96 % tot 900). Als vervolgens de ionisatie uitgedaan wordt maar de ventilator aanblijft, stijgt de concentratie weer flink, alhoewel niet tot de oude waarde (19000 i.p.v. 24000, ofwel 19 % reductie). Een klein gedeelte van de deeltjes wordt nog door het zeer open filter gevangen, maar het mag duidelijk zijn dat de ionisatie noodzakelijk is om de hoge filterefficiency te verkrijgen.



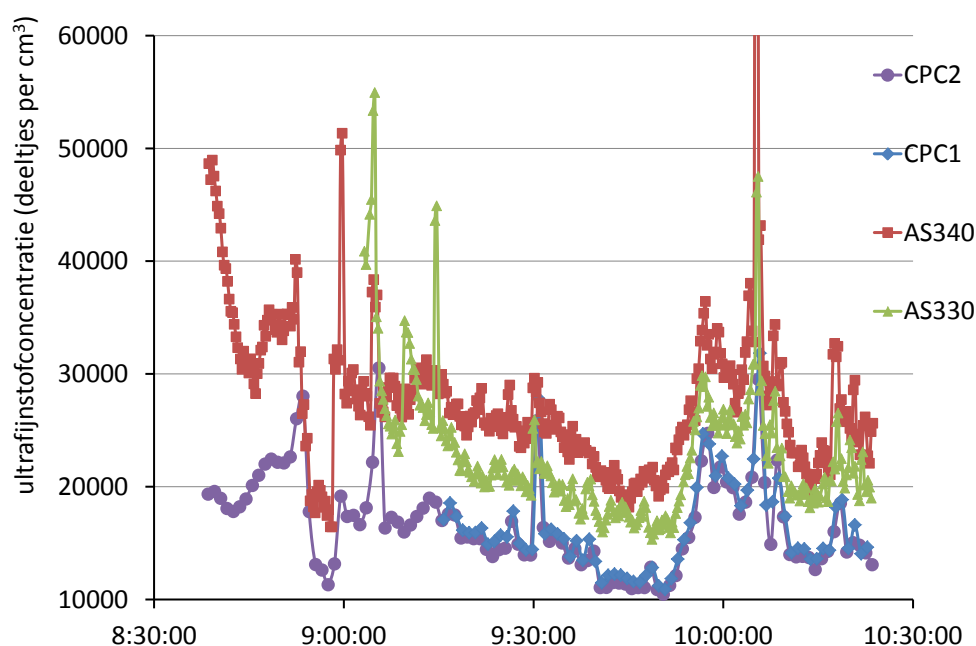
Figuur 17 Totale deeltjesconcentratie versus tijd tijdens de meting. Naast het totaal aantal deeltjes is ook per deeltjesgroottefractie het aantal deeltjes aangegeven (tot aan 450 nm), vergeleken met de totale hoeveelheid deeltjes is duidelijk dat de kleinste deeltjesfractie (250-280 nm) numeriek gezien domineert.

Appendix 3: Plattegrond van het kinderdagverblijf



Appendix 4: Vergelijking tussen de verschillende ultrafijnstofmeters

Gedurende de meetdag viel het al op dat er verschillen zaten tussen de twee Nanotracers *zelfs wanneer deze in dezelfde ruimte vlak bij elkaar geplaatst waren*. Alle meters zijn derhalve ook op het TNO terrein naast elkaar geplaatst; hierbij kwamen inderdaad duidelijke verschillen tussen de meters naar voren. In Figuur 18 zijn de resultaten weergegeven voor een gelijktijdige meting op dezelfde locatie. De meetwaarden van CPC 1 en CPC 2 liggen duidelijk zo goed als bovenop elkaar, met zeer kleine verschillen. Tussen AS330 en de CPCs zit al een verschil, alhoewel de trend vergelijkbaar is, tussen AS340 en de CPCs is het verschil nog groter.

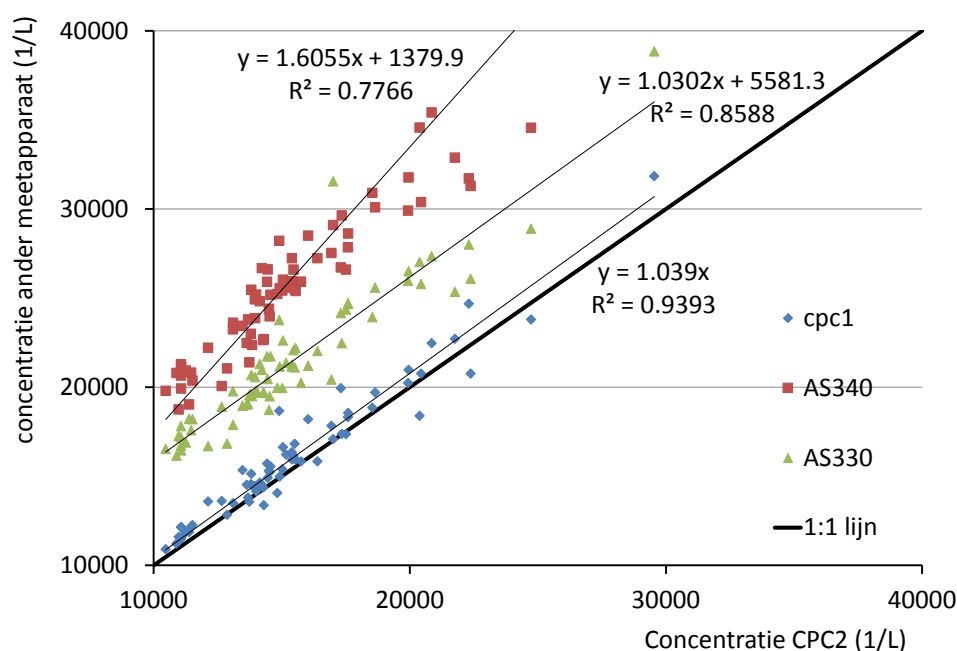


Figuur 18 Signalen met alle meters gelijktijdig op dezelfde locatie (op het TNO terrein). In principe moeten alle meters (zo goed als) hetzelfde signaal geven. Voor CPC1 en CPC 2 is dit duidelijk het geval, voor de Nanotracers is dit helaas niet het geval.

In Figuur 19 zijn alle signalen uitgezet tegen CPC 2. In het ideale geval wordt dan een ideale 1:1 verhouding verkregen (immers, onder dezelfde omstandigheden moeten alle meters zo goed als dezelfde meetwaarden geven), oftewel een rechte lijn door de oorsprong met helling 1, zoals weergegeven door de zwarte lijn. CPC 1 komt duidelijk zeer dicht bij deze 1:1 relatie; de relatie tussen de twee geeft een verschil van ongeveer 4% weer ($CPC1 = CPC2 \cdot 1.039$), hetgeen ruim binnen de $\pm 20\%$ accuratesse valt die door de producent geclaimd wordt. Dit betekent voor de metingen dat deze waarden goed met elkaar vergeleken kunnen worden; de data is ook nog voor deze kleine afwijking gecorrigeerd.

De Nanotracer AS330 heeft in principe dezelfde trend als CPC2, alleen geeft deze structureel ~ 5600 deeltjes/cm³ teveel aan. De nanotracer AS340 echter heeft een zeer grote afwijking ten opzichte van de CPC, AS340 geeft structureel $\sim 70\%$ meer

deeltjes aan. Tevens is er, gegeven de lage R^2 waarde, geen duidelijke lineaire relatie tussen de signalen van deze Nanotracer en CPC2. Hierbij moet wel gezegd worden dat de in Figuur 19 getoonde correlatie ($C_{AS340} = 1.6055 \cdot C_{CPC2} + 1379.9$) zeer sterk beïnvloed wordt door een enkele uitbijter (de zeer hoge piek in Figuur 18), echter als deze weggelaten wordt uit de data is de overeenkomst tussen de AS340 data en de andere apparaten gedurende de test in het kinderdagverblijf (waar de concentraties lager waren) nog slechter. Vanwege deze twijfel m.b.t. de data van AS340 is deze dan ook verder buiten beschouwing gelaten bij de beoordeling van de resultaten.



Figuur 19 Vergelijking tussen de verschillende meters. Meetwaarden van CPC1, AS340 en AS330 uitgezet tegen de overeenkomstige waarde van CPC2. Een goede 1:1 overeenkomst wordt door de zwarte dikke lijn weergegeven. CPC 1 komt duidelijk zeer dicht bij deze 1:1 relatie. AS330 heeft in principe redelijk dezelfde trend als CPC2, alleen geeft deze structureel ~5600 deeltjes/cm³ teveel aan. AS340 geeft niet alleen een veel hogere waarde, maar ook is de relatie tussen de output van deze meter en CPC2 niet geheel lineair meer te noemen, gegeven de lage R^2 waarde.

Condensation particle counters zijn meetapparaten die al langere tijd bestaan, en vormen een standaardapparaat voor het meten van nanodeeltjes. De deeltjes worden door een alcohol damp geleid, die vervolgens na afkoeling condenseert op kleine in de lucht aanwezige deeltjes. Deze nemen hierdoor in formaat toe en zijn vervolgens groot genoeg dat ze “zichtbaar” zijn voor een laser en detector. Elk deeltje wordt dus daadwerkelijk en individueel gemeten tot een maximum van 100.000 deeltjes/cm³, een grens die niet overschreden is.

De Nanotracer daarentegen is een relatief nieuw instrument. De deeltjes worden gecontroleerd opgeladen en vervolgens wordt de totale lading die deponeert op een filter gemeten. Hieruit wordt door kalibratie een correlatie tussen de van het filter afkomstige stroom, en de deeltjesaantallen en gemiddelde deeltjesgrootte verkregen. Alhoewel de techniek sneller werkt en dus een betere tijdsresolutie geeft, wordt er door de Nanotracer dus een afgeleide grootheid gemeten, terwijl in de CPC in principe ieder deeltje afzonderlijk gemeten wordt. Dat, gekoppeld aan de

zeer goede overeenkomst tussen de door de CPCs gemeten waarden⁹ zorgt ervoor dat in geval van twijfel de CPC waarden als meest betrouwbaar worden geacht.

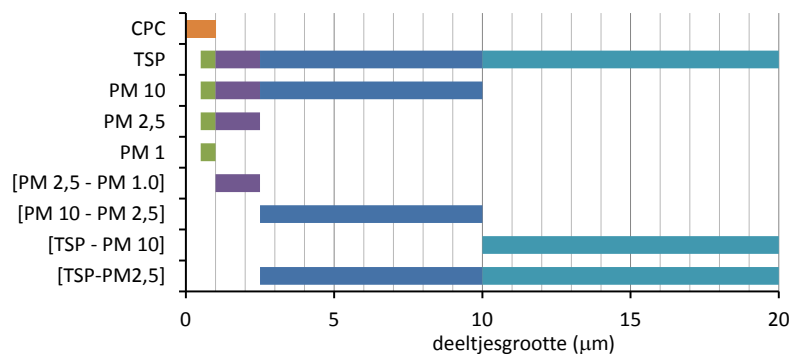
⁹ Alsook de observatie dat er gedurende de meetdag significante verschillen zaten tussen de twee Nanotracers zelfs wanneer deze dicht naast elkaar in dezelfde ruimte geplaatst waren.

Appendix 5: Deeltjesgrootten

De Osiris meters meten deeltjes van 0.5 tot 20 micrometer via lichtverstrooiing. Hierbij worden de aantallen omgerekend naar een massaconcentratie in verschillende deeltjesgrootte categorieën, namelijk:

- Total suspended particles (TSP): de massa van alle inkomende deeltjes tezamen
- PM₁₀: de massa van alle deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer.
- PM_{2,5}: de massa van alle deeltjes kleiner dan 2,5 micrometer
- PM₁: de massa van alle deeltjes kleiner dan 1 micrometer

Deze definities betekenen dat TSP gelijk is aan PM₁₀ *plus* de massa van alle deeltjes met een grootte tussen 10 en 20 micrometer, PM₁₀ weer gelijk aan de massa van PM_{2,5} *plus* de massa van alle deeltjes met een grootte tussen 2,5 en 10 micrometer etc. (Figuur 20).



Figuur 20 Overzicht van de opbouw van de verschillende deeltjesgrootte categorieën in het meetbereik van de Osiris meter. Voor de volledigheid is ook het door de CPCs gemeten bereik weergegeven. Alhoewel de PM1 categorie en de door de CPC gemeten deeltjes enigszins overlappen, moet opgemerkt worden dat, aangezien de CPCs aantallen deeltjes en niet de massa van deeltjes rapporteren, bij de CPCs de deeltjes < 100 nm zullen domineren, aangezien deze deeltjes veel talrijker zijn. De PM1 categorie wordt juist gedomineerd door de deeltjes die de meeste massa bijdragen, dit zijn degene die het grootst zijn en dus de deeltjes van bijna 1 micrometer.

Appendix 6: Logboeken

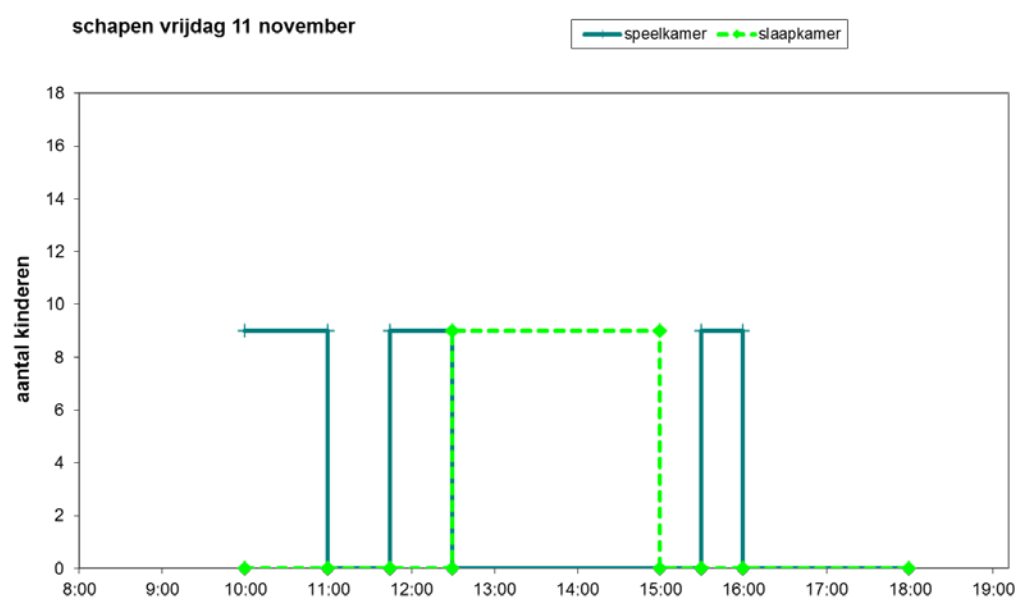
Aanwezigheid

Tijdens de metingen zijn de randvoorwaarden zoals het aantal aanwezige personen, eventueel open staande ramen en deuren en andere bijzonderheden door het personeel van het kinderdagverblijf door middel van een logboek bijgehouden. Tabel 9 geeft een overzicht van het maximum aantal kinderen in de schapen en dolfijnen groep uitgesplitst naar speel- en slaapkamer.

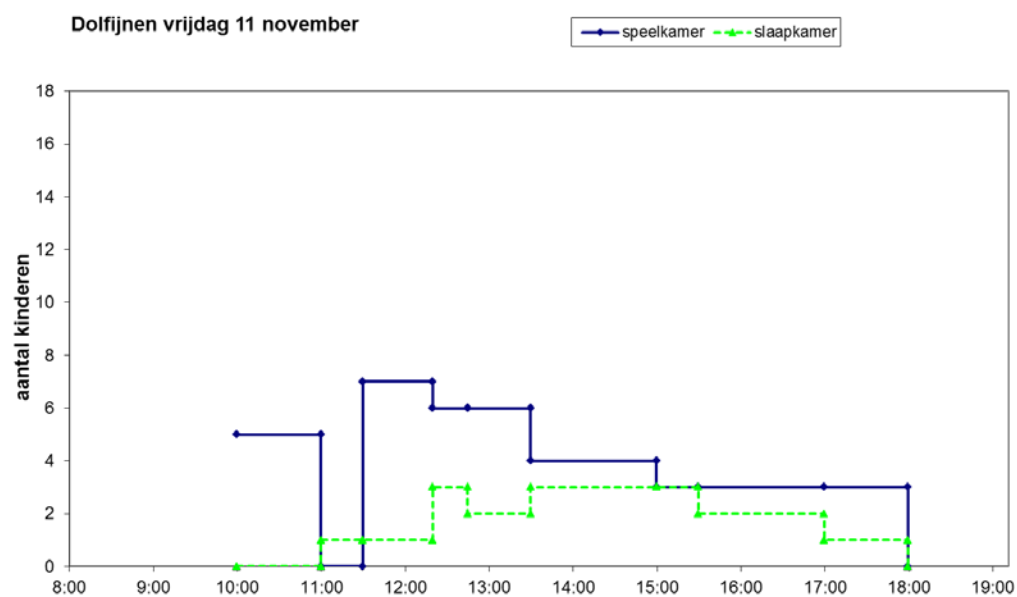
		Schapen		Dolfijnen (referentie)		
		kinderen speelkamer	kinderen slaapkamer	totaal	kinderen speelkamer	kinderen slaapkamer
	totaal					
vrijdag 11 november	11	9	11	9	7	3
maandag 14 november	19	16	13	11	7	4
dinsdag 15 november	18	15	13	10	8	5
woensdag 16 november	12	10	12	11	9	4
donderdag 17 november	15	12	12	13	11	6
vrijdag 18 november	10	8	13	11	9	6
maandag 21 november	19	16	13	9	7	3
dinsdag 22 november	18	15	13	8	6	6
woensdag 23 november	13	11	11	6	4	3
donderdag 24 november	14	11	11	13	11	5
vrijdag 25 november	9	7	13	11	9	5
maandag 28 november	18	15		7	5	2

Tabel 9 Aanwezigheidsaantallen in de schapen en dolfijnen groep. Het totaal is aantal aanwezige personen in deze groep; betreft dus de kinderen én de leidsters. Op maandag, dinsdag en donderdag waren er in de schapen groep 3 leidsters, op woensdag en vrijdag 2. In de dolfijnengroep waren er altijd 2 leidsters. De aantallen kinderen betreft het maximum aantal tegelijk aanwezige kinderen.

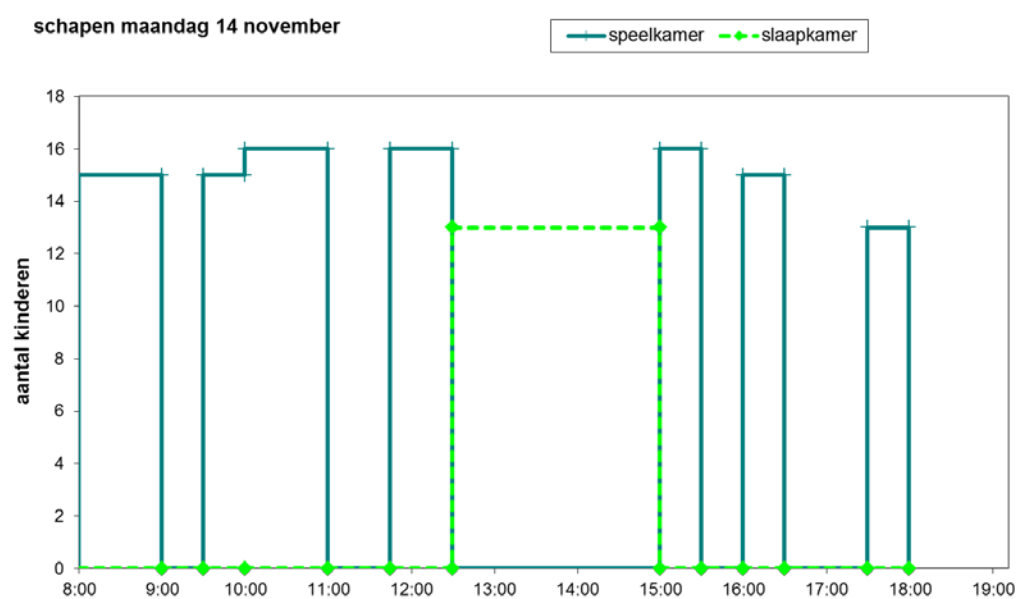
Figuur 21 tot en met Figuur 26 geven een indruk in de aanwezigheidspatronen van de kinderen gedurende de dag. De schapen is een zogenaamde horizontale groep in de leeftijd van 1,5 - 3 jaar. De dolfijnengroep is een zogenaamde verticale groep waar kinderen van alle leeftijden tussen 0 - 4 jaar zitten. Dit verschil komt duidelijk tot uiting in de aanwezigheidspatronen. In de Schapen gaan alle kinderen tegelijk naar bed en komen ook ongeveer op hetzelfde moment uit bed. In de Dolfijnen zijn ook zeer jonge kinderen die gedurende de hele dag in bed worden gelegd en uit bed worden gehaald. In de Schapen groep gaan alle kinderen tegelijkertijd lunchen in de centrale hal (tussen 11 en 12 uur) en eten op hetzelfde moment een fruithapje (tussen 15.00 en 15.30 uur).



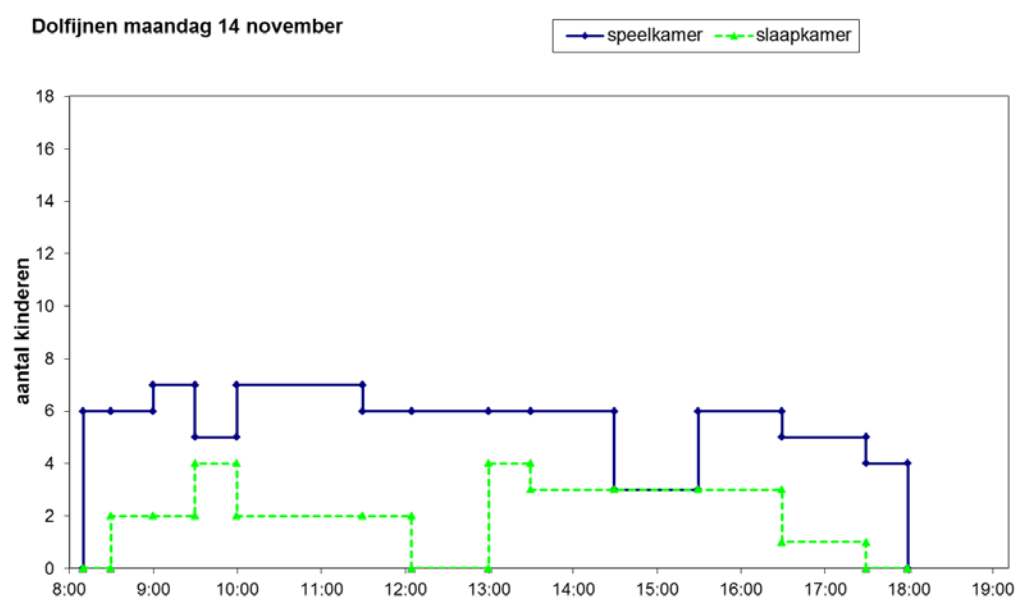
Figuur 21 Aanwezigheidspatroon van de kinderen in de slaap- en speelkamer. In de periode van 12.12 – 16.35 uur zijn in de slaapkamer ultra fijn stof metingen verricht.



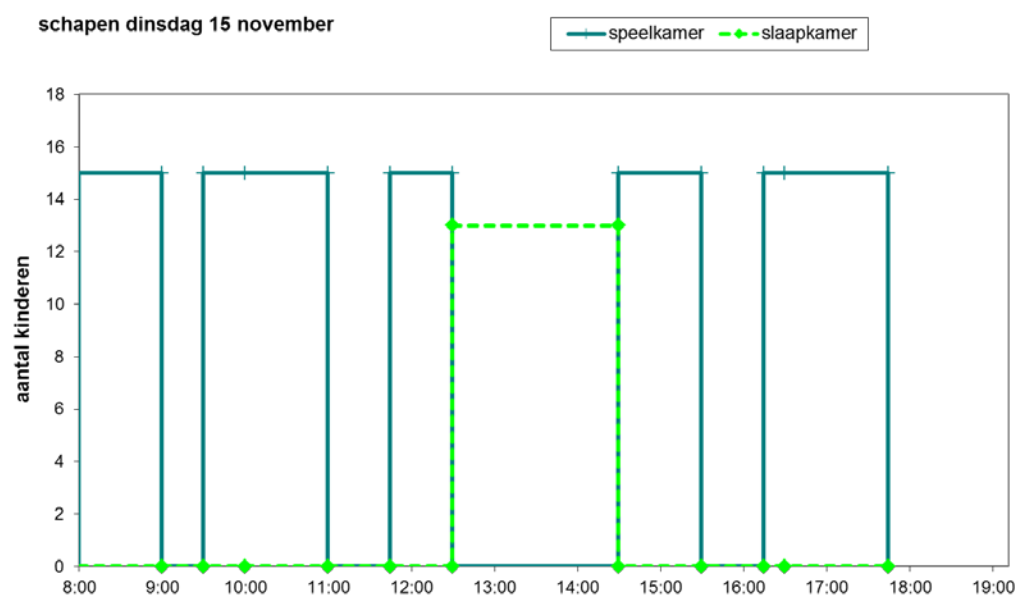
Figuur 22 Aanwezigheidspatroon van de kinderen in de slaap- en speelkamer. In de periode van 12.12 – 16.35 uur zijn in de slaapkamer ultra fijn stof metingen verricht.



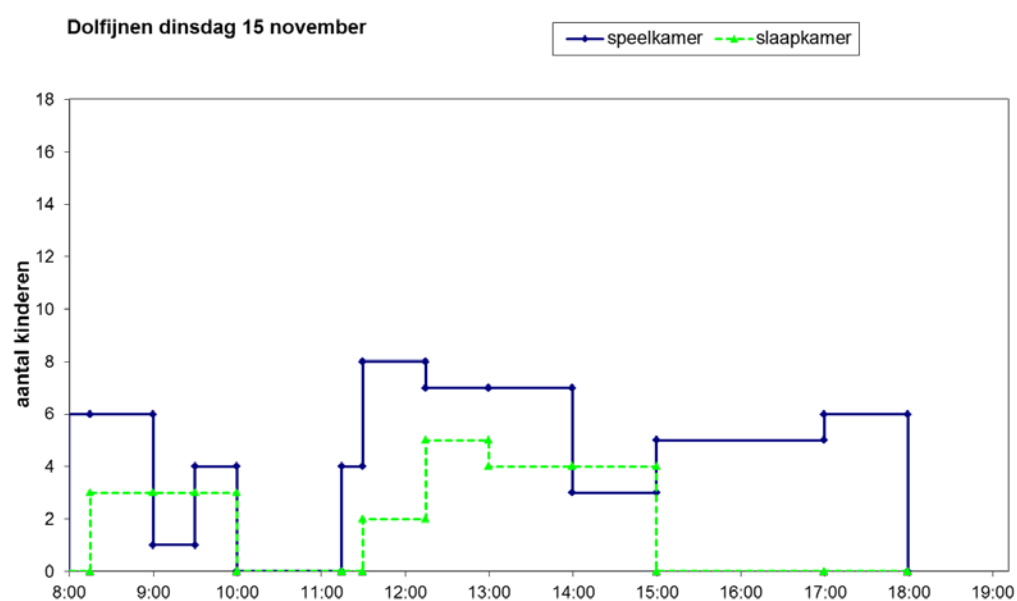
Figuur 23 Aanwezigheidspatroon van de kinderen in de slaap- en speelkamer.



Figuur 24 Aanwezigheidspatroon van de kinderen in de slaap- en speelkamer.



Figuur 25 Aanwezigheidspatroon van de kinderen in de slaap- en speelkamer.



Figuur 26 Aanwezigheidspatroon van de kinderen in de slaap- en speelkamer.

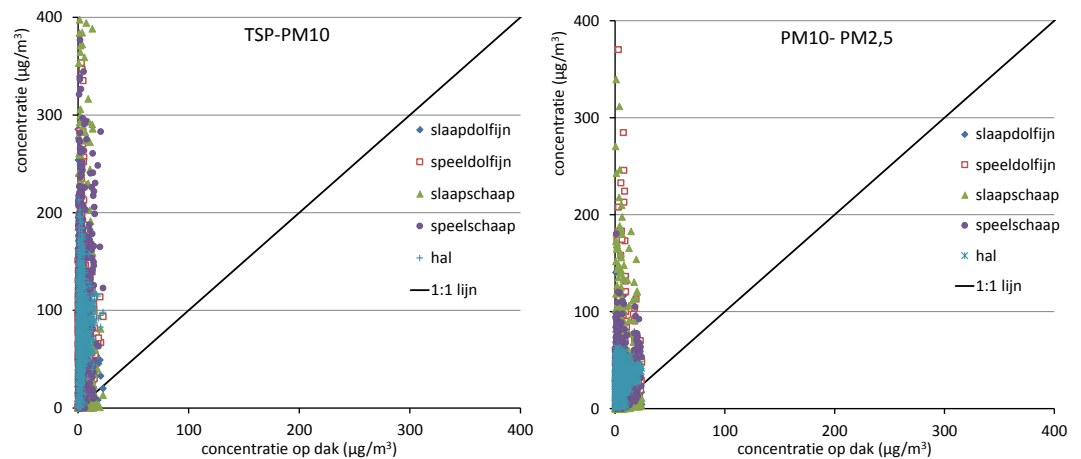
Open deuren

Bij de Schapen doen elke dag tussen 10 - 11 uur mee aan de zogenaamde “open deuren” activiteit. Hierbij staan de binnendeuren open van de slaapkamer tussen de Beren en de Schapen en van de verschoonruimte tussen de Geiten en de Schapen (zie plattegrond in Appendix 3).

De Dolfijnen groep doet niet mee aan de “open deuren” activiteit. Wel staat hier de meeste dagen tussen 9 en 10 uur en tussen 16 en 17 uur de deur naar de hal een gedurende een half uur open.

Appendix 7: Infiltratiecoëfficiënten TSP en PM₁₀

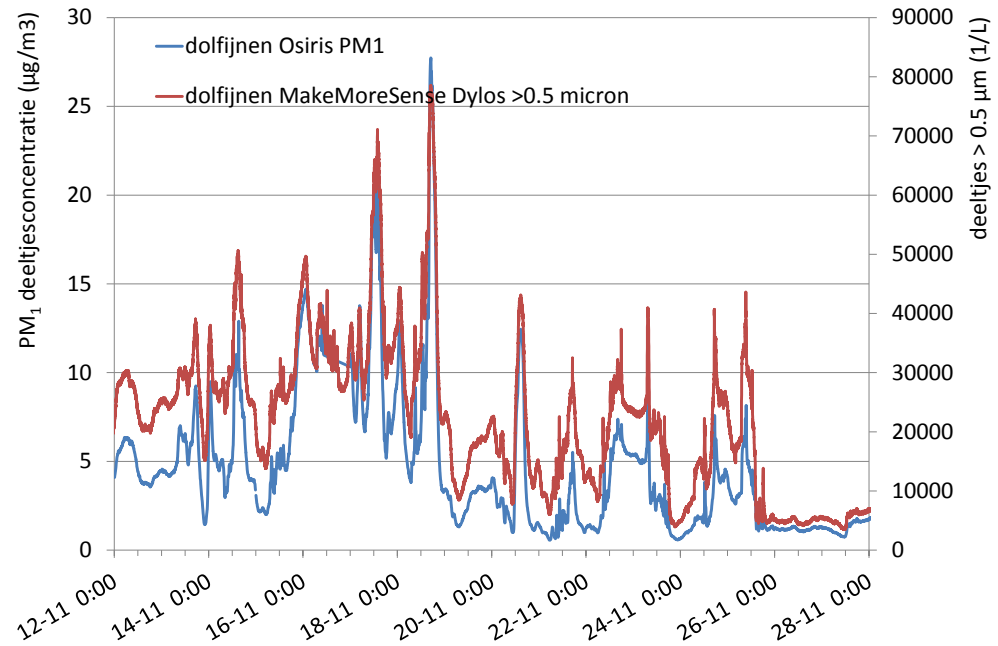
Figuur 27 geeft de infiltratiecurves voor TSP-PM₁₀ en PM₁₀-PM_{2,5}. Uit deze figuren blijkt direct dat voor het grove stof (alle deeltjes tussen de 2,5 en 20 micrometer) er geen relatie is tussen de concentratie buiten en die in eender welke ruimte van het kinderdagverblijf, zo goed als alle punten vallen boven de 1:1 lijn. Het bepalen van een infiltratiecoëfficiënt is derhalve zinloos



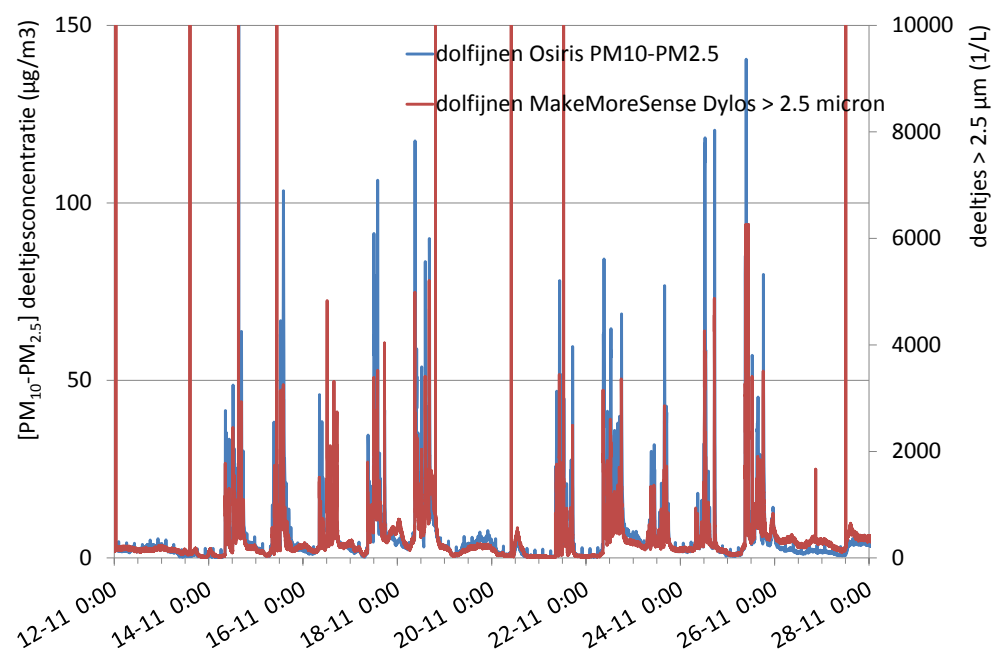
Figuur 27 Correlatie tussen de concentratie op het dak en de concentratie in de dolfijnen- en in de schapenslaapkamer voor [TSP-PM₁₀] (links) en [PM₁₀-PM_{2,5}] (rechts), voor die delen van de dag dat de ventilatie aanstaat. De schuine zwarte lijnen geven een 1:1 verhouding tussen binnen en buiten weer, (dus wanneer de concentratie binnen exact gelijk is aan die buiten). Het mag duidelijk zijn dat de concentratie buiten veel lager is dan die binnen en dat de buitenconcentratie dus geen merkbare invloed op de concentratie binnen heeft.

Appendix 8: MakeMoreSense Dylos fijn stof meter

In Figuur 28 en in Figuur 29 wordt een vergelijking gemaakt tussen de meetresultaten van de MakeMoreSense Dylos en de Osiris. Alhoewel beide apparaten dezelfde pieken zien, verschilt de respons met name bij de deeltjes groter dan $2,5\ \mu\text{m}$ tussen de twee significant. Soms komen de waarden overeen, maar op andere momenten wijken de apparaten ook weer flink af.



Figuur 28 MakeMoreSense Dylos > $0,5\ \mu\text{m}$ (rechter as) versus Osiris PM₁ (linker as) in de dolfijnenslaapkamer



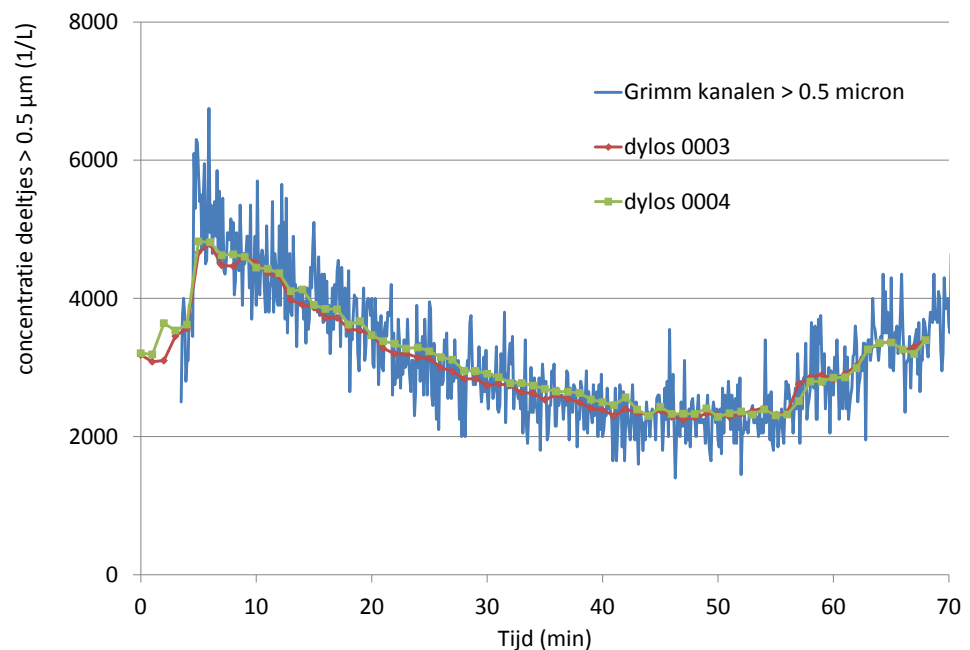
Figuur 29 MakeMoreSense Dylos > 2,5 μm (rechter as) versus Osiris $\text{PM}_{10}\text{-PM}_{2,5}$ (linker as) in de dolfijnenslaapkamer.

De MakeMoreSense Dylos meet alle deeltjes groter dan 0,5 μm , en rapporteert deeltjes aantallen in twee klassen, nl. deeltjes groter dan 0,5 μm (>0,5 μm) en groter dan 2,5 μm (>2,5 μm). In figuur 28 worden de aantallen van de kleinste deeltjes gemeten door de MakeMoreSense Dylos (>0,5 μm) vergeleken met de kleinste deeltjes gemeten door de Osiris, namelijk de categorie PM_{10} . In figuur 29 worden de deeltjes >2,5 μm gemeten door de MakeMoreSense Dylos vergeleken met de categorie $\text{PM}_{10}\text{-PM}_{2,5}$ van de Osiris.

Deze categorieën zijn met elkaar vergeleken omdat ze qua grootte het meeste overlappen, maar vanwege de verschillen in de twee apparaten is een vergelijking eigenlijk zeer moeilijk te maken. De MakeMoreSense Dylos geeft immers aantallen, terwijl de Osiris de deeltjesconcentratie in gewicht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) rapporteert. Echter, deeltjesconcentraties gemeten in aantallen, zoals gerapporteerd door de MakeMoreSense Dylos worden normaal gesproken altijd gedomineerd door de kleinere deeltjes (dus ingeval de klasse >0,5 μm door deeltjes van 0,5 μm en niet deeltjes van 0,8 of 1,0 μm). Grotere deeltjes dragen per deeltje veel meer in massa bij en bij de Osiris wegen dan ook juist de grote deeltjes veel zwaarder mee (dus voor PM_{10} de deeltjes van 0,8 en 0,9 μm , en niet de deeltjes van 0,5 μm). Hierdoor gaat de kwantitatieve vergelijking tussen de twee apparaten, zoals overigens vooraf verwacht, scheef.

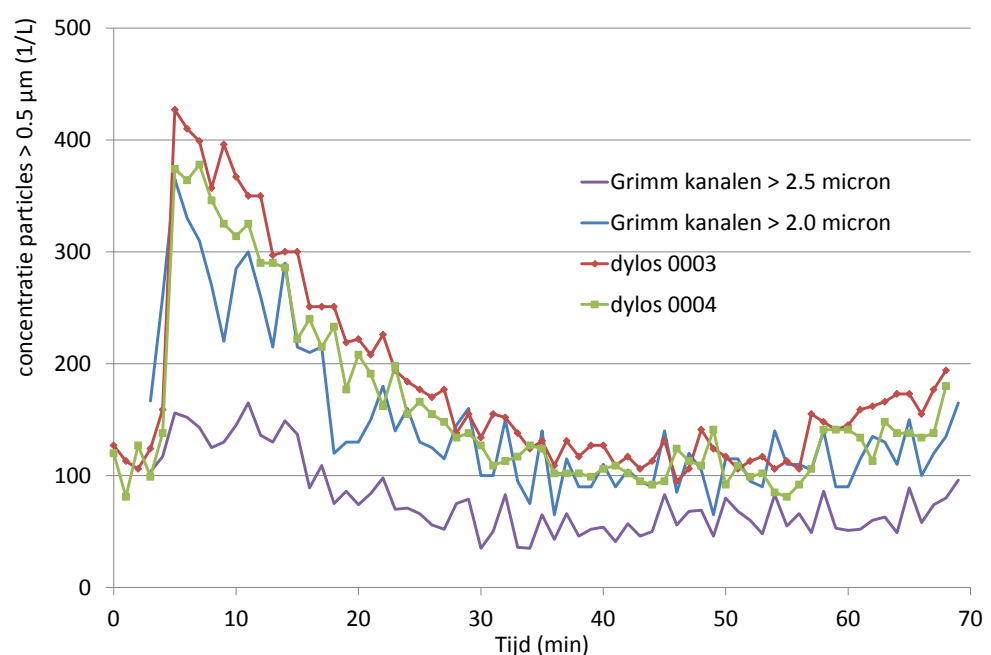
Kwalitatief is er echter wel een goede overeenkomst zichtbaar, beiden werken immers op ongeveer hetzelfde principe en zullen dus deeltjes in dezelfde grootte categorie meten. Beide apparaten registreren dan ook wel dezelfde pieken, alleen de mate waarin ze deze registreren verschilt significant.

Naast deze praktijkdata zijn de twee MakeMoreSense Dylos sensoren in het laboratorium vergeleken met een Grimm 1.109 Optical Particle Spectrometer, zie Figuur 30 en Figuur 31. De 1.109 rapporteert wel deeltjesaantallen, in 30 verschillende grootte categorieën, van 0.25 μm tot 34 μm , en is zeer nauwkeurig gekalibreerd,



Figuur 30 Vergelijking Dylos > 0,5 micron versus Grimm.

De som van alle deeltjes >500 nm gemeten door de Grimm komt zeer goed overeen met de Dylos. De Grimm geeft een meetwaarde eens per 6 seconden, de Dylos eens per minuut, vandaar dat er meer fluctuatie in de Grimm zit. Als niet 1 meetpunt per 6 seconden maar het gemiddelde per minuut genomen wordt voor de Grimm is de overeenkomst nog veel beter. Ook onderling kloppen de Dylossen goed. De overeenkomst tussen de Grimm en de Dylos voor deeltjes >2,5 micron is minder goed. Dit wordt echter beter als voor de Grimm niet de categorieën >2,5 micron maar vanaf 2,0 micron opgeteld worden, de grens tussen de verschillende deeltjesgrootten ligt dus waarschijnlijk iets anders voor de Dylos.



Figuur 31 Vergelijking Dylor > 2,5 micron versus Grimm.

7 Ondertekening

Delft, juni 2012

Drs. P.M. van Hoorik
Afdelingshoofd

ir. P. Jacobs
Auteur