



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Ventileren langs een drukke weg

Pilot: meting aan de voor- en achterzijde van een gebouw

Briefrapport 609300025/2011

W.I. Hagens | E.M. van Putten | N.J.C. van Belle |
A.J.P. van Overveld



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Ventileren langs een drukke weg

Pilot: meting aan de voor- en achterzijde van een gebouw

RIVM Briefrapport 609300025/2011
W.I. Hagens et al.

Colofon

© RIVM 2011

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

W.I. Hagens (centrum Gezondheid en Milieu), Centrum Inspectie-,
Milieu en Gezondheidsadvisering
E.M. van Putten
N.J.C. van Belle
A.J.P. van Overveld

Contact:
Werner I. Hagens
Centrum gezondheid en Milieu
werner.hagens@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport, in het kader van Project ondersteuning GGD'en

Rapport in het kort

Ventileren langs een drukke weg

Pilot: luchtmeting aan de voor- en achterzijde van een gebouw

Het RIVM heeft met de GGD'en IJsselland en regio Twente een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de luchtkwaliteit bij een vrijstaand schoolgebouw aan een drukke weg. Hieruit bleek dat de luchtkwaliteit aan de achterkant van het gebouw beter is dan aan de kant van het gebouw die aan de weg ligt, onafhankelijk van de windrichting. Dit onderzoek helpt de GGD om een onderbouwd advies te geven over ventilatie langs een drukke weg.

Ventilatie van gebouwen is van belang voor de gezondheid. Bij ventileren wordt de binnenlucht vervangen voor een gelijke hoeveelheid buitenlucht. Hierdoor wordt verse lucht toegevoegd en verontreinigende stoffen afgevoerd. Ook op milieubelaste locaties met veel luchtverontreiniging, bijvoorbeeld langs een drukke weg, is voldoende ventilatie van belang. Daarom is het een logische gedachte om vooral te ventileren aan de kant waar de luchtkwaliteit het beste is. Dat was is deze verkennende studie de achterzijde van het gebouw.

Voor het onderzoek zijn gedurende twee maanden stikstofoxiden en zwarte rook gemeten aan de voorzijde van het gebouw, die aan de weg ligt, aan de achterkant en binnen. Deze stoffen zijn indicatoren voor de luchtkwaliteit in relatie tot wegverkeer. Door de beperkte opzet van deze studie kunnen de uitkomsten niet worden gebruikt voor andere gebouwen. Meer gegevens zijn nodig om een algemeen antwoord te krijgen op de vraag of de luchtkwaliteit aan de achterzijde van een gebouw beter is dan aan de voorzijde. Het gaat hierbij om metingen in de spits en daarbuiten, bij verschillende gebouwen, met verschillende soorten bebouwing in de omgeving, bij verschillende afstanden tot de weg, de invloed van begroeiing bij gebouwen en situaties met meerdere vervuillingsbronnen.

Trefwoorden:

ventileren, verkeer, binnenklimaat

Inhoud

Samenvatting—5

1 Inleiding—6

- 1.1 Achtergrond—6
- 1.2 Adviesvraag GGD—6
- 1.3 Aanpak—6
- 1.4 Onderzoeksvragen en hypothesen—7

2 Onderzoeksopzet—8

- 2.1 Selectie locatie—8
- 2.2 Meetplan—9
 - 2.2.1 NO_x en zwarte rook als indicator voor verkeersemissie—10
 - 2.2.2 CO₂ als indicator van binnenluchtkwaliteit—11
- 2.3 Praktische uitvoering—12
 - 2.3.1 Meetperiode—12
 - 2.3.2 Technische beperkingen bij de metingen—12

3 Resultaten—13

- 3.1 NO_x metingen—13
- 3.2 Zwarte rook—15
- 3.3 CO₂ meting—16

4 Conclusie—18

- 4.1 Beperkte opzet pilotonderzoek—18
- 4.2 Bespreken van de resultaten—18
- 4.3 Beantwoorden onderzoeksvragen—19
- 4.4 Toetsen hypothesen—20

5 Discussie—21

Referenties—22

Bijlage—24

Samenvatting

Ventilatie van gebouwen is van belang voor de gezondheid van de mensen in het gebouw omdat luchtverversing behalve voor de toevoer van verse lucht ook nodig is voor de afvoer van verontreinigende stoffen die de kwaliteit van de binnenlucht nadelig beïnvloeden. Met voorlichting proberen GGD-medewerkers burgers bewust te maken van het belang van goede ventilatie. Ook op milieubelaste locaties met veel luchtverontreiniging, bijvoorbeeld langs een drukke weg, is voldoende ventilatie van belang. Om een goed onderbouwd advies te geven over op welke manier het beste geventileerd kan worden hebben GGD IJsselland en GGD regio Twente een projectvoorstel ingediend bij het RIVM.

In dit verkennende onderzoek zijn metingen uitgevoerd aan de voorzijde en achterzijde van een relatief eenvoudig vrijstaand schoolgebouw, gelegen aan een drukke provinciale weg en binnen het gebouw. Daar werden twee stoffen gemeten die als marker gebruikt worden voor de luchtkwaliteit in relatie tot het wegverkeer, namelijk stikstofoxiden (NO_x : combinatie NO en NO_2) en zwarte rook. Ook is CO_2 gemeten als indicator voor de binnenluchtkwaliteit.

Uit de resultaten van deze pilotstudie blijkt dat de NO_x concentratie aan de kant van de weg hoger is dan aan de achterkant van het gebouw. In de binnenlucht zijn de gemeten concentraties NO_x lager dan in de buitenlucht (zowel gemeten aan de voor als achterzijde). De concentratie NO_x in de binnenlucht volgt tijdens de ochtendspits (met een vertraging) het patroon van de gemeten concentratie NO_x in de buitenlucht, waarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezige mechanische ventilatie en het gebruik van ramen en deuren. Na de ochtendspits, als de buitenluchtconcentratie NO_x afneemt, neemt de binnenluchtconcentratie NO_x zonder vertraging direct af. Het aanzuigpunt van de mechanische ventilatie is gelegen aan de westkant van het gebouw. Er zijn extra (kwantitatieve) studies nodig om de invloed van het tijdstip van ventileren en de plek van het innamepunt voor het ventilatiesysteem op de binnenluchtconcentraties te onderzoeken.

Dit pilotonderzoek heeft een oriënterend karakter. Er zijn gedurende een beperkt aantal weken bij één vrijstaand gebouw nabij een drukke weg metingen uitgevoerd. De resultaten en conclusies die hier gerapporteerd worden zijn enkel van toepassing op het in dit project gemeten gebouw.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Ventilatie van gebouwen is van belang voor de gezondheid van de mensen in het gebouw omdat luchtverversing behalve voor de toevoer van verse lucht ook nodig is voor de afvoer van verontreinigende stoffen die de kwaliteit van de binnenlucht nadelig beïnvloeden. Het principe van goede ventilatie is dat voldoende vervuilde binnenlucht naar buiten wordt afgevoerd en dat er een gelijke hoeveelheid buitenlucht wordt aangevoerd. Hierdoor is de binnenluchtkwaliteit o.a. afhankelijk van de kwaliteit van de aangevoerde buitenlucht. Allerlei stoffen die in het binnenmilieu vrijkomen, zoals vocht, tabaksrook en radon, kunnen zich bij onvoldoende ventilatie ophopen. Dit kan gepaard gaan met onder andere geurhinder en gezondheidsklachten (Duijm et al., 2009).

De kwaliteit van de buitenlucht wordt lokaal beïnvloed door onder ander het wegverkeer. Door het verkeer worden allerlei luchtverontreinigende stoffen uitgestoten, zoals fijnstof (PM10), stikstofoxiden (NO en NO₂: tezamen NO_x), benzeen en PAK's. Ter hoogte van de weg zullen de concentraties van deze stoffen het hoogst zijn en met toenemende afstand tot de weg zal de concentratie van deze stoffen afnemen (Fischer et al, 2007).

Met voorlichting proberen GGD-medewerkers burgers bewust te maken van het belang van goede ventilatie. Ook op milieubelaste locaties waar mogelijk luchtverontreiniging kan voorkomen, bijvoorbeeld langs een drukke weg, is voldoende ventilatie van belang. Mogelijk is de locatie van het inlaatpunt van het ventilatiesysteem (aan de straatkant of aan de achterkant van het gebouw) van invloed op de kwaliteit van de aangevoerde lucht in het gebouw. Eerder onderzoek van het RIVM naar de invloed van bebouwing op luchtkwaliteit concludeerde dat de invloed van grote gebouwen op de luchtkwaliteit complex is en kan leiden tot gemiddeld hogere concentraties NO₂ aan de achterzijde van het gebouw. Aangegeven werd dat complexe wervelingen hiervan mogelijk de oorzaak waren. Wellicht speelt naast de hoogte ook de lengte van een gebouw een rol. Het bestudeerde gebouw in de studie was hoog, maar niet breed (Bloemen et al, 2007a). Echter, als er niet wordt geventileerd op milieubelaste locaties, kan de kwaliteit van de binnenlucht toch slechter zijn dan die van de buitenlucht omdat ook in een gebouw stoffen vrij kunnen komen.

1.2 Adviesvraag GGD

De GGD wil graag een goed onderbouwd advies geven aan mensen die verblijven in gebouwen langs een drukke weg over de manier waarop het beste geventileerd kan worden. Daarom hebben GGD IJsselland en GGD regio Twente een projectvoorstel ingediend voor het werkplan 2009 van het RIVM/cGM met als doel om meer inzicht te krijgen in de luchtkwaliteit aan de voor- en achterzijde van een gebouw nabij een drukke weg. Om deze vraag te beantwoorden is door het RIVM/cGM een pilotonderzoek uitgevoerd.

1.3 Aanpak

Het RIVM heeft samen met de GGD'en IJsselland, regio Twente en Hulpverlening Gelderland Midden een projectplan opgesteld. In dit plan zijn de

onderzoeksvragen en –methode verder geconcretiseerd. Hiervoor zijn ook enkele experts geconsulteerd. De metingen zijn uitgevoerd door het RIVM.

Er bestaan verschillende manieren om de luchtkwaliteit in een gebouw te verhogen. Zo kunnen mechanische ventilatiesystemen geïnstalleerd worden met filtertoepassingen om de aangevoerde lucht te zuiveren van eventuele verontreinigingen. Echter, het filteren van de lucht valt buiten de vraagstelling van dit onderzoek. De GGD Amsterdam heeft een studie uitgevoerd waar het gebruik van deze techniek is onderzocht in scholen nabij een zeer drukke weg (Dijkema, 2009).

1.4 Onderzoeksvragen en hypothesen

Samen met de GGD zijn de volgende hypothesen geformuleerd:

1. Het is zinvol om het aanzuig/inlaatpunt van ventilatiesystemen aan die zijde van een gebouw aan te brengen waar de weg niet loopt (onbelaste zijde).
2. Het is belangrijk dat de periode van ventileren zo gekozen wordt dat geventileerd wordt bij een zo goed mogelijke buitenluchtkwaliteit (concreet: buiten de spits)
3. De periode van ventileren is van grotere invloed op de kwaliteit van de binnenlucht dan de locatie waar de lucht vandaan komt.

Om deze hypothese te onderzoeken zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

1. Is de buitenluchtkwaliteit aan de zijde van de weg lager dan aan de andere zijde?
2. Is er een relatie tussen buitenluchtkwaliteit en binnenluchtkwaliteit?
3. Zo ja, Wat is de relatie tussen de buitenluchtkwaliteit en de binnenluchtkwaliteit?
4. Is op basis van dit onderzoek vast te stellen of de locatie van het aanzuigpunt invloed heeft op luchtkwaliteit binnen?
5. Wat is de invloed van het tijdstip van ventileren op de binnenluchtkwaliteit?
6. Is deze invloed groter dan de invloed die de locatie van het innamepunt van de lucht op de binnenluchtkwaliteit heeft.

2 Onderzoeksopzet

2.1 Selectie locatie

In dit pilotonderzoek is ervoor gekozen om de metingen uit te voeren rond één relatief eenvoudig vrijstaand gebouw: een basisschool. Andere soorten gebouwen zijn door de beperkte opzet van dit onderzoek niet meegenomen.

Luchtkwaliteit in basisscholen is een belangrijk werkveld van GGD'en. Een niet optimaal binnenmilieu kan een negatief effect hebben op de prestaties van leerlingen. Daarnaast heeft het uitvoeren van de metingen op een school tot voordeel dat de uitvoering een beperkt hindereffect veroorzaakt omdat veel minder in de persoonlijke levenssfeer wordt ingegrepen dan bij metingen binnen bij mensen thuis. Ook is beter controleerbaar wat de effecten op de luchtkwaliteit zijn van de aanwezigheid van de mensen in het gebouw, omdat deze aanwezigheid bij een school een relatief vast rooster volgt.

Bij de selectie van de basisschool waren een aantal zaken van belang:

- De school moest op relatief korte afstand van een drukke weg liggen;
- In de nabijheid van de school mochten geen (of weinig) andere vervuilingsbronnen aanwezig zijn in verband met de achtergrondblootstelling;
- Medewerking van de school was noodzakelijk tijdens de duur van de meetperiode voor het plaatsten en aflezen van de meetopstellingen.

De selectie van de onderzoekslocatie is uitgevoerd door GGD IJsselland. De geselecteerde school bevindt zich 50 meter van een provinciale weg, die met ca. 16.000 motorvoertuigen per werkdag 'druk' te noemen is. Tussen de school en de provinciale weg ligt een ventweg en er staan enkele bomen. Het schoolgebouw bestaat uit een benedenverdieping met de klaslokalen met daarop een zolder met een schuin pannendak. In het gebouw is mechanische ventilatie aanwezig. Een foto van de school is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Foto van de oostzijde van de school. Links op de foto is de provinciale weg te zien. Rechts op de foto is de aanhanger te zien van meetlocatie noord (achterzijde).

2.2 Meetplan

Verontreinigde lucht is een complex mengsel dat sterk kan variëren in samenstelling en gehalten. Uit eerder onderzoek is gebleken dat de fijnstof concentratie (PM_{10}) geen goede indicator is voor blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtverontreiniging (Fischer et al, 2007). Betere indicatoren zijn o.a. zwarte rook, NO , NO_2 , polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), ultrafijn stof en benzeen. Binnen dit pilotonderzoek is gezocht naar een methode die op een relatief eenvoudige en snelle manier een indicatie van de luchtkwaliteit rondom het gebouw geeft. Omdat de onderzoekslocatie aan een drukke provinciale weg gelegen is, is er gekozen voor twee stoffen die als marker gebruikt worden voor de luchtkwaliteit in relatie tot het wegverkeer, namelijk stikstofoxiden (NO_x : combinatie NO en NO_2) en zwarte rook. Het grote voordeel van NO_x is dat het continu gemeten kan worden terwijl specifiek zwarte rook een hoge correlatie met verkeersemissies heeft. Deze beide componenten zijn geautomatiseerd meetbaar zonder dat additioneel laboratoriumonderzoek noodzakelijk is. Ook is CO_2 gemeten als indicator van de binnenluchtkwaliteit. Daarnaast is een weerstation geplaatst om meteorologische gegevens te verzamelen tijdens de meetperiode.

In dit onderzoek is op 3 verschillende locaties in en om het gebouw gemeten. Gekozen is voor de volgende opzet:

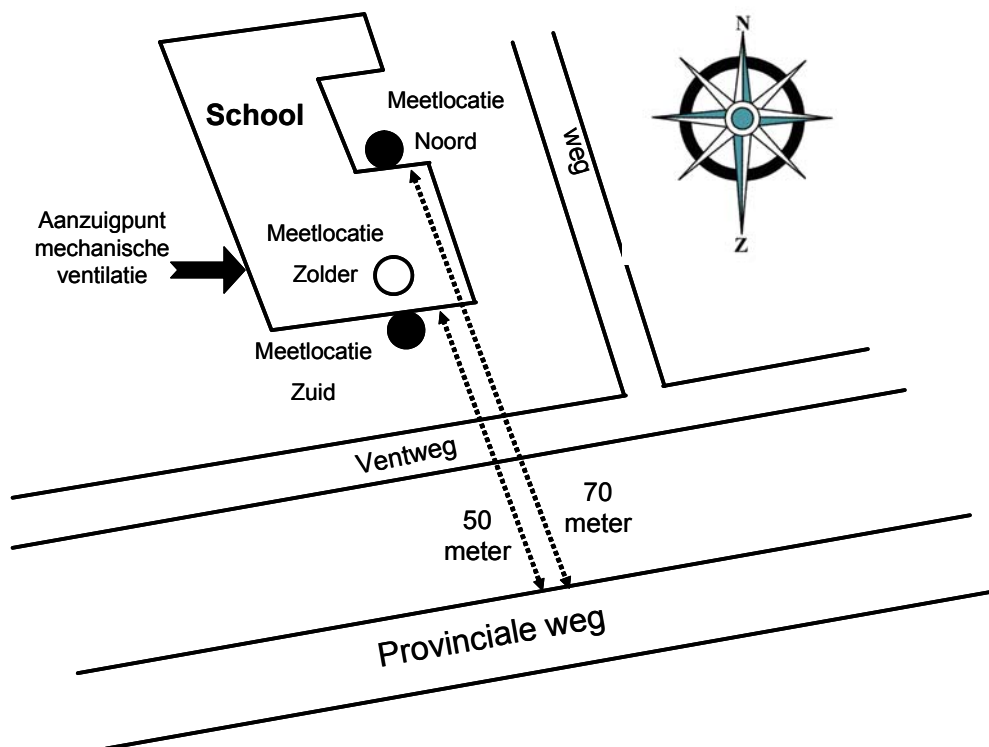
- Meetlocatie zuid: buiten tegen de voorgevel van de school aan de zijde van de weg
 - Meteostation op het dak bij meetlocatie zuid.
- Meetlocatie noord: buiten aan de achterzijde van de school.
- Meetlocatie zolder: In de school op zolder boven een lokaal is een meetopstelling geplaatst, waarbij de apparaten die NO_x en zwarte rook meten de lucht uit het lokaal bemonsteren d.m.v. aanzuiging. De CO_2 meter meet passief en kan geen lucht aanzuigen. De CO_2 meter heeft daarom de concentratie CO_2 gemeten in de lucht op zolder boven de lokalen, niet in de lokalen zelf.

Op alle meetlocaties werden meetapparaten voor NO_x en zwarte rook (aethalometer) geplaatst. Op meetlocatie zolder werd tevens CO_2 gemeten. Daarnaast werd op het dak bij meetlocatie "zuid" een weerstation opgesteld om de windsnelheid en -richting, temperatuur en luchtvochtigheid tijdens het onderzoek vast te leggen. Een overzicht van de gebruikte apparatuur per meetlocatie is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van de gebruikte apparatuur. De bijlage bevat informatie over de werking van de gebruikte apparaten.

Meet-locatie	Stof	Type	producent
noord	NO_x	Ecophysics CLD 700	Ecophysics
	zwarte rook	Aethalometer AE22	Magee Scientific
zuid	NO_x	Ecophysics CLD 700	Ecophysics
	zwarte rook	Aethalometer AE22	Magee Scientific
dak zuid	Meteostation	Vantage pro 2	DAVIS Instruments
zolder	NO_x	TEI NO_x -monitor 42C	ThermoScientific
	zwarte rook	Aethalometer AE42	Magee Scientific
	CO_2	Q-trak	TSI inc

De afstand tussen meetlocatie zuid en de provinciale weg is ongeveer 50 meter. Meetlocatie noord ligt hemelsbreed 70 meter van deze weg af. Een grafische weergave van de basisschool met de meetlocaties is te zien in Figuur 2.



Figuur 2: Schematische weergave van omgeving van de basisschool. In de figuur zijn de 3 meetlocaties aangegeven. De aanwezige mechanische ventilatie heeft een aanzuigpunt aan de westkant van het gebouw (aangegeven met een pijl).

2.2.1 NO_x en zwarte rook als indicator voor verkeersemissie

Door het wegverkeer worden allerlei luchtverontreinigende stoffen uitgestoten. Om deze luchtverontreiniging te kunnen onderscheiden van andere bronnen van luchtverontreiniging wordt ook wel de term verkeersgerelateerde luchtverontreiniging gebruikt. De voornaamste stoffen die voor de gezondheid van belang zijn, zijn de deeltjes en met name de roetdeeltjes (zwarte rook), koolmonoxide (CO), stikstofdioxiden (NO en NO_2 : tezamen NO_x), benzeen en PAK's. Ter hoogte van de weg zullen de concentraties van deze stoffen het hoogst zijn en met toenemende afstand tot de weg zal de concentratie van deze stoffen afnemen (Fischer et al, 2007).

Zwarte rook is een luchtkwaliteitsparameter die dienst kan doen als indicator voor de emissies van verkeer. Uit een verkennende RIVM studie gebaseerd op bestaande gegevens en de meetresultaten van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit blijkt dat zwarte rook vooral door verbrandingsprocessen worden uitgestoten waarvan het verkeer de belangrijkste is in de stedelijke en geïndustrialiseerde omgeving. Hieruit blijkt dat zwarte rook een adequate indicator is voor verkeer (Bloemen et al, 2007b).

NO_x wordt vaak gebruikt als indicator voor de luchtkwaliteit in relatie tot het wegverkeer. In dit onderzoek worden op drie locaties stikstofoxiden (NO_x) en

zwarte rook simultaan gemeten. Als de resultaten van de NO_x metingen de zelfde trend laten zien als de resultaten van de zwarte rook metingen, dan kunnen beide componenten worden toegeschreven aan dezelfde bron, namelijk het verkeer in de nabijheid van de school.

In dit experiment is de concentratie stikstofoxide (NO_x) gemeten in ppm (parts per million). Deze pilotstudie is geen luchtkwaliteitstudie naar verkeersemisatie langs een drukke weg. Voor een luchtkwaliteitstudie naar verkeersemisatie dien je langs de weg te meten en moet de meetopstelling voldoende vrij staan. Dat is in deze studie niet het geval. De meetopstellingen zijn zo gekozen dat er pal naast een gebouw aan de voor- en achterzijde de concentratie NO_x is gemeten om deze met elkaar te vergelijken. Voor de resultaten en conclusie van deze studie is het niet nodig om de NO_x uit te splitsen in NO en NO_2 en vervolgens de concentratie uit te zetten in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

In luchtkwaliteitstudies worden de waarden vaak uitgedrukt in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Voor stikstofdioxide (NO_2) gelden vanaf 1 januari 2010 twee EU grenswaarden. Een jaargemiddelde grenswaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en een uurgemiddelde grenswaarde van $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ die niet vaker dan 18 uur per jaar mag worden overschreden (Van der Zee et al., 2008). Deze grenswaarden zijn gelijk aan de gezondheidkundige advieswaarden van de World Health Organisation (WHO, 2005). Zoals eerder is aangegeven bestaat NO_x uit NO en NO_2 . Als de onderliggende verhouding NO en NO_2 bekend is, kan een schatting gegeven worden van de NO_2 concentratie (in ppm). Deze waarde kan omgerekend worden van ppm naar $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Als de verhouding NO : NO_2 niet bekend is, kan een omrekenfactor gebruikt worden om NO_x naar NO_2 te vertalen (Eerens et al, 2001). Het nadeel van deze methode is de concentratie NO_2 wordt berekend ipv gemeten, wat kan leiden tot onnauwkeurigheden.

2.2.2 *CO₂ als indicator van binnenluchtkwaliteit*

De CO_2 -concentratie in een gebouw wordt gebruikt als indicator van binnenluchtkwaliteit om na te gaan of de ventilatie voldoende is. Bij een CO_2 -concentratie tot 1200 ppm wordt het binnenmilieu door de aanwezigen meestal niet als 'muf' ervaren. Bij hogere concentraties kunnen klachten optreden zoals stank, benauwdheid, concentratiestoornissen, moeheid etc. (Dusseldorp et al 2004, 2007). Uit onderzoek blijkt dat in ruim de helft van de Nederlandse woonkamers de concentratie van 1200 ppm regelmatig wordt overschreden. Dit geldt in mindere mate ook voor slaapkamers (Van Dongen en Vos, 2007). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de concentratie van 1200 ppm CO_2 geen toxicologische grenswaarde is. Pas bij CO_2 -concentraties in de buurt van de 30.000 ppm kunnen gezondheidsklachten ontstaan die direct te wijten zijn aan CO_2 (Dusseldorp et al 2004, 2007).

De concentratie van 1200 ppm CO_2 is een waarde die opgenomen is als capaciteitseis voor ventilatievoorzieningen voor nieuw te bouwen scholen in het bouwbesluit 2003. Daarnaast geeft de Gezondheidsraad in een advies uit 2010 aan dat op basis van de beschikbare gegevens een CO_2 -toetswaarde voor luchtverversing in klaslokalen kan liggen in een betrekkelijk ruim gebied rond 1200 ppm. Echter, de beschikbare wetenschappelijke gegevens hebben onvoldoende zeggingskracht om een wetenschappelijk onderbouwde toetswaarde voor CO_2 aan te geven (Gezondheidsraad 2010). GGD Nederland adviseert een toetswaarde van 800 ppm CO_2 als streefwaarde voor goede ventilatie in scholen (Landelijk centrum medische milieukunde, 2006; Oldenziel et al., 2009).

2.3 Praktische uitvoering

2.3.1 Meetperiode

Vooraf werd besloten dat er 6 weken zou worden gemeten, Uiteindelijk heeft het onderzoek meer dan 2 maanden geduurd, van 22 februari 2010 tot 2 mei 2010 (10 weken). Voor de meting was het noodzakelijk dat er genoeg perioden waren met wind uit verschillende windrichtingen.

2.3.2 Technische beperkingen bij de metingen

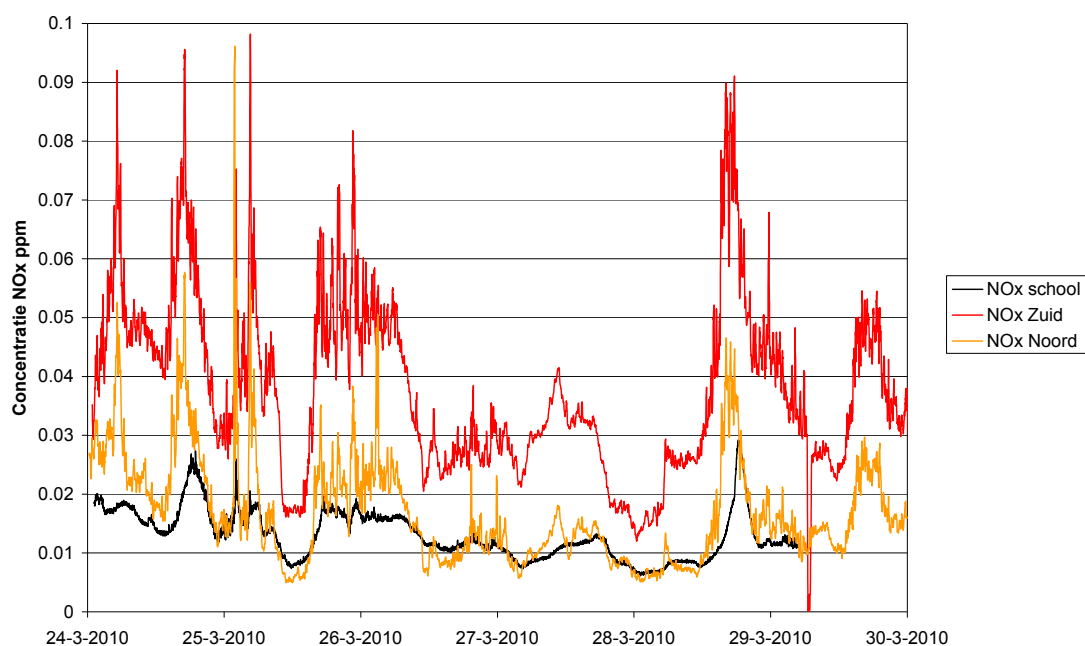
Tijdens de meetperioden hebben zich technische mankementen aan de apparatuur voorgedaan.

- Bij het plaatsen van het meteostation bij de school bleek dat het niet mogelijk was om het station dusdanig vrij neer te zetten dat ook de heersende windrichting bepaald kon worden. Daarom is besloten om informatie over de windrichting te gebruiken van een weerstation dat relatief dicht in de buurt zit van de school: weerstation Hoogeveen.
- De aethalometer (zwarte rook) van meetlocatie zuid heeft tijdens de gehele periode niet goed gefunctioneerd. In het apparaat wordt automatisch iedere 5 minuten de reflectie van het filter bepaald. Als het filter te zwart wordt, wordt automatisch het filter vervangen. Door onbekende oorzaak werkte het automatische filtersysteem niet naar behoren. Daardoor zijn er geen gegevens beschikbaar van de zwarte rook metingen van locatie zuid.

3 Resultaten

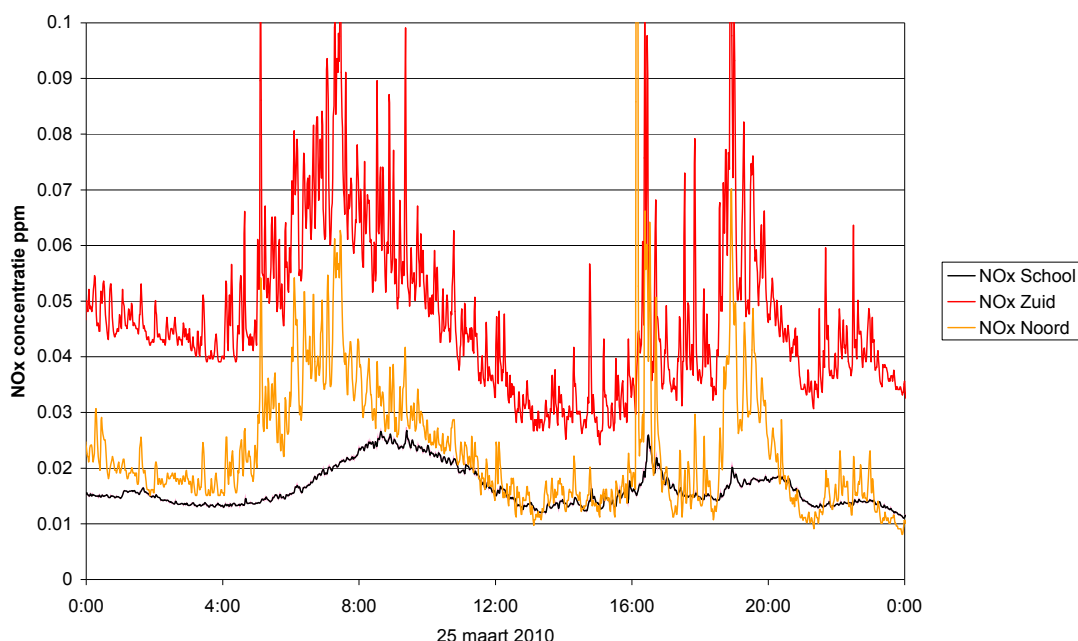
3.1 NO_x metingen

De resultaten van de NO_x metingen zijn in de figuren 3, 4 en 5 op verschillende manieren weergegeven. De NO_x concentratie is op de drie meetlocaties gemeten. Om de informatie in de grafieken overzichtelijker te maken, is er gekozen om de resultaten van 1 week (Figuur 3) en van 1 dag (Figuur 4) weer te geven.



Figuur 3: Resultaten van de NO_x metingen van de drie meetlocaties; Zuid (hoogste lijn), Noord (middellijn) en in de school zelf (onderste lijn). Op de Y-as is de concentratie NO_x in ppm weergegeven. De X-as geeft de tijdsduur aan (1 week: woensdag 24 maart t/m dinsdag 30 maart).

In Figuur 3 zijn duidelijk 3 lijnen te onderscheiden. De lijn met de hoogste waarde geeft de resultaten weer van meetlocatie zuid. Dit is de locatie die het dichtst bij de weg ligt. De middelste (lichte) lijn in Figuur 3 geeft de resultaten weer van meetlocatie noord. Hierbij staat het gebouw tussen de meetlocatie en de weg. De lijn met de laagste waarde geeft de concentratie in het klaslokaal weer. Duidelijk is te zien dat er op doordeweekse dagen meer verkeer is dan in het weekend (27 en 28 maart).

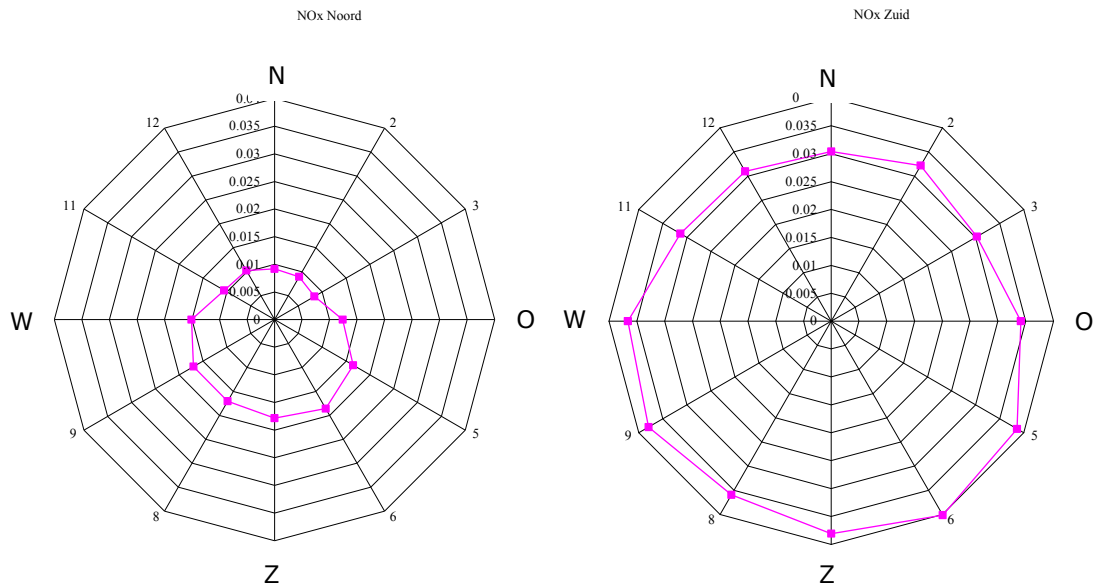


Figuur 4: Resultaten van de NO_x metingen van de drie meetlocaties; Zuid (hoogste lijn), Noord (middellijn) en in de school zelf (onderste lijn). Op de Y-as is de concentratie NO_x in ppm weergegeven. De X-as geeft de tijdsduur aan (1 dag, donderdag 25 maart).

In Figuur 4 zijn de metingen weergegeven van een representatieve doordeweekse dag (donderdag 25 maart 2010). Het dagelijkse verloop van de NO_x concentratie laat zich omschrijven als een brede piek tijdens de ochtendspits en een minder intense verspreide piek tijdens de avondspits, met lagere concentraties daarvoor, daartussen en daarna.

In Figuur 4 is duidelijk te zien dat er in de ochtend (van 6 tot 10, met een piekconcentratie om 8 uur) hogere concentraties NO_x gemeten zijn. In de middag zijn er verschillende periodes te zien met verhoogde NO_x concentraties, zoals rond 16 uur (einde schooldag) en van 17-19 uur (avondspits). In Figuur 4 is ook duidelijk te zien dat alle lijnen hetzelfde patroon volgen, maar dat er een vertraging effect optreedt voor de binnenluchtconcentraties in de ochtend. Een verklaring hiervoor kan zijn dat er na aanvang van de lessen (8 uur) meer geventileerd wordt. Zowel ramen als deuren kunnen worden geopend en er is mechanische ventilatie in het gebouw aanwezig. Na de ochtendspits, als de buitenlucht concentratie NO_x afneemt (vanaf 9 uur), neemt de binnenluchtconcentratie NO_x zonder vertraging direct af.

In de windrozen (Figuur 5) zijn van de meetlocaties noord en zuid alle NO_x metingen (uurwaarden) gecombineerd met de heersende windrichting. In de windroos van meetlocatie noord is te zien dat er met wind uit het noordwesten, noorden en noordoosten de laagste NO_x concentraties gemeten worden. Wind vanuit deze richtingen bevat minder NO_x dan een windrichting waarbij de wind vanaf de wegkant komt.



Figuur 5: Windrozen van meetlocaties noord (linker plot) en zuid (rechter plot) waarbij de gemiddeld gemeten concentratie NO_x (in ppm) is uitgezet tegen de heersende windrichting tijdens de meetperiode. In deze figuur zijn de gemiddelde NO_x (in ppm) waarden weergegeven, waardoor de piekconcentraties uit Figuur 3 niet terug te zien zijn in deze waarden.

In de windroos van meetlocatie zuid is te zien dat er met wind vanuit het westen, zuidwesten, zuiden, en zuidoosten hogere concentraties NO_x worden gemeten. Wind vanuit deze richtingen voert lucht aan van de weg naar het gebouw toe. Ook als de wind vanuit het noorden komt zijn er aan de zuidkant van de school hogere concentraties NO_x te meten (hoger dan de concentratie die gemeten wordt bij meetlocatie noord bij dezelfde windrichting). Een verklaring hiervoor kan zijn dat relatief schone lucht uit het voorden om en over het gebouw heen stroomt. Hierdoor vindt vermenging plaats zodat de concentratie NO_x met noordenwind die gemeten wordt aan de straatkant van het gebouw (locatie zuid) beduidend meer NO_x bevat dan de lucht die gemeten wordt aan de achterzijde van het gebouw (locatie noord).

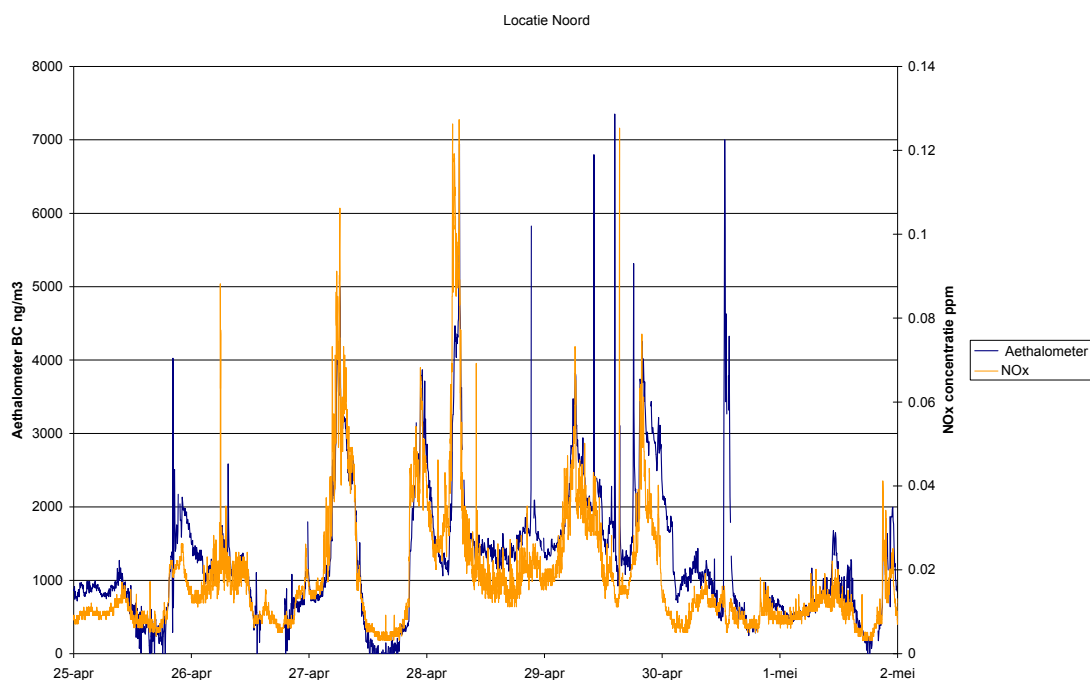
Samengevat kan worden dat op de meetlocatie aan de voorzijde van het gebouw de hoogste waarden NO_x worden gemeten. De waarden die gevonden worden aan de achterzijde van het gebouw zijn in alle gevallen lager dan de gemeten concentraties aan de voorzijde van het gebouw, onafhankelijk van de windrichting. De concentratie NO_x die gemeten wordt in het gebouw zijn lager dan de buitenluchtconcentraties (zowel voor- als achterzijde). De binnenluchtconcentratie NO_x volgt in de ochtend iets vertraagd het patroon van de buitenluchtconcentratie NO_x , waarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezigheid van het mechanische ventilatiesysteem. Het ventilatie aanzuigpunt is gelegen aan de westkant van het gebouw.

3.2 Zwarte rook

Aankankelijk was het de bedoeling om van alle drie de meetlocaties gegevens over de concentratie zwarte rook te verzamelen. Door een aanhoudende storing

in het automatische filtersysteem zijn er alleen gegevens beschikbaar van de meetlocaties noord en zolder.

In Figuur 6 zijn zowel de meetresultaten van de zwarte rook meter en de NO_x meter van meetlocatie noord weergegeven. In de figuur is duidelijk te zien dat de concentratie NO_x hetzelfde patroon volgt als de concentratie zwarte rook (uitgedrukt in Black Carbon, BC). Hierdoor kunnen de gemeten NO_x concentraties ook worden toegeschreven aan dezelfde bron, namelijk verkeer (Bloemen et al, 2007b).

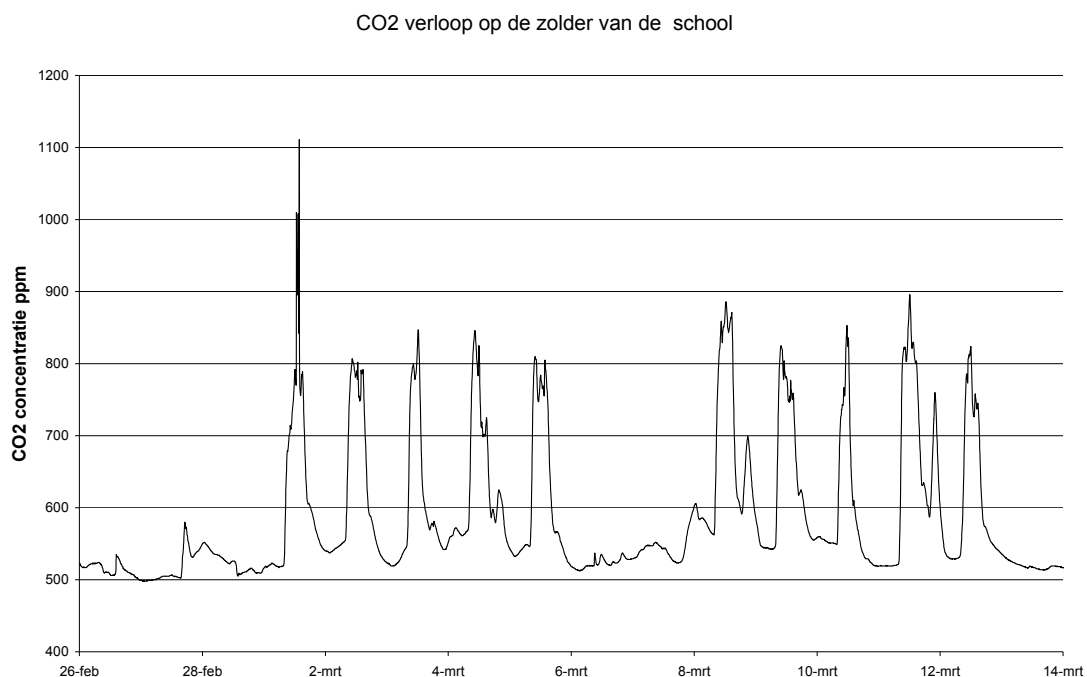


Figuur 6: Meting van de concentratie zwarte rook en NO_x van meetlocatie noord. In deze grafiek is de concentratie zwarte rook (Black Carbon, BC in ng/m^3) uitgezet op de linker Y-as (donkere lijn) en op rechter Y-as is de NO_x concentratie (in ppm) weergegeven (lichte lijn). De X-as geeft de tijdsduur aan (1 week, zondag 25 april t/m zondag 2 mei).

3.3 CO_2 meting

In Figuur 7 zijn de CO_2 metingen over een periode van 2 weken weergegeven van de binnenlucht. Zoals eerder aangegeven heeft de gebruikte CO_2 meter geen actieve luchtaanzuiging, waardoor de concentratie CO_2 is bepaald van de zolderruimte boven het lokaal. De gemeten concentraties zullen hierdoor in absolute zin waarschijnlijk niet overeenkomen met concentraties in het klaslokaal. Echter, de trend die op zolder gezien wordt geeft inzicht het ventilatiepatroon in het klaslokaal eronder. De metingen laten een trend zien waarin de doordeweekse schooldagen in een normale schoolweek zijn te onderscheiden. In de figuur is te zien dat de pieken afwezig zijn in het weekend.

In Figuur 7 is te zien dat tijdens een normale schooldag de concentratie CO_2 snel stijgt. In de loop van de avond/nacht daalt de CO_2 concentratie weer tot het basisniveau. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de CO_2 gemeten is op zolder en niet in het klaslokaal zelf. De gemeten concentraties op zolder zeggen niets over de waarden in het klaslokaal tijdens de meting.



Figuur 7: Meting van de CO₂ concentratie (in ppm) van binnenlucht (meetlocatie zolder). In deze grafiek is de concentratie CO₂ (in ppm) uitgezet op de Y-As. De X-as geeft de tijdsduur aan (2 weken: vrijdag 26 februari t/m zondag 14 maart).

4 Conclusie

4.1 Beperkte opzet pilotonderzoek

Dit pilotonderzoek heeft een oriënterend karakter. Er zijn gedurende een beperkt aantal weken bij één vrijstaand gebouw nabij een drukke weg metingen uitgevoerd. Hierbij zijn de concentraties NO_x en zwarte rook (enkele verkeersemmissie gerelateerde stoffen) bepaald aan de voor- en achterkant van het gebouw en in het gebouw zelf, waarbij ook de CO_2 concentratie op zolder van het gebouw is bepaald. De beperkte opzet van deze studie heeft gevolgen voor de extrapolatie van de gerapporteerde gegevens voor ander gebouwen, andere perioden, andere componenten in de lucht en andere doeleinden voor de gerapporteerde gegevens. De resultaten en conclusies die hier gerapporteerd worden zijn enkel van toepassing op het in dit project gemeten gebouw.

4.2 Bespreken van de resultaten

Uit de resultaten van deze pilot studie blijkt dat de NO_x concentratie aan de kant van de weg (50 meter van de weg af) tijdens de gehele meetperiode hoger is dan aan de achterkant van het gebouw (70 meter van de weg af) onafhankelijk van de windrichting.

De windrichting beïnvloedt wel de hoogte van de concentraties NO_x die gemeten worden. Als de wind vanaf de weg komt (vanuit zuidwest, zuid of zuidoostelijke richting) is de concentratie verkeersgerelateerde NO_x hoger dan als de wind naar de weg toe waait (vanuit noordoost, noord of noordwestelijke richting). Dit effect is aan de achterkant van het gebouw sterker. Er is een duidelijk verband te zien tussen de NO_x concentratie en de concentratie zwarte rook. Hierdoor kunnen de gemeten NO_x concentraties ook worden toegeschreven aan dezelfde bron, namelijk verkeer. De provinciale weg is op de gemeten locatie de belangrijkste emissiebron.

In de binnenlucht zijn de gemeten concentraties NO_x lager dan in de buitenlucht (zowel gemeten aan de voor als achterzijde). Uit de resultaten blijkt dat de concentratie NO_x in de binnenlucht tijdens de ochtendspits met een vertraging het patroon volgt van de gemeten concentratie NO_x in de buitenlucht, waarschijnlijk veroorzaakt door de mechanische ventilatie en het gebruik van ramen en deuren als de lessen beginnen. Op dat moment (8 uur) is de ochtendspits al in volle gang en is de concentratie NO_x in de buitenlucht verhoogd. Na de ochtendspits, als de buitenluchtconcentratie NO_x afneemt (vanaf 9 uur), neemt de binnenluchtconcentratie NO_x zonder vertraging af.

De CO_2 -concentratie is gemeten op zolder en niet in het klaslokaal zelf. De gemeten concentraties op zolder zeggen niets over de waarden in het klaslokaal tijdens de meting. Echter, de trend in de CO_2 -concentratie op zolder geeft inzicht in de activiteiten en het ventilatiepatroon in het klaslokaal eronder. De metingen laten een trend zien waarin de doordeweekse schooldagen in een normale schoolweek zijn te onderscheiden. De personen in het schoolgebouw zijn hierbij veruit de belangrijkste, zometer enige bron van CO_2 . Tijdens een normale schooldag, wanneer er mensen in het klaslokaal zijn, stijgt de concentratie CO_2 snel. In de loop van de avond/nacht, als er niemand in het gebouw is, daalt de CO_2 -concentratie weer tot het achtergrondniveau. Hierbij geeft de afnamesnelheid informatie over de ventilatiesnelheid van het gebouw. Deze CO_2 -concentratie pieken zijn afwezig tijdens de weekenden.

4.3 Beantwoorden onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen zijn beschreven in paragraaf 1.4. Hieronder worden deze vragen beantwoord:

Onderzoeksvraag 1: Is de buitenluchtkwaliteit aan de zijde van de weg lager dan aan de andere zijde.

Ja, op de gemeten locatie blijkt dit het geval te zijn. Uit de resultaten van NO_x blijkt dat buitenluchtkwaliteit (bij alle windrichtingen) aan de voorzijde van het gebouw (kant van de weg) lager is dan de achterzijde van het gebouw, verder weg van de provinciale weg.

Onderzoeksvraag 2: Is er een relatie tussen buitenluchtkwaliteit en binnenluchtkwaliteit? En:

Onderzoeksvraag 3: Zo ja, wat is de relatie tussen de buitenluchtkwaliteit en de binnenluchtkwaliteit

Onderzoeksvraag 5: Wat is de invloed van het tijdstip van ventileren op de binnenluchtkwaliteit?

Ja, er is een relatie tussen de buitenluchtkwaliteit en de binnenluchtkwaliteit. De kwaliteit van de binnenlucht is beter dan de kwaliteit van de buitenlucht (zowel aan de voor- als achterzijde van het gebouw).

Uit de resultaten blijkt dat de concentratie NO_x in de binnenlucht tijdens de ochtendspits met een vertraging het patroon volgt van de gemeten concentratie NO_x in de buitenlucht. Deze vertraging wordt waarschijnlijk veroorzaakt door ventilatie, zowel mechanische ventilatie als het gebruik van ramen en deuren. Als de lessen zijn begonnen (8 uur) neemt de ventilatiecapaciteit hierdoor toe. Dit resulteert in een snelle toename van de concentratie NO_x in de binnenlucht, waarna de binnenluchtconcentratie NO_x dezelfde trend laat zien als de (aangezogen) buitenluchtconcentratie NO_x. Het is immers zo dat bij ventilatie de binnenluchtkwaliteit gekoppeld is aan de kwaliteit van de aangevoerde buitenlucht (Duim et al., 2009).

Echter, om een antwoord te geven op onderzoeksvraag 5 (de invloed van het tijdstip van ventileren) zijn extra metingen nodig, waarbij in situaties wordt gemeten waarbij wel en niet wordt geventileerd tijdens de (ochtend)spits. Hierbij dient zowel de buitenlucht als binnenlucht te worden gemeten.

Onderzoeksvraag 4: Is op basis van dit onderzoek vast te stellen of de locatie van het aanzuigpunt invloed heeft op luchtkwaliteit binnen?

Uit de resultaten van de NO_x-metingen blijkt dat buitenluchtkwaliteit aan de voorzijde van het gebouw lager is dan aan de achterzijde van het gebouw, verder weg van de vervuilsbrons. Een logische gedachte zou zijn dat het aanzuigen van een hogere kwaliteit buitenlucht ook zal leiden tot een verbeterde kwaliteit van de binnenlucht. Echter, de opzet van het uitgevoerde onderzoek is te beperkt om vast te stellen of de locatie van het aanzuigpunt invloed heeft op de luchtkwaliteit binnen. Om dit te onderzoeken zou een gebouw bemonsterd moeten worden waarbij lucht van verschillende punten rondom het gebouw wordt aangezogen. Daarnaast zijn er bij dit onderzoek geen metingen verricht in de buitenlucht nabij het aanzuigpunt van de ventilatie van het gebouw.

Onderzoeksvraag 6: Is de invloed van het tijdstip van ventileren groter dan de invloed die de locatie van het innamepunt van de lucht op de binnenluchtkwaliteit heeft?

Deze vraag kan met het pilotonderzoek niet worden beantwoord. Zoals eerder aangegeven in de beantwoording van onderzoeksvragen 4 en 5 blijkt dat er zowel voor de plek van het innamepunt voor ventilatie als voor de invloed van het tijdstip van het ventileren extra (kwantitatieve) studies moeten worden uitgevoerd.

4.4 Toetsen hypothesen

Aan het begin van het onderzoek zijn een aantal hypothesen geformuleerd (zie ook paragraaf 1.4). Hieronder worden de hypothesen besproken:

Hypothese 1: Het is zinvol om het aanzuig/inlaatpunt van ventilatiesystemen aan die zijde van een gebouw aan te brengen waar de weg niet loopt (onbelaste zijde).

Het uitgangspunt moet altijd zijn om een zo hoog mogelijke binnenluchtkwaliteit te creëren in een gebouw. Bij ventilatie is de binnenluchtkwaliteit gekoppeld aan de kwaliteit van de aangevoerde buitenlucht. Daarom is het een logische gedachte om vooral te ventileren aan de kant waar de luchtkwaliteit het hoogst is. Bij het gemeten gebouw blijkt dat buitenluchtkwaliteit aan de voorzijde van het gebouw lager is dan de achterzijde van het gebouw, verder weg van de vervuiliingsbron.

Hypothese 2: Het is belangrijk dat de periode van ventileren zo gekozen wordt dat geventileerd wordt bij een zo goed mogelijke buitenluchtkwaliteit (concreet: buiten de spits).

Deze hypothese kan door dit beperkte pilot onderzoek niet worden getoetst. Hiervoor is meer (kwantitatief) onderzoek nodig.

Hypothese 3: De periode van ventileren is van grotere invloed op de kwaliteit van de binnenlucht dan de locatie waar de lucht vandaan komt.

Deze hypothese kan door dit beperkte pilot onderzoek niet worden getoetst. Hiervoor is meer (kwantitatief) onderzoek nodig.

5 Discussie

Door de beperkte opzet van deze studie kunnen de resultaten die in dit onderzoek gemeten zijn niet worden geëxtrapoleerd naar andere situaties, zoals andere gebouwen, andere perioden en andere componenten in de lucht. Door de beperkte hoogte en omvang van het gebouw en door de afwezigheid van bebouwing in de omgeving, zal de wind er zonder al te veel vertraging omheen kunnen. Voor luchtkwaliteit is naast de aanwezigheid van een drukke verkeersweg ook de bebouwde omgeving van belang voor de luchtstromen rondom het gebouw, zeker in een stedelijke omgeving. Eerder onderzoek van het RIVM naar de invloed van bebouwing op luchtkwaliteit concludeerde dat de invloed van grote gebouwen complex is en kan leiden tot gemiddeld hogere concentraties NO_2 aan de achterzijde van het gebouw (Bloemen et al., 2007a). Om een eenduidig antwoord te krijgen op de vraag of de luchtkwaliteit aan de achterzijde van een gebouw beter is dan aan de voorzijde van een gebouw aan een drukke weg zal meer onderzoek nodig zijn waarbij metingen moeten worden uitgevoerd bij verschillende soorten van bebouwing, gebouwen in de omgeving, verschillende afstanden tot de weg, invloed van begroeiing bij gebouwen en situaties met meerdere bronnen.

Ventilatie in woningen en andere openbare gebouwen zoals scholen is een belangrijk aandachtspunt voor GGD'en. Door middel van voorlichting proberen GGD medewerkers burgers bewust te maken van het belang van ventileren. Het uitgangspunt moet hierbij altijd zijn om een zo hoog mogelijke kwaliteit van binnenlucht te creëren. Dit pilotonderzoek laat zien dat er bij de onderzochte locatie de verkeersgerelateerde luchtverontreiniging aan de straatkant van het gebouw hoger is dan aan de andere kant van het gebouw. Aangezien de binnenluchtkwaliteit gekoppeld is aan de kwaliteit van de aangevoerde buitenlucht, is het een logische gedachte om vooral te ventileren aan de kant waar de luchtkwaliteit het hoogst is.

Het effect van ventileren versus niet ventileren tijdens de spits is in deze pilotstudie niet onderzocht. Wel blijkt uit de resultaten dat de concentratie NO_x in de binnenlucht (met een vertraging) hetzelfde patroon volgt als de concentratie NO_x in de buitenlucht. Dit betekent dat als de concentratie verontreiniging in de buitenlucht het grootst is, bijvoorbeeld tijdens de ochtendspits, de concentratie NO_x in de binnenlucht ook hoger wordt. Wellicht zal deze stijging van verontreinigingen in de binnenlucht tegen worden gegaan door tijdens de spitsperioden juist niet of verminderd te ventileren. Om dit effect te kwantificeren zullen extra metingen nodig zijn, waarbij situaties worden gemeten waarbij wel en niet wordt geventileerd tijdens de (ochtend)spits, waarbij zowel de buitenlucht als binnenlucht wordt gemeten.

Een andere optie om de binnenluchtkwaliteit te verbeteren langs een drukke weg is het gebruik van mechanische ventilatiesystemen met filtertoepassingen. Uit onderzoek van de GGD Amsterdam blijkt dat deze toepassing een deel van de verkeersgerelateerde luchtverontreiniging kan tegengehouden, maar zeker niet alles (Dijkema, 2009).

Referenties

Bloemen HJT, Uiterwijk W, Putten E van, Wesseling J (2007a) De invloed van bebouwing en vegetatie op luchtkwaliteit. Scanning en scouting lucht. RIVM rapport 729999003.

Bloemen HJT, Meulen A van der, Mooibroek D, Cassee FR (2007b) Monitoring Black Smoke? Its value for monitoring the impact of abatement measures RIVM briefrapport 863001004.

Bouwbesluit (2003) (online http://wetten.overheid.nl/BWBR0012727/geldigheidsdatum_10-11-2010).

Dijkema M, Strein R van, Jonker, R, Zee S van der (2009) Effectiviteit van mechanische ventilatie met filtertoepassing in een klaslokaal. GGD Amsterdam, (website bezocht februari 2011).
<http://www.gezond.amsterdam.nl/GetDocument.ashx?DocumentID=9403&name=Effectiviteit-van-mechanische-ventilatie-met-filtertoepassing-in-een-klaslokaal&rnd=634218842609423806>

Dongen J. en Vos H. (2007). Gezondheidsaspecten van woningen in Nederland TNO-rapport 2007-D-R0188/A.

Duijm F, Ginkel JT van, Habets T, Poelman B, Schie RJ van, Scholtes MM (2009) GGD-richtlijn medische milieukunde. Beoordeling van ventilatie en ventilatievoorzieningen van woningen. RIVM Rapport 609330011.

Dusseldorp A, Bruggen M van, Douwes J, Janssen PJCM, Kelfkens G (2004) Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu. RIVM Rapport 609021029.

Dusseldorp A en Bruggen M. van (2007) Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu, een update RIVM rapport 609021043.

Eerens HC, Dam JD van, Beck JP, Dolmans JHJ, Pul WAJ van, Sluyter RBC, Velze K van, Vissenberg HA (2001) Grootchalige luchtverontreiniging en depositie in de Nationale Milieuverkenning 5 RIVM rapport 408129 016.

Fischer PH, Marra M, Wesseling J, Cassee FR (2007) Invloed van de afstand tot een drukke verkeersweg op de lokale luchtkwaliteit en de gezondheid: een quick scan. RIVM briefrapport 863001005.

Gezondheidsraad (2010) Gezondheidsraad. Binnenluchtkwaliteit in basisscholen. Gezondheidsraad; 2010: 06.

Landelijk Centrum Medische Milieukunde (2006). Gezondheidkundige toetswaarden voor ventilatie in scholen en kinderdagverblijven.

Oldenziel S, Nafisinia M, Duijm F, Hall EF (2010) Binnenmilieuvadvisen voor nieuw te bouwen scholen : Informatieblad. RIVM briefrapport 609300013.

World Health organisation (WHO) (2005). Air Quality Guidelines. Global Update 2005.

Zee SC van der en Walda IC (2008). GGD-richtlijn medische milieukunde. Luchtkwaliteit en gezondheid. RIVM rapport 609330008.

Bijlage

NO_x meting

De NO_x metingen zijn uitgevoerd met twee verschillende typen monitoren. De Ecophysics CLD 700 en de Thermo 42C. Beide type meetinstrumenten zijn gebaseerd op het meten van NO_x op basis van chemoluminescentie. Ook de nauwkeurigheid, aanzuigflow en het meetbereik (100 ppm) zijn vergelijkbaar. Alle monitoren registreren minuutwaarden.

De automatische zwarte rookmetingen met Aethalometers

De aethalometers verzamelen stof op een filter. Iedere 5 minuten wordt er een lichtmeting verricht door de reflectie te meten van de spot op het filter. Op deze manier wordt een parameter verkregen die informatie geeft over de hoeveelheid stof en de zwarteheid ervan. Dit wordt uitgedrukt in Black Carbon (BC). Uit studies is gebleken dat dit een goede parameter is om verkeer waar te nemen.

CO₂ meting

De CO₂ metingen zijn uitgevoerd met een Q-TRAK™ IAQ Monitor van TSI. Dit apparaat meet ook de temperatuur, luchtvochtigheid en de concentratie koolmonoxide. Deze zijn in dit onderzoek niet geanalyseerd.

Meteostation

De weergegevens zijn verzameld met een Vantage pro 2 weerstation van Davis. Dit is een draadloos semi professioneel weerstation. De buitenconsole bestaat uit een regenmeter (automatisch leegmechanisme) anemometer, windvaan voor de windrichting en temperatuur en vochtigheid.

De binnenconsole meet de waarden voor binnen inclusief de luchtdruk. Datalogging gebeurt op een laptop.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl