

(Contract 071571)

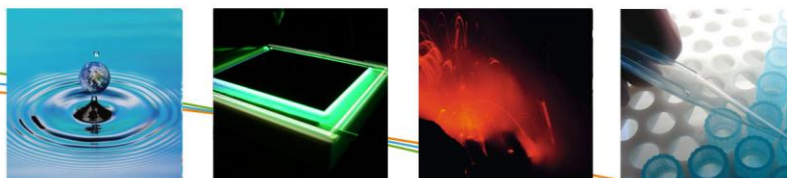
DEFINITIEF RAPPORT

Binnenlucht in Basisscholen (BIBA)

M. Stranger, K. De Brouwere, R. Swinnen, R. Bormans, J. Lauwers, D. Poelmans, L. Verbeke, W. Swaans, G. Koppen, M. Spruyt, P. Berghmans, K. Desager, E. Govarts, G. Koppen, H. Willems, N. Bleux, J. Daems, R. Torfs, E. Goelen

Studie uitgevoerd in opdracht van:
dienst Milieu & Gezondheid van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie, en
team Milieugezondheidszorg van het agentschap Zorg en Gezondheid
2008/MIM/R/092 - 2009/MRG/R/372 - 2009/MRG/R/373 - 2009/MRG/R/374

Januari 2010



VITO NV

Boeretang 200 – 2400 MOL – BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 – Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be – www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 435-4508191-02 KBC (Brussel)
BE32 4354 5081 9102 (IBAN) KREDBEBB (BIC)



INHOUD

SAMENVATTING:

Onderzoek naar de luchtkwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting

RAPPORTERING WP1: VOORONDERZOEK

Onderzoek naar de kwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting

RAPPORTERING WP 2: VELDWERK EN METINGEN

Onderzoek naar de kwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting

RAPPORTERING WP 3: INTERPRETATIE, BELEIDSAANBEVELINGEN EN REMEDIËRINGSVOORSTELLEN

Onderzoek naar de luchtkwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting

(Contract 071571)

Samenvatting

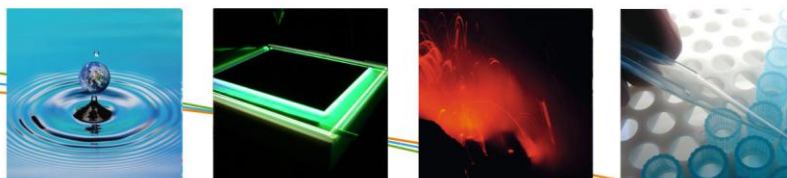
Onderzoek naar de luchtkwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting

M. Stranger, K. De Brouwere, E. Goelen, E. Govarts, G. Koppen, H. Willems, R. Torfs, K. Desager

Studie uitgevoerd in opdracht van:
dienst Milieu & Gezondheid van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie, en
team Milieugezondheidszorg van het agentschap Zorg en Gezondheid

2009/MRG/R/374

Oktober 2009



VITO NV

Boeretang 200 – 2400 MOL – BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 – Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be – www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 435-4508191-02 KBC (Brussel)
BE32 4354 5081 9102 (IBAN) KREDBEBB (BIC)



INHOUD

Inhoud	I
Lijst van afkortingen	II
Hoofdstuk 1 Inleiding	1
Hoofdstuk 2 Doelstellingen van biba	3
2.1 <i>Bepalen van de invloed van binnenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting op de kwaliteit van de binnenlucht in scholen</i>	3
2.2 <i>Nagaan van het effect van remediëringsacties in het binnenmilieu (inclusief sensibilisatie).</i>	4
2.3 <i>Formuleren van concrete aanbevelingen voor het milieubeleid en andere beleidsentiteiten.</i>	5
Hoofdstuk 3 Onderzoeksstrategie van biba	6
3.1 <i>De hoofdstudie en de nevenstudies</i>	6
3.2 <i>De selectie van scholen</i>	6
3.3 <i>De selectie van stoffen</i>	7
3.3.1 <i>Stoffen gemeten in de hoofdstudie</i>	8
3.3.2 <i>Stoffen gemeten in de nevenstudies</i>	8
Hoofdstuk 4 Interpretatie van de meetgegevens	10
4.1 <i>Hoofdstudie</i>	10
4.2 <i>Nevenstudies</i>	14
Hoofdstuk 5 Beleidsaanbevelingen	16

LIJST VAN AFKORTINGEN

RV	Relatieve vochtigheid
T	Temperatuur
WP	Werkpakket
TVOS	Totaal vluchtige organische stoffen
VOS	Vluchtige organische stoffen
CO ₂	Koolstofdioxide
PM	Particulate matter
NO	Stikstofmonoxide
I/O	Indoor / outdoor

HOOFDSTUK 1 INLEIDING

Deze studie, in opdracht van Departement Leefmilieu, Natuur en Energie, Afdeling LHRMG, dienst Milieu en Gezondheid, heeft tot doel de invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting te bepalen op de kwaliteit van de binnenlucht in scholen. Het zal aanleiding geven tot het formuleren van concrete aanbevelingen voor het milieubeleid en andere beleidsentiteiten. Daarnaast zal er ook aandacht zijn voor remediëring van eventueel vastgestelde problemen, inclusief sensibilisatie.

Hiertoe werd een meetcampagne georganiseerd, waarin de luchtkwaliteit in 90 klaslokalen uit 30 lagere scholen in Vlaanderen bepaald werd. Na voorstudie werd een basisset aan relevante componenten samengesteld, die gemeten werden in elk van de geselecteerde klaslokalen en in de buitenlucht. De resultaten werden geanalyseerd in functie van klaslokaalventilatie, van de invloed van de buitenlucht, van de ligging van de school, de inrichting van de klaslokalen en de resultaten van vragenlijsten.

Het project kreeg de naam **BiBa** -**B**innenlucht in **B**asischolen. Deze naam, met het bijhorend logo, werd vermeld bij alle communicatie naar de scholen en leerlingen toe. Op de website http://wwwb.vito.be/flies/flies_nl_class.aspx werden de doelstellingen en het meetopzet van de biba-studie verduidelijkt en werden foto's van staalnames verzameld.



Om een optimale uitwerking van de doelstelling te verkrijgen werd het onderzoek opgedeeld in vier werkpakketten, met telkens een duidelijk omschreven finaliteit (deelrapporten of eindrapport). Elk van de werkpakketten is vervolgens opgedeeld in een aantal sub-werkpakketten, waarin deelaspecten nader beschouwd worden.

Werkpakket 1: Vooronderzoek

→ deelrapport WP1

Werkpakket 2: Veldwerk en Metingen

→ deelrapport WP2

Werkpakket 3: Interpretatie, Beleidsaanbevelingen en Remediërvorstellen

→ eindrapport

Werkpakket 4: Coördinatie

→ interne en externe communicatie en informatieverstreuung

Het voorliggend eindrapport bundelt de drie deelrapporten WP1, WP2 en WP3. De deelrapporten zijn zo opgebouwd, dat ze telkens voortbouwen op kennis, resultaten en conclusies van de voorgaande WP. De belangrijkste stappen, beslissingen en conclusies worden samengevat in deze synthese.

Deze biba-studie liep van 15 mei 2008 tot 30 oktober 2009; de bijhorende meetcampagne in klaslokalen ging van start op 3 november 2008 en liep tot 3 april 2009.

HOOFDSTUK 2 DOELSTELLINGEN VAN BIBA

Het biba-onderzoek in klaslokalen werd georganiseerd met de volgende vooropgestelde doelstellingen:

- het bepalen van de invloed van het binnenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting op de kwaliteit van de binnenlucht in scholen
- nagaan van het effect van remediëringsacties in het binnenmilieu (inclusief sensibilisatie).
- het formuleren van concrete aanbevelingen voor het milieubeleid en andere beleidsentiteiten.

Hiertoe werd in een eerste fase een literatuuronderzoek uitgevoerd van recente internationale onderzoeken en publicaties met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit in scholen. Op basis van deze informatie werden de doelstellingen verder geconcretiseerd tot onderzoeksvragen. Ook werd nader bepaald welke pollutanten beschouwd zullen worden, welke beïnvloedende factoren hierop betrekking (kunnen) hebben, en hoe de meetcampagne hiervoor ontworpen moest worden en de resultaten verder verwerkt dienen te worden.

2.1 Bepalen van de invloed van binnenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting op de kwaliteit van de binnenlucht in scholen

Gebaseerd op het vooronderzoek (literatuurstudie) werd voor elke van de te bestuderen invloedsfactoren uit de projectdoelstelling een aantal onderzoeksvragen geformuleerd. Bij elke onderzoeksvraag werden vervolgens te meten chemische of fysische contaminanten opgelijst en mogelijke analysestappen voor dataverwerking opgesomd. Tabel 1 toont een overzicht van de onderzoeksvragen die geformuleerd werden bij de drie invloedsfactoren uit de eerste projectdoelstelling.

Gezien de erkende gezondheidseffecten van schimmelvorming in het binnenmilieu (WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould, 2009), werd bij het formuleren van de onderzoeksvragen bijzondere aandacht besteed aan het voorkomen van schimmel- of vochtproblemen in klaslokalen en de relatie met relatieve vochtigheid en temperatuur.

Tabel 1: Onderzoeksvragen van de hoofdstudie

Invloedsfactor	Onderzoeksvragen
type buitenmilieu	<p>Welke is de bijdrage van het buitenmilieu op totale binnenlucht concentraties?</p> <p>Welke is de invloed van nabije verkeerswegen op binnenluchtkwaliteit?</p> <p>Is er een verschil tussen de binnenluchtkwaliteit in landelijke en stedelijke omgeving?</p>
type ventilatie	<p>Wordt er voldaan aan de wettelijke eisen? Toetsing aan bestaande normen en richtwaarden.</p> <p>Worden de beschikbare ventilatievoorzieningen gebruikt?</p> <p>Is er een overeenstemming tussen de subjectieve beleving van de klasomgeving en de meetwaarden?</p> <p>Welke is de invloed van het type ventilatie op binnen- luchtkwaliteit? Toetsing aan bestaande normen en richtwaarden voor binnenmilieu. Hoe kunnen we hierop ingrijpen?</p>
klasinrichting/ bouwjaar	<p>Welke factoren zijn belangrijk voor elk van de pollutconcentraties in de binnenlucht ?</p> <p>knutselgerief, lijmen, poetsmiddelen, krijt, computer, printer, verwarming, planten, dieren, inrichting (jassen + boekentassen in klas of niet), meubilair, vloerbedekking, ouderdom school</p>
T, RH en zichtbare schimmelvorming	<p>Welke zijn de temperatuur en relatieve vochtigheid in klaslokalen?</p> <p>Is er zichtbare schimmelvorming in klaslokalen?</p> <p>Is er een verband tussen deze en andere binnenmilieumetingen?</p>

2.2 Nagaan van het effect van remediëringsacties in het binnenmilieu (inclusief sensibilisatie)

Naast de identificatie van beïnvloedende factoren voor het binnenmilieu in klaslokalen, richt de tweede projectdoelstelling zich tot het bepalen van het effect van remediëringsacties op het binnenmilieu in klaslokalen en op de gezondheid van de leerlingen. De studie van dit effect wordt binnen biba beschouwd via drie benaderingen:

- het effect van remediëringsacties op de luchtkwaliteit in een klaslokaal
- het effect van remediëringsacties op de gezondheid van de leerlingen
- het effect van luchtkwaliteit op de gezondheid van de leerlingen

Ook de samenstelling van PM2.5 in de binnen- en de buitenlucht, en eventuele veranderingen hiervan ten gevolge van remediëringsacties, worden bestudeerd. De bestudeerde invloedsfactoren en bijhorende onderzoeksvragen worden opgelijst in tabel 2.

Tabel 2: Onderzoeksvragen van de nevenstudies

Invloedsfactor	Onderzoeksvragen
invloed van het binnenmilieu op de gezondheid	<p>Is er een relatie tussen de ademhalingsgezondheid van de leerlingen en de luchtkwaliteit in het klaslokaal?</p> <p>Wat is het effect van een sensibiliseringscampagne over ventilatie (Lekker Fris) op de CO₂ concentratie in de klas?</p> <p>Kunnen we de concentraties binnenluchtpolluenten reduceren door een mechanisch ventilatiesysteem na te bootsen?</p> <p>Hebben deze ingrepen een meetbaar effect op de gezondheid van de leerlingen?</p>
samenstelling van fijn stof	<p>Is de samenstelling van fijn stof in de klaslokalen verschillend van deze in de buitenlucht?</p> <p>Wordt het resultaat van deze meting beïnvloed door het nabootsen van een mechanisch ventilatiesysteem in het klaslokaal?</p>

2.3 Formuleren van concrete aanbevelingen voor het milieubeleid en andere beleidsentiteiten.

Gezien de omvang van deze studie, i.e. een onderzoek naar het effect van beïnvloedende factoren op de luchtkwaliteit in 90 klaslokalen, aangevuld met gevalstudies naar het succes van remediëringsacties, zullen de resultaten aanleiding geven tot het formuleren van concrete aanbevelingen. Deze aanbevelingen kunnen betrekking hebben op concrete acties, die door eenvoudige implementatie de luchtkwaliteit in klaslokalen eenvoudig kunnen verbeteren, of eerder richtinggevend zijn voor beleidsentiteiten. Ze kunnen ook lacunes of aanvullende onderzoeksnoden aanduiden.

HOOFDSTUK 3 ONDERZOEKSSTRATEGIE VAN BIBA

3.1 De hoofdstudie en de nevenstudies

Om alle vooropgestelde onderzoeksvragen van deze studie te beschouwen, werd biba opgebouwd uit een hoofdstudie en een aantal nevenstudies. In de hoofdstudie werd ernaar gestreefd om een zo groot mogelijk aantal klaslokalen en scholen in kaart te brengen, om de beïnvloedende factoren te onderzoeken voor 'de gemiddelde basisschool in Vlaanderen'. Daarnaast werd een aantal nevenstudies georganiseerd. Hierin werd aandacht besteed aan specifieke deelaspecten van de onderzoeksvragen en aan het effect van remediëring, zoals bijvoorbeeld een studie van het effect van een sensibilisatie over ventilatie op de luchtkwaliteit in de klas en de gezondheid van de kinderen. In tabel 3 worden de drie nevenstudies nader toegelicht.

Tabel 3: De nevenstudies

Nevenstudies		
Nevenstudie	1	relatieve vochtigheid, temperatuur en schimmelvorming
Nevenstudie	2a	Interventie 'Lekker Fris' op de CO ₂ -concentratie in klassen (ventilatie)
	2b	Gezondheidstoestand van de leerlingen voor en na ingreep
Nevenstudie	3a	Interventie lucht zuiveren op de luchtkwaliteit in het klaslokaal
	3b	Interventie lucht zuiveren op de samenstelling van fijn stof
	3c	Gezondheidstoestand van de leerlingen voor en na ingreep

Een aangepaste onderzoeksstrategie, met aandacht voor de selectie van scholen, de selectie van stoffen en een aangepaste meetopzet was noodzakelijk om de onderzoeksvragen in rekening te brengen.

3.2 De selectie van scholen

Er werden duidelijke selectiecriteria voor de keuze van de scholen vooropgesteld, om het onderzoek naar de invloedsfactoren *buitenmilieu, ventilatie en klasinrichting* mogelijk te maken en een representatieve groep scholen samen te stellen.

Deze selectiecriteria zijn:

1. Representatieve vertegenwoordiging van ouderdomsgroepen
2. Representatieve vertegenwoordiging van de onderwijsnetten
3. Ligging in stedelijke of landelijke omgeving

Dit impliceerde 6 groepen van scholen binnen dit onderzoek, verdeeld over de drie onderwijsnetten en verspreid over Vlaanderen:

1. gebouwd na 1990 – landelijk
2. gebouwd na 1990 – stedelijk

3. gebouwd voor 1990 – landelijk
4. gebouwd voor 1990 – stedelijk
5. gerenoveerd – landelijk
6. gerenoveerd – stedelijk

Bij de uiteindelijke keuze van scholen bleek het niet evident om voor het criterium 'ouderdom gebouw' het vooropgestelde aantal scholen voor elke subgroep te vinden, en bijgevolg werden meer scholen gebouwd voor 1990 geselecteerd (zie tabel 4). Alhoewel dit niet vooropgesteld was, weerspiegelt dit wel de situatie van de Vlaamse schoolgebouwen (AGion).

Tabel 4: Vergelijking tussen de vooropgestelde strategie en de praktische uitvoering ervan

Criteria	Vooropgesteld	Selectie
Onderwijsnet	BSGO: 6 scholen VO: 18 scholen GO/SO/PO: 6 scholen	BSGO: 7 scholen VO: 16 scholen GO/SO/PO: 7 scholen
Ligging	Stedelijk: 15 Landelijk: 15	Stedelijk: 17 Landelijk: 13
Ouderdom gebouw	Voor 1990: 10 Na 1990: 10 Gerenoveerd: 10	Voor 1990: 15 Na 1990: 8 Gerenoveerd: 7
Ligging – Ouderdom	Stedelijk / voor 1990: 5 Stedelijk / na 1990: 5 Stedelijk / gerenoveerd: 5 Landelijk / voor 1990: 5 Landelijk / na 1990: 5 Landelijk / gerenoveerd: 5	Stedelijk / voor 1990: 10 Stedelijk / na 1990: 3 Stedelijk / gerenoveerd: 4 Landelijk / voor 1990: 5 Landelijk / na 1990: 5 Landelijk / gerenoveerd: 3

Voor de selectie van de scholen voor de nevenstudies rond remediëringsactiviteiten, werden volgende vereisten vooropgesteld:

- interventie door sensibilisatie over ventilatie

Deze scholen namen deel aan de hoofdstudie vóór de Lekker Fris campagne effectief van start ging. Na de staalnames werd het Lekker fris project in deze scholen geïntroduceerd. Pas wanneer de sensibiliserings-campagne lopende was, d.i. een tweetal weken na de opstart ervan, werden deze scholen opnieuw bezocht voor nieuwe metingen.

- interventie door de lucht te zuiveren

Ook deze scholen namen deel aan de hoofdstudie vóór de interventie. De scholen zijn gelegen in stedelijk centrum of in landelijke omgeving (een buitenmilieu in stedelijke achtergrond werd vermeden).

3.3 De selectie van stoffen

De basislijst van stoffen werd opgebouwd op basis van de volgende twee criteria:

- stoffen met een potentiële bron in het buiten- en het binnenmilieu
- stoffen die als belangrijk beschouwd worden vanuit gezondheidsoogpunt, in het bijzonder bij langdurige blootstelling.

3.3.1 Stoffen gemeten in de hoofdstudie

Binnen de hoofdstudie waren er in totaal 150 meetentiteiten, waarbij staalname uitgevoerd werd in 30 scholen. In elke school werden 5 meetpunten gekozen, waarvan telkens metingen in drie klaslokalen en op twee meetpunten in de buitenlucht (speelplaats en straatkant). Op elk meetpunt van de hoofdstudie werden de volgende metingen uitgevoerd zoals opgelijst in tabel 5.

Tabel 5: Stoffen gemeten in de hoofdstudie

Locatie	Component	Locatie	Component
Klaslokaal	MTBE	Buitenlucht	MTBE
	Benzeen		Benzeen
	Tolueen		Tolueen
	M+p-xyleen		M+p-xyleen
	o-xyleen		o-xyleen
	ethylbenzeen		ethylbenzeen
	tetrachloroetheen		tetrachloroetheen
	1,2,4-Trimethylbenzeen		1,2,4-Trimethylbenzeen
	tVOS		tVOS
	Formaldehyde		Formaldehyde
	Acetaldehyde		Acetaldehyde
	Totaal andere aldehyden		Totaal andere aldehyden
	PM _{2.5} (massaconcentratie)		PM _{2.5} (massaconcentratie)
	PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀ tijdsprofiel		CO ₂
	CO ₂		Temperatuur
	Relatieve vochtigheid		
	Temperatuur		

De gasvormige componenten uit deze lijst, uitgezonderd CO₂, werden gemeten door middel van passieve staalname gedurende 5 schooldagen. PM_{2.5} (massaconcentratie), werd zowel in de binnen- als in de buitenlucht gecollecteerd op filtermateriaal, dat vervolgens gravimetrisch geanalyseerd werd. Fijn stof tijdsprofielen werden opgenomen met behulp van monitoren, die gedurende 5 dagen continu de verschillende fracties PM registreren. Ook CO₂, relatieve vochtigheid en temperatuur werden gemeten met behulp van continue monitoren.

In elke school gebeurden alle metingen typisch in parallel. Elke meting uit de hoofdstudie werd uitgevoerd gedurende 5 schooldagen. Door middel van vragenlijsten werden klas- en schoolkarakteristieken, en activiteiten in de klas en het persoonlijk welbevinden van de leerkracht en leerlingen in de klas in kaart gebracht.

3.3.2 Stoffen gemeten in de nevenstudies

In de tweede nevenstudie, bij de sensibilisatie over ventileren (Lekker Fris), werd CO₂, RV en T gemeten na het uitvoeren van de interventie. In de derde nevenstudie werden alle componenten, zoals opgesomd in tabel 5, opnieuw gemeten tijdens het uitvoeren van de interventie 'lucht zuiveren'.

Zowel in de tweede als de derde nevenstudie werd de ademhalingsgezondheid van de leerlingen in de betrokken klassen onderzocht door metingen van uitgeademde NO. Hiertoe werden metingen uitgevoerd voor en na de interventie. De gezondheid van de kinderen werd bevraagd door middel van vragenlijsten.

HOOFDSTUK 4 INTERPRETATIE VAN DE MEETGEGEVENS

4.1 Hoofdstudie

Er was een heel grote spreiding in binnenluchtkwaliteit tussen de 90 BiBa klaslokalen. Voor sommige pollutanten (MTBE, ethylbenzeen, xylenen en 1,2,4 trimethylbenzeen) bedroeg het verschil tussen de laagste en hoogste concentratie van de 90 klaslokalen factor 100.

Tabel 6: : concentraties vluchtige organische stoffen, aldehydes en fijn stof (PM2.5) in de binnenlucht (3 klaslokalen) en buitenlucht (straatkant en speelplaats) van de 30 BiBa-scholen.

	N	mediaan	gemiddeld	Stdev	min	max
binnenlucht in klaslokalen						
MTBE	90	0.23	0.36	0.46	0.02	3.2
Benzeen	90	1.12	1.41	0.88	0.44	4.0
Tolueen	90	3.25	4.49	4.82	0.91	40.5
Tetrachlooretheen	90	0.20	0.37	0.44	0.06	2.2
Ethylbenzeen	90	0.75	1.74	4.36	0.17	36
Xylenen	90	3.18	7.67	22.3	0.81	193
1,2,4-Trimethylbenzeen	90	1.21	5.30	19.9	0.34	178
TVOS	90	201	238	164	18	1126
Formaldehyde	90	23	26	13	6.3	71
Acetaldehyde	90	5.14	5.40	1.84	2.2	12
Total andere aldehydes	90	31	33	15	8.7	78
PM 2.5	88	25	29	15	6.6	80
buitenlucht straatkant						
MTBE	30	0.20	0.29	0.25	0.02	1.14
Benzeen	30	1.35	1.39	0.73	0.53	3.63
Tolueen	30	2.42	2.67	1.66	0.76	8.10
Tetrachlooretheen	30	0.16	0.24	0.21	0.05	0.80
Ethylbenzeen	30	0.45	0.50	0.31	0.12	1.32
Xylenen	30	1.91	2.28	1.59	0.44	6.77
1,2,4-Trimethylbenzeen	30	0.61	0.67	0.35	0.17	1.66
TVOS	30	153	145	56	22	259
Formaldehyde	30	5.1	7.9	8.5	3.2	41.6
Acetaldehyde	30	1.8	1.8	0.7	0.9	4.6
Total andere aldehydes	30	6.9	11.1	9.5	4.0	43.2
buitenlucht speelplaats						
MTBE	30	0.17	0.25	0.26	0.02	1.20
Benzeen	30	1.16	1.31	0.76	0.48	3.57
Tolueen	30	2.11	2.36	1.67	0.68	8.42
Tetrachlooretheen	30	0.17	0.24	0.21	0.06	0.76
Ethylbenzeen	30	0.35	0.45	0.32	0.13	1.19
Xylenen	30	1.33	1.97	1.52	0.48	6.36
1,2,4-Trimethylbenzeen	30	0,43	0,51	0,30	0,19	1,57
TVOS	30	149	148	52	21	264
Formaldehyde	30	4,7	9,5	17,8	0,9	100
Acetaldehyde	30	1,7	1,9	0,7	1,1	3,4
totaal andere aldehydes	30	6,3	12,6	18,2	2,0	103
PM 2.5	26	23,5	23,2	13,9	4,1	59,5

De toetsing van de binnenluchtconcentraties in de BiBa-klaslokalen aan de richt-en interventiewaardes van Vlaams BinnenMilieuBesluit, en aan internationale blootstellingscriteria brachten bracht een aantal 'knelpunt chemische factoren' in de BiBa-klassen aan het licht: PM, formaldehyde, totaal andere aldehydes, benzeen, TVOS en CO₂. Concentraties van deze pollutanten overschreden in een substantieel deel van de 90 scholen de *richtwaardes* van het Vlaams BinnnenMilieuBesluit en/of internationale richtwaardes, limieten of blootstellingcriteria. In geen enkele klas werd de *interventiewaarde* voor formaldehyde en benzeen overschreden. Voor PM, TVOS, totaal andere aldehydes en CO₂ geeft het Vlaams BinnnenMilieuBesluit geen interventiewaardes.

Voor de volgende pollutanten lagen de concentraties in alle 90 klaslokalen beneden de *richtwaardes* van het Vlaams BinnnenMilieuBesluit, en/of beneden internationale richtwaardes, limieten of blootstellingcriteria: MTBE, tolueen, tetrachlooretheen, ethylbenzeen en 1,2,4-trimethylbenzeen. Acetaldehyde concentraties in alle 90 klassen liggen beneden de richtwaarden van het Vlaams BinnnenMilieuBesluit; in 2 klassen wordt wel de strengste internationale blootstellingslimiet overschreden. In 1 klas werd de blootstellingsgrens van US-EPA voor xylenen overschreden.

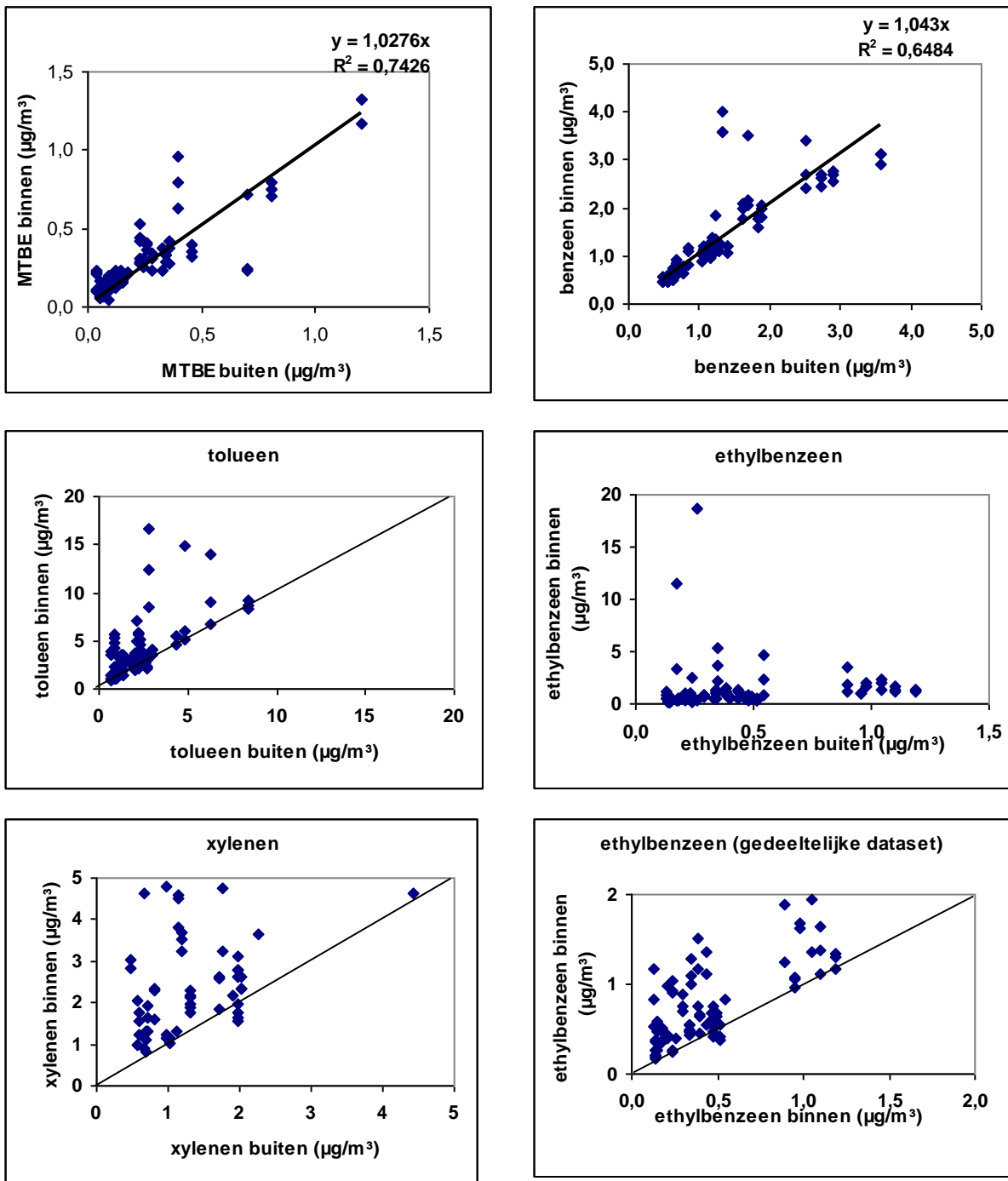
De luchtkwaliteit in de klaslokalen was voor de meeste pollutanten in de meeste scholen slechter dan de buitenluchtkwaliteit op de speelplaats. De luchtkwaliteit op de speelplaats was in de meeste gevallen gelijkaardig aan de luchtkwaliteit aan de straatkant.

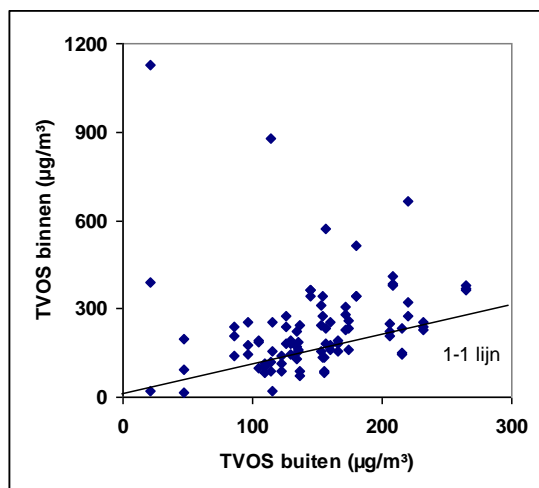
Invloed van buitenlucht op luchtkwaliteit in de klaslokalen

Voor verkeersgerelateerde pollutanten (MTBE, benzeen, tolueen, ethylbenzeen, xylenen en PM) was er een sterke invloed van de buitenluchtkwaliteit en van de verkeersdrukke op de luchtkwaliteit in de klaslokalen. Voor MTBE en benzeen werd een sterke 1-1 relatie gevonden tussen concentraties in de binnenlucht en buitenlucht (speelplaats), hetgeen suggereert dat infiltratie van deze stoffen van de buitenlucht naar de binnenomgeving de meest dominante, al dan niet de enige, bron is voor binnenluchtkwaliteit voor deze pollutanten.

Voor tolueen, ethylbenzeen, xylenen, TVOS en PM was er ook een sterke invloed van de buitenlucht op de binnenluchtkwaliteit in de klaslokalen te merken. Echter voor deze pollutanten lag de binnen/buiten (I/O) ratio in veel klaslokalen sterk boven één. Dit verklaarden we door de bijkomende bijdrage van binnenbronnen, en/of door een hogere residentietijd van de geïnfiltreerde pollutanten in de binnenlucht in vergelijking met de buitenlucht. Op basis van de meetcampagne kon geen onderscheid gemaakt worden tussen beide effecten.

Figuur 1: binnen – buitenrelaties (I/O) voor TVOS en $PM_{2.5}$, gebaseerd op binnenluchtconcentraties in 30 scholen x 3 klassen en buitenluchtconcentraties (speelplaats)





Er werden geen significante verschillen gevonden in binnenluchtkwaliteit tussen scholen gelegen in landelijke en stedelijke omgeving. In beide groepen was er een heel grote spreiding in binnenluchtkwaliteit. Mogelijks was het verschil tussen landelijke en stedelijke omgeving niet zichtbaar doordat de totale meetcampagne over 5 maanden liep (begin november – begin april), met aldus sterke variaties in weersomstandigheden over de verschillende meetperiodes (in elke school werd gedurende 1 week gemeten).

Invloed van ventilatie op de luchtkwaliteit in de klaslokalen

Geen enkele BiBa-klaslokaal was voorzien van een mechanisch ventilatiesysteem. Alle klassen werden manueel verlucht. De luchtverversing was in de meeste BiBa-klaslokalen ondermaats. In op één na alle klassen lag de 24-h gemiddelde CO₂ concentratie boven de richtwaarde van 900 mg/m³ van het Vlaams BinnenMilieuBesluit, en tijdens de aanwezigheid van de kinderen in de klaslokalen liepen de CO₂ concentraties in de klaslokalen op tot boven de limietwaarde van 1000 ppm (ASHRAE).

Er was geen verband tussen het gebruik van ventilatierooster of zelfgerapporteerd ventilatiegedrag en gemiddelde CO₂ concentraties in de klaslokalen. Deze laatste parameter werd gebruikt als maat voor de luchtverversing in de klaslokalen.

Er bleek voor alle pollutanten (behalve TVOS) een positief effect te zijn van luchtverversing op de binnenluchtconcentraties. Dit was zowel het geval voor pollutanten die voornamelijk door binnenbronnen in het binnenmilieu terechtkomen (bvb. aldehydes), maar ook voor pollutanten die voornamelijk buitenbronnen hebben (MBTE, benzeen). Niet ventileren beschermt immers niet tegen infiltratie van buiten naar binnen. Omgekeerd, het binnenmilieu fungeert als een verzamelplaats voor pollutanten die van buitenaf komen, vermits ze minder snel verwijderd worden in het binnenmilieu dan in de buitenlucht.

Invloed van klasinrichting en binnenbronnen op luchtkwaliteit in de klaslokalen

In tegenstelling tot de duidelijke, significante effecten van buitenluchtkwaliteit en ventilatie op binnenluchtconcentraties in de BiBa-klaslokalen, is de invloed van binnenbronnen op de binnenluchtkwaliteit veel minder uitgesproken in de BiBa-dataset.

Er was een zwak verband tussen het aantal leerlingen aanwezig per klasvolume en PM_{2.5} concentraties in de klaslokalen. Dit kon verklaard worden door resuspensie van fijn stof door fysieke activiteit van de kinderen. Voor formaldehyde en totaal andere aldehydes was er een zwakke relatie met het type vloerbekleding, en voor TVOS was er een zwakke relatie met het gebruik van schoonmaakmiddelen.

Waarschijnlijk is de invloed van binnenbronnen op de binnenluchtkwaliteit effectief aanwezig, maar niet zichtbaar in de database omwille van de grote verscheidenheid aan binnenbronnen in de klaslokalen, en omdat het effect van deze emissiebronnen gemaskeerd wordt andere beïnvloedende factoren zoals de invloed van de buitenlucht, luchtverversing, de aanwezigheid van andere (niet-geïdentificeerde) binnenbronnen,...

Dat binnenbronnen waarschijnlijk voor de sommige pollutanten geen onbelangrijke rol spelen werd ook indirect aangetoond doordat invloed van de buitenluchtkwaliteit en de luchtverversing slechts gedeeltelijk de variatie in de binnenluchtkwaliteit tussen de BiBa klaslokalen konden verklaren. Voor benzeen (en MTBE) kon een groot deel (tot 80 %) van de variatie in de dataset verklaard worden door ventilatie en buitenluchtkwaliteit. Voor andere pollutanten (bvb. xylenen, ethylbenzeen, TVOS) kon slechts 15 % van de variatie in de dataset verklaard worden door ventilatie en buitenluchtkwaliteit. Dit suggereerde dat voor deze stoffen andere factoren zoals binnenbronnen, adsorptie op materialen,.. een dominante rol spelen voor de binnenluchtkwaliteit.

4.2 Nevenstudies

Nevenstudie schimmelvorming

In 7 van de BiBa-klaslokalen werd zichtbare schimmelvorming gerapporteerd. In deze klaslokalen werd eveneens vochtschade zichtbaar. Er werd echter geen relatie gevonden tussen schimmelvorming en relatieve vochtigheid, temperatuur en luchtverversing. Waarschijnlijk was het aantal klassen met schimmelvorming te klein t.o.v. de totale dataset om statistisch significante effecten waar te nemen. Evenmin werd er een statistisch verband gevonden tussen schimmelvorming en ouderdom van de klaslokalen, type beglazing en type verwarming.

Nevenstudie Lekker Fris

Bij het beschouwen van het CO₂-gehalte tijdens de contacturen op school, was een effect van de sensibiliseringscampagne merkbaar. Gemiddeld daalde het CO₂ gehalte tot 73 ± 12 % van de concentraties voor de sensibilisatie, met een grootste daling tot 61% en een kleinste daling tot 90%. De grote spreiding schreven we toe aan de opvolging door de leerkracht. De juiste opvolging door de klastitularis, ook na de uitvoering van het lessenpakket, is waarschijnlijk een erg belangrijke parameter, die het succes van Lekker Fris bepaalt.

Nevenstudie Zuiveren van binnenlucht en elementconcentraties in PM_{2.5}

De interventie Lucht Zuiveren had een meetbaar effect om de I/O ratio in de klaslokalen. Gemiddeld werd de I/O ratio van PM_{2.5} in de klaslokalen gereduceerd tot 58 ± 19 % van de I/O ratio voor de interventie. In deze beperkte steekproef was ook te zien dat het effect van het gebruik van een luchtzuiveraar meer uitgesproken is in klaslokalen die initieel een hogere I/O ratio's hadden. Het effect van de interventie bleek in deze gevalsstudie ook duidelijker voor de kleinere PM-fracties dan voor de grotere PM₁₀ fracties.

Bodemstofelementen kwamen telkens in hogere (absolute) concentraties voor in de klaslokalen dan in PM_{2.5} op de speelplaats. Zo kwamen de elementen aluminium, barium, ijzer, mangaan, en titaan telkens in hogere concentraties in de klaslokalen voor ten opzichte van buiten. De zware metalen daarentegen, zoals bijvoorbeeld arseen, cadmium, chroom, cobalt of vanadium, kwamen zowel in de binnen- als in de

buitenlucht voor in concentraties lager dan de detectielimiet. We schreven dit effect toe aan resuspensie van stof in de klaslokalen, ten gevolge van de aanwezigheid van leerlingen in de klas.

De ademhalingsgezondheid van leerlingen in biba

Zowel voor de nevenstudie 'lekker fris' als bij de studie naar het effect van de lucht te zuiveren werd geen significant verschil waargenomen in eNO waarden voor en na de campagne. In deze dataset stegen de uitgeademde NO niveaus in beperkte mate met toenemende concentratie van PM_{2.5}, tetrachlooretheen en TVOS in de klasruimte.

De samenstelling van TVOS

Onderzoek naar de samenstelling van TVOS wees uit dat in de binnenlucht componenten voorkomen die niet in de buitenlucht aangetroffen worden, of daar slechts in erg lage concentraties voorkomen. Voorbeelden zijn onder meer d-limoneen en cyclohexeen. Andersom, werden weinig tot geen componenten in de buitenlucht aangetroffen die niet voorkwamen in de binnenlucht. De variatie aan TVOS componenten in de binnenlucht is aanzienlijk, sommige componenten komen slechts voor in één of enkele klaslokalen, zoals α -pineen, menthol of eucaliptol. d-Limoneen werd gekenmerkt door de hoogste gemiddelde procentuele bijdrage tot TVOS in de onderzochte stalen.

HOOFDSTUK 5 BELEIDSAANBEVELINGEN

Uit het biba-onderzoek bleek dat de luchtkwaliteit in klaslokalen vaak minder gunstig was dan deze van de buitenlucht. Aangezien kinderen relatief veel tijd doorbrengen in klaslokalen, en er voor sommige pollutanten in veel klaslokalen overschrijdingen van richtwaardes voor goede binnenluchtkwaliteit waargenomen werden, is het aangewezen om gepaste maatregelen te nemen om de binnenluchtkwaliteit in basisscholen te verbeteren.

Aangezien uit dit onderzoek bleek dat zowel ventilatie als buitenluchtkwaliteit een aanzienlijke invloed hebben op de binnenluchtkwaliteit, zullen in eerste plaats verbeteringsacties voor deze aspecten geformuleerd worden als instrument om de binnenluchtkwaliteit in basisscholen te verbeteren. Hoewel geen specifieke binnenbronnen konden geïdentificeerd worden in deze dataset, is het toch aangewezen om ook een beleid te voeren dat het gebruik van laag-emitterende binnenbronnen promoot. Omwille van de grote diversiteit aan potentiële binnenbronnen in de biba-scholen en voornamelijk ook omwille van het ontbreken van recent gebouwde klaslokalen (< 6 maanden), is deze bevinding niet tot uiting gekomen in de BiBa-dataset. Toch werd in de literatuur aangetoond dat binnenbronnen, zoals bepaalde bouwmaterialen, met zekerheid een impact hebben op de binnenluchtkwaliteit (Tuomainen et al., 2001; Raw et al., 2004). Ook de invloed van het gebruik van schoonmaakproducten en luchtverfrissers werd niet als significante parameter geïdentificeerd in dit onderzoek. Toch zijn deze factoren ook in de biba-scholen belangrijk; uit de identificatie van TVOS componenten bleek immers dat d-limoneen, een veelgebruikt parfum in schoonmaakproducten en luchtverfrissers, de TVOS component is die gemiddeld de hoogste procentuele bijdrage tot TVOS had.

Daarom worden, gebaseerd op de onderzoeksresultaten, in biba beleidsaanbevelingen met betrekking tot de volgende thema's geformuleerd:

- Beleidsaanbevelingen met betrekking tot ventilatie
 - o Hierbij maken we een onderscheid tussen nieuwbouwprojecten, renovatieprojecten en bestaande scholen
 - o Het sensibiliseren van leerkrachten en leerlingen wordt benadrukt
 - o Bijzondere aandacht voor 'nieuwe bouwstijlen' zoals passiefscholen wordt benadrukt
- Beleidsaanbevelingen met betrekking tot de buitenlucht
 - o Reductie van buitenbronnen
 - o Luchtzuiveringsaspect van mechanische ventilatiesystemen
- Beleidsaanbevelingen met betrekking tot binnenbronnen
 - o Stimuleren van de keuze voor laag-emitterende bouwmaterialen (en andere producten, courant in gebruik in klassen en/of scholen)
 - o Gezond bouwen en verbouwen
 - o Intensief verluchten na gebruik van mogelijke bronnen van luchtpollutie in de klas

- Beleidsaanbevelingen met betrekking tot schimmel- en vochtproblemen
 - o Controleren luchtvochtigheid
 - o Aangepaste remediëring bij vaststellen schimmel- of vochtproblemen
- Algemene aanbevelingen met betrekking tot de luchtkwaliteit in klaslokalen

Op basis van de biba-onderzoeksresultaten worden ook aanbevelingen voor verder onderzoek geformuleerd. Dit zijn aandachtspunten, die voornamelijk het gevolg zijn van heel recente ontwikkelingen in de bouw van scholen of in het gebruik van producten, zoals bijvoorbeeld didactische materiaal in klassen. Twee thema's werden voorgesteld:

- 'nieuwe pollutanten':

In de toekomst zal ook bijzondere aandacht besteed moeten worden aan mogelijk 'nieuwe pollutanten', uitgestoten ten gevolge van het gebruik van nieuwe materialen en/of toestellen in een klaslokaal. Educatieve pakketten en lesmaterialen evolueren immers in de tijd, als resultaat van nieuwe technologische ontwikkelingen en nieuwe didactische kennis. De nieuwe materialen of producten zouden het binnenmilieu van een klaslokaal, dat in kaart gebracht werd in deze BiBa-studie, mogelijks kunnen veranderen. Bijvoorbeeld de recente initiatieven om de traditionele krijtschoolborden te vervangen door smartboards. In meerdere scholen worden momenteel smartboards geïnstalleerd, alhoewel totnogtoe weinig tot geen onderzoek gebeurde naar de gevolgen hiervan op het binnenmilieu. Dit initiatief zal met zekerheid leiden tot de reductie van de hoeveelheid schoolbordkrijt-stofdeeltjes (CaSO_4) in een klaslokaal, maar schoolbordstiften en elektrische toestellen komen in de plaats. De mogelijke emissies van deze nieuwe producten (solventen, vlamvertragers, ozon, ...) en secundaire reacties, zijn momenteel nog niet in kaart gebracht. De invloed hiervan op de binnenlucht van een klaslokaal, en de bijhorende gezondheidsrisico's voor kinderen zijn nog ongekend.

- nieuwe ventilatiesystemen, bouwstijlen en -materialen:

In de toekomst zullen nieuwe bouwstijlen (zoals bijvoorbeeld passiefscholen) en nieuwe ventilatiesystemen (mechanische ventilatie type C en D) toegepast worden bij de bouw van nieuwe scholen. Het is aangewezen om de invloed van deze technieken op de binnenluchtkwaliteit in klaslokalen te onderzoeken. Hoewel dergelijke evoluties in theorie de binnenluchtkwaliteit ten goede komen, dient dit in praktijk opgevolgd te worden. Slecht onderhoud, verstopte filters, slecht afgeregelde debieten, of foutief gebruik... kunnen de binnenluchtkwaliteit immers grondig verstoren. Ook het effect van gecombineerd gebruik van nieuwe ventilatiesystemen en nieuwe materialen/producten op de luchtkwaliteit, specifiek in een klasomgeving, is momentele nog ongekend.

(Contract 071571)

RAPPORTERING WP1: VOORONDERZOEK

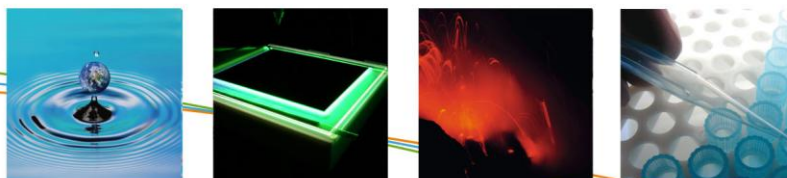
Onderzoek naar de kwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting

M. Stranger, R. Torfs, W. Swaans, G. Koppen, M. Spruyt, P. Berghmans, K. Desager, R. Bormans, N. Bleux, J. Daems, E. Goelen

Studie uitgevoerd in opdracht van:
dienst Milieu & Gezondheid van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie, en
team Milieugezondheidszorg van het agentschap Zorg en Gezondheid

2008/MIM/R/092

September 2008



INHOUD

Inhoud	I
Hoofdstuk 1 Inleiding	1
Hoofdstuk 2 Literatuuronderzoek	3
Hoofdstuk 3 Invloedsfactoren en Onderzoeksvragen	9
Hoofdstuk 4 Selectie van de scholen	13
4.1 Scholen in de hoofdstudie	13
4.2 Scholen in de nevenstudie	16
Hoofdstuk 5 Selectie van de stoffen	17
5.1 Stoffen in de hoofdstudie	17
5.2 Stoffen in de nevenstudie	19
Hoofdstuk 6 Meetstrategie	20
6.1 Meetmethoden: beschrijving	20
6.1.1 Fijn stof (PM10) en fijn stof distributie (PM10/PM2.5/PM1)	20
6.1.2 Formaldehyde en acetaldehyde	21
6.1.3 Vluchtige organische stoffen (VOS)	22
6.1.4 CO ₂ , temperatuur en relatieve vochtigheid	23
6.1.5 Bepaling van het ventilatiedebiet en het ventilatievoud	24
6.1.6 Meting van nasale NO	25
6.2 Meetopzet	25
6.2.1 De meetplaatsen	26
6.2.2 Het meetplan: de tijdsduur en de periode van de metingen	26
Hoofdstuk 7 Vragenlijsten	28
Hoofdstuk 8 Conclusie WP1	29
Literatuurlijst	30
Bijlage 1 Detailbeschrijving van het GRIMM toestel	33
Bijlage 2 Detailbeschrijving van de evenwichts CO₂-analyse en de CO₂ tracergas-methode	35
Bijlage 3 Detailbeschrijving van de vereisten en veronderstellingen voor berekening van het ventilatievoud met de evenwichts-CO₂-analyse	38

Bijlage 4: Gedetailleerd bemonsteringsschema voor alle componenten (ganse periode)	41
Bijlage 5: Vragenlijsten en invulformulieren gebruikt in het HESE project	43
Bijlage 6: Time activity patterns for Flemish children – Results from FLIES	43

HOOFDSTUK 1 INLEIDING

Dit project heeft tot doel de invloed van het binnenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting te bepalen op de kwaliteit van de binnenlucht in scholen. Het zal aanleiding geven tot het formuleren van concrete aanbevelingen voor het milieubeleid en andere beleidsentiteiten. Daarnaast zal er ook aandacht zijn voor remediëring van eventueel vastgestelde problemen, inclusief sensibilisatie.

Hiertoe zal een meetcampagne georganiseerd worden, waarin de luchtkwaliteit in een maximaal aantal lagere scholen in Vlaanderen bepaald wordt. Een basisset aan relevante componenten wordt gemeten in klaslokalen en in de buitenlucht. De resultaten worden geanalyseerd in functie van ventilatie, de invloed van de buitenlucht, de ligging van de school, de inrichting van de klaslokalen en de resultaten van vragenlijsten.

Om de communicatie met de buitenwereld over het project te vergemakkelijken wordt, na overleg met de stuurgroep, de nieuwe naam **BiBa** -Binnenlucht in **B**asis-scholen-gekozen. Deze naam met het bijhorend logo, zal vermeld worden bij de communicatie naar de scholen toe en op de website van het project.



Om een optimale uitwerking van de doelstelling te verkrijgen wordt het onderzoek opgedeeld in vier werkpakketten, met telkens een duidelijk omschreven finaliteit (deelrapporten of eindrapport). Elk van de werkpakketten is vervolgens opgedeeld in een aantal sub-werkpakketten, waarin deelaspecten nader beschouwd worden.

Werkpakket 1: Vooronderzoek

→ deelrapport WP1

Werkpakket 2: Veldwerk en Metingen

→ deelrapport WP2

Werkpakket 3: Interpretatie, Beleidsaanbevelingen en Remediëringsvoorstellen

→ eindrapport

Werkpakket 4: Coördinatie

→ interne en externe communicatie en informatieverbreiding

Dit deelrapport stelt het resultaat van **Werkpakket 1: Vooronderzoek** voor. Werkpakket 1 resulteert in een duidelijke afbakening van het onderzoeksplan en de bepaling van een optimale meetstrategie voor werkpakket 2 (Veldwerk en Metingen). Het leidt dus tot een motivering voor de selectie van representatieve pollutanten, voor de selectie van scholen en leerlingen en voor het opstellen van vragenlijsten. Relevante elementen van dit vooronderzoek werden onderzocht in sub-werkpakketten 1.1 tot 1.5.

Werkpakket 1.1: Experimental Design

Werkpakket 1.2: BBT Ventilatievouden

Werkpakket 1.3: Klasinrichting

Werkpakket 1.4: Selectie van stoffen

Werkpakket 1.5: Voorbereiding blootstellingsanalyse

Werkpakket 1.6: Uitwerking meetstrategie

Dit rapport houdt rekening met de tweeledigheid van deze blootstellingsanalyse, waarbij er aandacht is voor zowel de hoofdstudie als de nevenstudies. De hoofdstudie beantwoordt aan de hoofddoelstelling van het project, met name het binnenmilieu in functie van ventilatie, ligging (buitenmilieu), en klasinrichting van zoveel mogelijk scholen karakteriseren zodat beleidsaanbevelingen en remediëringsvoorstellen geformuleerd kunnen worden voor de meeste scholen in Vlaanderen. In de nevenstudies worden specifieke nevendoelstellingen bestudeerd, waarbij bijzondere aandacht uitgaat naar subjectieve beleving in klaslokalen en remediëringsvoorstellen.

De inventarisatie van bestaande relevante literatuur (*1. Literatuuronderzoek*) geeft een duidelijk beeld van huidige bestaande kennis op gebied van binnenluchtkwaliteit in schoolomgevingen, zowel op nationaal als op internationaal niveau. Een kritische analyse van deze gegevens leidt tot het formuleren van concrete onderzoeksvragen en hypothesen voor elk van de te onderzoeken invloedsfactoren (*2. Invloedsfactoren en Onderzoeksvragen*). Analyse van bestaande literatuur geeft aanleiding tot het definiëren van de selectiecriteria voor de deelnemende scholen op gebied van aantal, locatie en representativiteit (*3. Selectie van de scholen*). Gebaseerd op het literatuuronderzoek en de onderzoeksvragen worden de te meten pollutanten in de hoofd- en nevenstudie(s) geselecteerd en gemotiveerd, in functie van gezondheidsrisico's, beleid en remediëring (*4. Selectie van de stoffen*). Bij de staalname van elk van de geselecteerde stoffen hoort een specifieke meetstrategie (*5. Meetstrategie*), waarin alle details voor het veldwerk vastgelegd worden. Gerichte, beknopte vragenlijsten voor de klastitularis (in samenwerking met de leerlingen) maken het mogelijk gedetailleerde informatie te verzamelen die de dataverwerking zullen bevorderen (*6. Vragenlijsten*). De bundeling van al deze informatie levert een diepgaand vooronderzoek op en leidt tot een optimale meetstrategie voor de uitwerking van Werkpakket 2 (*7. Conclusie WP1*)

HOOFDSTUK 2 LITERATUURONDERZOEK

Nationale (Stranger *et al.*, 2008; Goelen *et al.*, 2007) en internationale publicaties van de voorbije 5 jaar geven een overzicht van de huidige kennis op gebied van luchtkwaliteit in schoolomgevingen. In een literatuurstudie naar vluchtige organische stoffen (VOS) in de binnenlucht vestigen Potgieter-Vermaak *et al.* (2008) de aandacht op de evolutie van het wetenschappelijk onderzoek in dit domein sinds de jaren '90. Zij merken hierbij op dat de eerder descriptieve benadering van de binnenluchtkwaliteit evolueerde naar een meer kwalitatieve benadering vanaf 2000, waarbij de identificatie van bronnen en de zoektocht naar beïnvloedingsfactoren onmiskenbaar zijn.

Vele auteurs rapporteren dan ook over studies in scholen waarin eerder *at random* de binnenluchtkwaliteit van één of meerdere klaslokalen, al dan niet in dezelfde school, gemeten werd. Alhoewel deze studies zinvol zijn voor het vergelijken van pollutentconcentraties op internationaal niveau, leidt dit type van onderzoek vaak tot een inventarisatie van grote datasets, waarmee een situatie eerder beschreven dan verklaard wordt. Slechts enkele studies maken een vergelijking tussen klassen (op vlak van ventilatiesystemen, regio's, of allergiearm versus gewoon – Geelen *et al.* 2008; Kim *et al.*, 2007; Molnár *et al.*, 2007; Van Roosbroeck *et al.*, 2007; Van Roosbroeck *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2006), tussen een situatie voor en na het opdrijven van de ventilatie (Norbäck *et al.*, 2008; Bornehag *et al.*, 2005; Daisey *et al.*, 2003), of tussen het veranderen van andere beïnvloedende factoren. Zeer vaak wordt de luchtkwaliteit gerelateerd aan leerprestaties (Mendell en Heath, 2005) en astma of allergische symptomen (Annesi-Maesano *et al.*, 2007; Weichental *et al.*, 2007; Wood *et al.*, 2006; Daisey *et al.*, 2003; Molhave, 2003). Ook Tranter *et al.* (2005) benadrukken de potentiële invloed van de schoolomgeving in geïndustrialiseerde gebieden op de gezondheid van kinderen met allergische symptomen.

Onderstaande tabel (Tabel 1) geeft een overzicht van verschillende recente publicaties over de luchtkwaliteit in klaslokalen, de gemeten pollutenten, de beïnvloedende factoren, de meetmethodes en de resultaten. Deze tabel zal bijdragen tot het formuleren van relevante onderzoeksvragen.

Tabel 1: Selectie van recente publicaties over de luchtkwaliteit in klaslokalen

Referentie	Polluenten & factoren	Methodes & criteria	Resultaten
Guo H. et al., (2008) Impact of ventilation scenario on air exchange rates and indoor particle number concentrations in an air-conditioned classroom. Atmos Environ 42, 757-768	Deeltjesaantal en grootteverdeling van 0.014-0.800 µm	1 klaslokaal	I/O 0.621 ± 0.007 bij gesloten ramen, verluchttingsgaten gesloten, geen airco I/O 0.524 ± 0.023 bij gesloten ramen, gesloten verluchttingsgaten, met airco I/O 0.502 ± 0.029 bij gesloten ramen, open verluchttingsgaten, geen airco Grotere luchtuitwisseling, lager indoor deeltjesaantal
Santamouris M. et al., (2008) Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. Energy Build – in press	Ventilatiedebiet, CO2, temperatuur	62 klaslokalen in 27 scholen, natuurlijke ventilatie tijdens en na de contacturen	23% scholen met een hoger ventilatiedebiet dan voorgeschreven gemiddelde indoor CO2 in 52% scholen > 1000 ppm
Stranger M. et al., (2008) Characterisation of indoor air quality in primary school in Antwerp, Belgium. Indoor Air – in press	PM2.5 (massa, elementaire samenstelling, zwarte rook), NO2, SO2, O3, Gebouw- en klas-karakteristieken	27 scholen (15 stedelijk; 12 randstedelijk) winter- en zomercampagne enquête voor inventarisatie van karakteristieken	correlatie binnen- en buiten-concentraties zwarte rook, NO2, SO2, O3 geen correlatie binnen- en buiten-concentraties PM2.5 (massa) en BTEX (uitz. benzeen) PM2.5 in klassen bevat meer bodemstof, hogere concentratie indien tapijten aanwezig Concentratie benzeen in klaslokaal daalt bij hogere verdieping

Tabel 1 (vervolg)

Referentie	Polluenten & factoren	Methodes & criteria	Resultaten
Tippayawong N. et al., (2008) Indoor/outdoor relationships of size-resolved particle concentrations in naturally ventilated school environments. Build Environ – in press	Deeltjesaantal van 0.3-5.0 μm	1 klaslokaal, natuurlijke ventilatie 24-h metingen tijdens weekdays en weekends	mediaan deeltjesaantal tijdens dag: 0.3-0.5 μm : 1.6×10^8 deeltjes/ m^3 0.5-1.0 μm : 1.7×10^7 deeltjes/ m^3 1.0-2.5 μm : 1.2×10^6 deeltjes/ m^3 2.5-5.0 μm : 4.1×10^5 deeltjes/ m^3 - weekend en nachtconcentraties licht hoger dan dagconcentraties - tijdsvariatie van deeltjesaantal is vergelijkbaar met buitenconcentratie - hoge buitenconcentraties en hoge air exchange rate
Fromme et al., (2007) Particulate matter in the indoor air of classrooms - exploratory results from Munich and surrounding area. Atmos Environ 41, 854-866	Verschillende fracties PM (massa en deeltjesaantal), CO ₂	64 klaslokalen	- concentratie PM neemt toe bij hogere CO ₂ concentratie en op een lagere verdieping
Molna P. et al., (2007) Indoor and outdoor concentrations of PM _{2.5} trace elements at homes, preschools and schools in Stockholm, Sweden. J. Environ. Monit., 2007, 9, 348-357			- koper als tracer voor verkeersgerelateerde pollutie binnen
Stranger M. et al., (2007) Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium. Env Int, 33; 789-797	BTEX, NO ₂ , PM _{1-2.5-10}	27 scholen (15 stedelijk; 12 randstedelijk) 19 huizen	- evaluatie ten opzichte van internationale en nationale binnenluchtkwaliteitsnormen

Tabel 1 (vervolg)

Referentie	Polluenten & factoren	Methodes & criteria	Resultaten
<p>VROM, (2007) Onderzoek naar de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen (rapport)</p>	<p>CO2, T, RH, LA</p>	<p>nationale spreiding over landelijke gebieden, middelgrote en grote steden 4 types ventilatie, 30 lokalen per type benaderende info over gewicht van ventilatie in totale klaslokaal'populatie' enquête leerkrachten en logboek</p>	<p>1. onvoldoende luchtkwaliteit gedurende stookseizoen; 2. stoorgeluid van buitenlawaai en geluid van het ventilatiesysteem; 3. een minder goed beheersbare ruimtetemperatuur in de periode buiten het stookseizoen.</p>
<p>Mi Y.H. et al., (2006) Current asthma and respiratory symptoms among pupils in Shanghai, China: influence of building ventilation, nitrogen dioxide, ozone, and formaldehyde in classrooms. <i>Indoor Air</i>, 16; 454-464.</p>	<p>T, RH, aex CO2, NO2, O3, schimmelobservaties</p>	<p>10 natuurlijk geventileerde scholen, winter enquête bij 13-14 jarigen</p>	<p>T: 13–21°C (gemiddelde 17°C), RH: 36–82% (gemiddelde 56%). aex: 2.9–29.4 ac/h (gemiddelde 9.1), ten gevolge van opening ramen. Gemiddelde CO2 boven 1000 ppm in 45% van de klaslokalen. NO2 indoor 33–85 µg/m3 en 45–80 µg/m3 outdoor. Ozon 1–9 µg/m3 indoor en 17–28 µg/m3 outdoor. zowel schimmel als slechte ventilatie en verkeer zijn geassocieerd met astmasymptomen</p>

Tabel 1 (vervolg)

Referentie	Polluenten & factoren	Methodes & criteria	Resultaten
Zhang et al., (2006) Environmental quality in a 'low allergen' school and three standard primary schools in Western Australia. Indoor Air, 16; 74-80	VOS (benzeen, toluleen, chlorobenzeen, m, p-xyleen, o-xyleen, ethylbenzeen, styreen, 1,2-dichlorobenzeen, 1,3-dichlorobenzeen, and 1,4-dichlorobenzeen); Formaldehyde, PM10, huisstofmijt, kat allergeen	3 gewone scholen 1 allergiearme school (!)	- geen significante verschillen (enkel RH en HCOH in zomer)
HESE (2006) Health Effects of School Environment – final scientific report of EU project	In klas: PM10, CO2, PM0.1, NO2, O3, formaldehyde temp, relatieve vochtigheid, bacteriën, schimmels, lucht- en stof-allergenen, lichtsterkte Outdoor: PM10, PM0.1, CO2, NO2, O3 Metingen in kinderen: Luchtwegklachten, IL-8 in nasale lavage, pH en IL-1 in ademcondensaat, rhinometry, allergietesten	lagere scholen, lln. 9-10 j. metingen in maart en april 2004 (oktober 2005 in 1 stad) 6 steden in 5 landen (Siena en Udine in Italië, Oslo in Noorwegen, Uppsala in Zweden, Aarhus in Denemarken, Reims in Frankrijk). 21 scholen (2 tot 4 per land) en 46 klassen (2 tot 4 per school). 6 scholen met mechanische ventilatie enquête bij leerkracht, kinderen en hun ouders	- outdoor: 10 scholen met PM10 > 50µg/m3 (EU guideline). 5 scholen met NO2 boven 25 ppm. - indoor: Gehalte aan PM10, CO2, allergenen in lucht, schimmels en vochtigheid duidelijk lager bij mechanische ventilatie. Allergenen in afgezet stof waren even hoog bij natuurlijke vs. mechanische ventilatie. PM10: Gemiddelde = 112 µg/m3. NO2: Gemiddelde = 14.1 µg/m3. CO2 gehalte hoger dan 1000ppm in 31 van de 46 scholen! Gemiddelde = 1467 ppm.

			<p>Lage formaldehyde gehalten.</p> <p>Lage gehalten aan ultrafijne partikels (gemiddeld 6575 pt/cc).</p> <p>- Il-1 gehalten in ademcondensaat waren positief gecorreleerd met indoor PM10 en schimmelgehalten.</p>
<p>Van Buggenum S., (2003) Het binnenmilieu van basisscholen en de leerprestaties van leerlingen (afstudeerwerk)</p>	<p>CO2</p>	<p>20 scholen, 24 klaslokalen</p>	<p>- 2118 tot 5800 ppm op het einde van lesuur</p> <p>- meer dan 1200 ppm. gemiddeld in 40% van de lestijd</p> <p>- geen significante relatie met leerprestatie-vermindering</p>

LA: geluidsmeting - RH: relatieve vochtigheid - T: temperatuur

HOOFDSTUK 3 INVLOEDSFACTOREN EN ONDERZOEKSVRAGEN

De inventarisatie van bestaande kennis leidt tot de identificatie van een aantal concrete invloedsfactoren en bijhorende onderzoeksvragen, onderzoeksstrategieën, pollutanten, meettechnieken en enquêtes. De geselecteerde invloedsfactoren zijn *type buitenmilieu*, *type ventilatie* en *klasinrichting/bouwjaar*. Onderstaande tabel (tabel 2) geeft een overzicht van deze invloedsfactoren, onderzoeksvragen en meetstrategieën.

Tabel 2: Overzicht van de te onderzoeken invloedsfactoren, en de bijhorende onderzoeksvragen en metingen. (in hoofdstudie)

Invloedsfactoren	Onderzoeksvragen	Metingen, vragenlijsten	Verwerking
type buitenmilieu	Welke is de bijdrage van het buitenmilieu op totale binnenlucht concentraties?	Binnen- en buitenluchtmetingen van: fijn stof, BTEX, TVOS	berekening ventilatievoud
	Welke is de invloed van nabije verkeerswegen op binnenluchtkwaliteit?	- fijn stof en distributie indoor (PM ₁₀ /PM _{2.5} /PM ₁) - BTEX indoor VRIND en GIS data schoollocatie: afstand tot wegen, opdeling landelijk/stedelijk, verzamelen informatie over verkeerdrukke	afstand wegen in relatie pollutanten (regressie)

Invloedsfactoren	Onderzoeksvragen	Metingen, vragenlijsten	Verwerking
	Is er een verschil tussen de binnenluchtkwaliteit in landelijke en stedelijke omgeving?	Indoor-metingen: fijn stof,- BTEX, TVOS	vergelijking tussen de verschillende buitenmilieu-types via ANOVA
type ventilatie	Wordt er voldaan aan de wettelijke eisen? Toetsing aan bestaande normen en richtwaarden.	CO ₂ indoor, CO ₂ outdoor (evt. geschat)	berekening ventilatievoud
	Worden de beschikbare ventilatievoorzieningen gebruikt?	CO ₂ vragenlijst ventilatie	ja/nee: verschil ventilatievouden (logistische regressie)
	Is er een overeenstemming tussen de subjectieve beleving van de klasomgeving en de meetwaarden?	enquête klas - subjectieve beleving CO ₂ , temperatuur, luchtvochtigheid TVOS, fijn stof	klachten (ja/nee) vs. metingen via logistische regressie
	Welke is de invloed van het type ventilatie op binnen- luchtkwaliteit? Toetsing aan bestaande normen en richtwaarden voor binnenmilieu. Hoe kunnen we hierop ingrijpen?	fijn stof, BTEX, TVOS, aldehyden, CO ₂ , temperatuur, vochtigheid, 1,2,4 trimethylbenzeen, MTBE, tetrachloroetheen	Via ANOVA
klasinrichting/ bouwjaar	Welke factoren zijn belangrijk voor elk van de pollutconcentraties in de binnenlucht? knutselgerief, lijmen, poetsmiddelen, krijt, computer, printer, verwarming, planten, dieren, inrichting (jassen + boekentassen in klas of niet), meubilair, vloerbedekking, ouderdom school	<ul style="list-style-type: none"> - gegevens over klasinrichting - gegevens over bezettingsgraad tov volume klaslokaal - Formaldehyde en acetaldehyde - Fijn stof - Totale som aan vluchtige organische stoffen (TVOS); opgesplitst in VOS en SVOS (semi-vluchtige organische stoffen) 	Via regressie-/classificatiebomen

Opmerking: Asbest wordt niet bestudeerd in dit onderzoek. De AGION-vragenlijst omvat gegevens over asbest voor elke deelnemende school. Deze gegevens kunnen echter nog niet openbaar gemaakt worden, aangezien ze nog niet gecommuniceerd werden aan het kabinet. Dit wordt voorzien rond april 2009. Indien mogelijk en indien relevant kunnen deze gegevens achteraf nog toegevoegd worden voor de huidige selectie.

Bovenstaande onderzoeksvragen komen voornamelijk aan bod in de **hoofdstudie** van dit project. Aanvullende informatie wordt verkregen in de **nevenstudies**. Deze zullen zowel complementaire als oplossingsgerichte informatie leveren aan de onderzoeksresultaten van de hoofdstudie. Na overleg binnen de stuurgroep en de interne vergaderingen, zijn de volgende voorstellen weerhouden.

- Temperatuur, relatieve vochtigheid en zichtbare schimmelvorming

In alle scholen die bezocht worden in de hoofdstudie zal bijkomend de temperatuur en relatieve vochtigheid gemeten worden. Daarnaast zal visueel nagegaan worden of er schimmelvorming is in het klaslokaal. Deze parameters zullen ook van belang zijn bij de evaluatie van de relatie tussen subjectieve beleving van het binnenklimaat (te bevragen in vragenlijsten) en gemeten binnenluchtkwaliteit.

Onderzoeksvragen:

- welke zijn de temperatuur en relatieve vochtigheid in het klaslokaal?
- is er zichtbare schimmelvorming?
- Is er een verband tussen deze en andere binnenmilieumetingen?

- De invloed van ingrepen op het binnenmilieu en de gezondheid

In dit luik zal nagegaan worden hoe we kunnen ingrijpen op het binnenmilieu en welke dan de invloed is op de binnenluchtkwaliteit in de klas en de gezondheid van de kinderen. Twee mogelijke ingrepen op het binnenmilieu worden bestudeerd:

- een sensibiliseringscampagne over het nut van ventilatie (Lekker Fris). Hieraan gerelateerd zal ook de VOM-tool van Lekker Fris geëvalueerd worden.

- het nabootsen van het effect van een mechanisch ventilatiesysteem

Of deze ingrepen ook een positief effect hebben op de gezondheid van de kinderen in de klas wordt nagegaan door het meten van nasale stikstofmonoxide (NO). NO is een endogeen gevormd gas en is betrokken bij heel wat biologische processen. In 1991 werd ontdekt dat NO aanwezig is in de uitgeademde lucht van mensen. Korte tijd later werd gerapporteerd dat grote hoeveelheden NO konden worden gevonden in de bovenste luchtwegen en bij astmapatiënten. NO is een merker van inflammatie. Indien astma wordt behandeld met ontstekingsremmers daalt NO in de uitgeademde lucht.

Onderzoeksvragen:

- Welk is het effect van een sensibiliseringscampagne over ventilatie (Lekker Fris) op de CO₂ concentratie in de klas?
- Kunnen we de concentraties binnenluchtpolluenten reduceren door een mechanisch ventilatiesysteem na te bootsen?
- Hebben deze ingrepen een meetbaar effect op de gezondheid van de leerlingen?

- De samenstelling van fijn stof

Naast de massaconcentratie van fijn stof is ook de elementaire samenstelling van fijn stof (PM_{2,5}) relevant. Deze levert dan aanvullende informatie over de oorsprong van het stof en laat toe deze te vergelijken met de samenstelling van de buitenlucht.

Onderzoeksvragen:

- Is de samenstelling van fijn stof in de klaslokalen verschillend van deze in de buitenlucht?
- Wordt het resultaat van deze meting beïnvloed door het nabootsen van een mechanisch ventilatiesysteem in het klaslokaal?

Dit geeft aanleiding tot volgende nevenstudies:

- Nevenstudie 1** relatieve vochtigheid, temperatuur en schimmelvorming
- Nevenstudie 2a** Interventie 'Lekker Fris' op de CO₂-concentratie in klassen (ventilatie)
2b Gezondheidstoestand van de leerlingen voor en na ingreep
- Nevenstudie 3a** Interventie lucht zuiveren op de luchtkwaliteit in het klaslokaal
3b Interventie lucht zuiveren op de samenstelling van fijn stof
3c Gezondheidstoestand van de leerlingen voor en na ingreep
- Nevenstudie 4** Onderzoek naar de samenstelling van TVOS in een beperkt aantal scholen (Bijacte Binnenlucht in Basisscholen)

Hieruit blijkt dat vooral de volgende items van cruciaal belang zijn bij het uitvoeren van dit onderzoek:

- de selectie van de scholen,
- de selectie van de stoffen,
- de bepaling van de meetstrategie.

Deze drie items worden uitvoering besproken in paragrafen 3, 4 en 5.

HOOFDSTUK 4 SELECTIE VAN DE SCHOLEN

4.1 Scholen in de hoofdstudie

Gezien de focus van de studie op de invloedsfactoren *buitenmilieu*, *ventilatie*, *klasinrichting* en *ouderdom*, is het zeer belangrijk om vóór de start van de metingen (WP2) duidelijke selectiecriteria voor basisscholen vast te leggen. Deze selectiecriteria omvatten parameters die in rekening gebracht kunnen worden bij de selectie van de scholen. De invloedsfactoren kunnen gerelateerd worden aan een aantal karakteristieken, waaruit deze selectiecriteria vervolgens afgeleid kunnen worden. Een overzicht wordt getoond in tabel 3.

Tabel 3: Selectiecriteria, afgeleid uit de invloedsfactoren

invloedsfactoren → karakteristieken → selectiecriteria voor scholen			
Invloedsfactoren	Karakteristieken	Selectiecriteria	Bron
Buitenmilieu	de ligging van de school	Stedelijke achtergrond, landelijke achtergrond, stedelijk centrum	VRIND-classificatiesysteem
	het gebruik van data uit meetstation van het telemetrisch meetnet van VMM	Afstand tot het dichtstbijzijnde meetstation	VMM meetnet
	de ligging van de klaslokalen in eenzelfde school	Verdieping, straatkant, afstand tot de weg	bevraging
Ventilatie	type ventilatie	Bijvoorbeeld mechanisch, natuurlijk, gecombineerd en met energierecuperatie	AGION-enquête, bevraging
	isolatie (ramen)	Dubbele beglazing vs. enkele beglazing	bevraging
	type gebouw	Bijvoorbeeld nieuwbouw passiefschool, containerschool (15% van de scholen),	AGION-enquête, bevraging

Tabel 3 (vervolg)

Invloedsfactoren	Karakteristieken	Selectiecriteria	Bron
Ouderdom	ouderdom van de 'ruimte' is te associëren met bouwstijl (ouder gebouw, hogere plafonds) renovatieactiviteiten	bouwjaar renovatiejaar	AGION-enquête AGION-enquête, bevraging

Hierbij dient opgemerkt te worden dat factoren met betrekking tot de klasinrichting criteria omvatten als: het leerlingenaantal, het volume van de ruimte en de bezettingsgraad, de aanwezigheid van tapijten, kussens of knuffels, informatie over het klasmeubilair, het gebruik van schoolbordkrijt en het verwarmingstype. Deze informatie zal initieel niet gebruikt worden bij de selectie van de scholen, en zal verzameld worden tijdens de uitvoering van WP2. Via een enquête, ingevuld door de klastitularis, in samenwerking met de leerlingen, wordt deze informatie geïnventariseerd. De gegevens zijn noodzakelijk voor de interpretatie van de gegenereerde data (zie 6. Vragenlijsten). Belangrijk is dat de vragenlijst voldoende informatie bevroegt en tezelfdertijd ook voldoende beknopt is.

Bij de selectie van de scholen zal gestreefd worden naar een evenwichtige spreiding over de verschillende netten. Zodoende worden scholen uit het vrij, het gemeenschaps- en het gemeentelijk/provinciaal onderwijs geselecteerd.

Een deel van bovenstaande informatie voor de selectie van scholen, kan bekomen worden uit de resultaten van de AGION (Agentschap voor Infrastructuur in het Onderwijs) Schoolgebouwenmonitor 2007.

Om een representatieve groep scholen samen te stellen, die toelaat de vooropgestelde invloedsfactoren te bestuderen, wordt een hiërarchie van selectiecriteria voorgesteld:

4. Representatieve vertegenwoordiging van ouderdomsgroepen
De volledige lijst met beschikbare lagere scholen in Vlaanderen (cfr AGION) wordt vooreerst opgedeeld per ouderdom van het schoolgebouw. De ouderdom van een gebouw is onder andere representatief voor het type van ventilatie (mechanisch of natuurlijk), de isolatie, de bouwmaterialen en de ruimtelijke aspecten van het klaslokaal. Dit criterium is ook gekoppeld aan renovatiewerken en de geldige wetgeving tijdens de uitvoering van de bouwwerken. Deze ventilatiekarakteristieken kunnen verzameld worden uit de resultaten van de AGION-enquête. Er zal er gewerkt worden met drie ouderdomsgroepen:

- gebouwd na 1990
- gebouwd voor 1990
- gerenoveerde gebouwen

De grens 1990 werd vastgelegd door AGION, uitgaande van de overheids-investeringen in schoolgebouwen van gesubsidieerd onderwijs van alle netten vanaf 1990. Meer informatie over de renovaties die effectief plaatsvonden in de deelnemende scholen wordt in een eerste fase telefonisch bevroegd, en vervolgens uitgebreider bevroegd in de vragenlijst.

5. Representatieve vertegenwoordiging van de onderwijsnetten
In Vlaanderen wordt 15% onderwijs georganiseerd door het Gemeenschapsonderwijs, 63% door het vrij onderwijs en 22% in het gemeentelijk, stedelijk en provinciaal net. De groep deelnemende scholen zal een proportionele verdeling van deze onderwijsnetten hebben. In deze studie leidt dit afgerond tot de selectie van 6 scholen uit het gemeenschapsonderwijs, 18 scholen uit het vrij onderwijs en 6 scholen uit het provinciaal, stedelijk en gemeentelijk onderwijsnet.

6. Ligging in stedelijke of landelijke omgeving

De verdere selectie van scholen binnen elk van de ouderdomsgroepen is gebaseerd op de ligging (buitenmilieu). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de VRIND-gebiedsindeling (Vlaamse Regionale Indicatoren) en de bijhorende verdeelsleutel voor de selectie van klachtvrije woningen (VITO rapport). Deze deelt alle gemeenten van het Vlaams gewest in op basis van de parameter verkeer (veel of weinig verkeer) in een stedelijke groep, voor stedelijke achtergrond en stedelijk centrum, en een landelijke groep. Op deze manier wordt getracht een voldoende representatieve spreiding van de deelnemende scholen over Vlaanderen te verkrijgen. In alle provincies worden scholen geselecteerd, maar er wordt niet gestreefd naar een expliciet numerieke verdeling over de 5 provincies. In beide groepen zal aanvullend ook de verkeersdichtheid in rekening worden gebracht. Deze informatie zal verzameld worden via een bevraging tijdens het eerste telefonisch contact en/of tijdens het veldwerk.

Rekening houdend met de drie hoger voorgestelde selectiecriteria zijn er 6 groepen van scholen in dit onderzoek, verdeeld over de drie onderwijsnetten en verspreid over Vlaanderen.

Deze groepen zijn gekarakteriseerd door de volgende zes combinaties:

1. gebouwd na 1990 – landelijk
2. gebouwd na 1990 – stedelijk
3. gebouwd voor 1990 – landelijk
4. gebouwd voor 1990 – stedelijk
5. gerenoveerd – landelijk
6. gerenoveerd – stedelijk

Waar mogelijk zullen scholen geselecteerd worden in de nabijheid van een meetstation uit het telemetrisch meetnet van de Vlaamse Milieumaatschappij. Dit biedt een aanvullende controle op de gegenereerde data. Een voorbeeld hiervoor is het meetstation te Borgerhout (42R801) en de aangrenzende school van het Gemeenschapsonderwijs.

Uitgaande van 5 scholen per groep, zullen voor de hoofdstudie 30 scholen geselecteerd worden. In de eerste fase wordt een groter aantal scholen geselecteerd en gecontacteerd voor deelname aan de campagne; zo wordt een veiligheidsmarge gecreëerd. In drie klaslokalen per school zal de luchtkwaliteit bepaald worden, wat leidt tot een totaal van 90 klasomgevingen. De keuze om meerdere klassen per school te bestuderen ligt in lijn met de conclusie van het literatuuronderzoek, zoals beschreven in paragraaf 1. Daaruit werd immers besloten dat het onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit op internationaal niveau evolueert van een eerder descriptieve naar een eerder verklarende benadering. De keuze van een grotere set aan scholen zou in deze context weinig tot geen nieuwe bijdrage kunnen leveren aan de verklarende benadering van dit onderzoeksdomein. Het bestuderen van meerdere klassen per school daarentegen, biedt de mogelijkheid om variabelen binnen één school, zoals de invloed van de straatkant, de invloed van de etage, en de invloed van de klasinrichting, nader te bestuderen.

De afspraken worden rechtstreeks met de schooldirecties gemaakt. Tijdens het eerste telefonisch contact wordt de school gevraagd of er nog een aanvullende toestemming van een hogere instantie noodzakelijk is. Zo ja, zal VITO of de school in kwestie de nodige toelating aanvragen.

Voor aanvullende informatie worden scholen en klassen doorverwezen naar de website van de studie <http://wwwb.vito.be/flies>. Hierop worden de doelstellingen uitgebreid verwoord en wordt een overzicht gegeven van de gemeten pollutanten en de hiervoor gebruikte toestellen.

4.2 Scholen in de nevenstudie

Nevenstudie 1: Relatieve vochtigheid, temperatuur en schimmelvorming

Dit onderzoek zal plaatsvinden in de 90 klaslokalen die deelnemen aan de hoofdstudie.

Nevenstudie 2: Effect van interventie 'Lekker Fris'

In totaal worden, op basis van de selectiecriteria voor scholen (uit paragraaf 3.1), 6 'Lekker Fris' scholen geselecteerd uit de deelnemerslijst van Lekker Fris 2008-2009. Deze scholen nemen deel aan de hoofdstudie vóór de Lekker Fris campagne effectief van start gaat. Na de staalnames wordt het Lekker fris project in deze scholen geïntroduceerd. Aangezien het Lekker Fris project leerlingen en leerkrachten bewust maakt van de relevantie van verluchten en ventilatie, wordt verwacht dat het gewenste effect het meest zichtbaar is in het CO₂-gehalte van de klaslokalen. Pas wanneer de sensibiliserings-campagne goed lopende is, worden in 4 van deze scholen opnieuw CO₂ metingen uitgevoerd (in 12 klassen in totaal).

Nevenstudie 3: Effect van de interventie lucht zuiveren

Deze nevenstudie wordt uitgevoerd in 12 klaslokalen van 3 scholen. Omdat dit effect voor en na de interventie bestudeerd zal worden, zal de staalname in deze drie scholen een periode van twee weken in beslag nemen. Het belangrijkste selectie criterium van deze drie scholen is de nabijheid van een meetstation uit het telemetrisch netwerk van de Vlaamse Milieumaatschappij. Dit biedt dan de mogelijkheid om de lokale achtergrondconcentratie van de buitenlucht tijdens deze 2 meetperiodes van één week in rekening te brengen; het effect van de tijdsvariabele wordt zo gekwantificeerd.

HOOFDSTUK 5 SELECTIE VAN DE STOFFEN

5.1 Stoffen in de hoofdstudie

De basislijst van stoffen werd opgebouwd op basis van de volgende twee criteria:

- stoffen met een potentiële bron in het buiten- en het binnenmilieu
- stoffen die als belangrijk beschouwd worden vanuit gezondheidsoogpunt, in het bijzonder bij langdurige blootstelling

Hierbij wordt een opsplitsing gemaakt tussen componenten gemeten in de hoofdstudie, en metingen uitgevoerd tijdens de nevenstudie(s).

Binnen de **hoofdstudie** zullen er in totaal 150 meetentiteiten zijn, waarbij staalname uitgevoerd wordt in 30 scholen. In elke school zullen er 5 meetpunten gekozen worden, waarvan telkens gemiddeld drie metingen in klaslokalen en twee metingen in de buitenlucht. Door combinatie en optimalisatie van locatiekeuzes kan het aantal meetplaatsen per locatie-school combinatie in bepaalde gevallen ook lager zijn dan 5. Op elke locatie zullen de stoffen gedetecteerd worden, zoals vermeld in tabel 4, zowel in binnen- als in buitenlucht:

Tabel 4: Gedetecteerde stoffen, bijhorende gezondheidseffecten en normen/richtlijnen in Vlaanderen

Component	Gezondheidseffecten	Normen en richtlijnen binnenlucht Vlaanderen
PM _{1-2.5-10}	<p>Acuut: ademhaling: astma en allergie, astma trigger, cardiovasculaire aandoeningen</p> <p>Chronisch: cardiopulmonale aandoeningen, longkanker</p>	<p>PM_{2,5} ≤ 15µg.m⁻³ jaargemiddelde</p> <p>PM₁₀ ≤ 40µg.m⁻³ 24u-gemiddelde</p>
BTEX	<p>Benzeen: leukemie</p> <ul style="list-style-type: none"> - neurotoxisch vermoeidheid, irritatie - astmatische symptomen <p>(Molhave, 2003)</p>	<p>Benzeen ≤ 2 µg.m⁻³</p> <p>10 µg.m⁻³ (interventiew.)</p> <p>Tolueen ≤ 260 µg.m⁻³</p>
TVOS	<ul style="list-style-type: none"> - sick building syndrome - astmatische symptomen <p>(Wood et al. 2006; Rumchev et al. 2004)</p>	TVOS ≤ 200 µg.m ⁻³

Tabel 4 (vervolg)

Component	Gezondheidseffecten	Normen en richtlijnen binnenlucht Vlaanderen
CO ₂	- sick building syndrome - afname leerprestatie, vermoeidheid (Wereldgezondheidsorganisatie, 1987)	CO ₂ 900 µg.m ⁻³
Formaldehyde	Acuut: ademhalings symptomen, irritatie luchtwegen Chronisch: carcinogeen (cat. 1) (Wereldgezondheidsorganisatie, 1989; International Agency for Research on Cancer, 2006)	CH ₂ O ≤ 10 µg.m ⁻³ 30min-gemid 100 µg.m ⁻³ (interventiew)
Acetaldehyde	Acuut: ademhalings symptomen Chronisch: 'waarschijnlijk' carcinogeen (cat. 2B) (Liu et al., 2006)	C ₂ H ₄ O ≤ 4 600 µg.m ⁻³
1,2,4 trimethylbenzenen	Acuut: irritatie, hoofdpijn Chronisch: neurotoxisch, astma, bloedarmoede	- (*100 mg.m ⁻³)
MTBE	Acuut: neurotoxisch, irriterend, ademhalingsstoornissen Chronisch: leveraandoeningen	- (*146 mg.m ⁻³)
tetrachloroethenen	Acuut: leveraandoeningen Chronisch: neurotoxisch, carcinogeen	Tetrachloroethyleen ≤ 100 µg.m ⁻³

*indien geen norm of richtwaarde bestaat wordt 10% van de toegelaten beroepsmatige blootstelling beschouwd als indicatie – BS 07.06.2007, KB 10.05.2007

Stikstofdioxide (NO₂) wordt niet opgenomen in deze lijst. Directe gezondheidseffecten door langdurige blootstelling aan lage concentraties NO₂ zijn tot op heden niet bewezen (Wereldgezondheidsorganisatie). Binnenbronnen van NO₂ zijn open verbrandingsprocessen zoals een gasfornuis of een open gasvuur. Deze bronnen worden echter niet verwacht in een schoolomgeving. Concentraties in klassen zullen voornamelijk beïnvloed worden door de nabijheid van verkeer. Aangezien slechts één school geselecteerd zal worden op een zgn. 'hotspot'-locatie, verkeersdrukte site, wordt dit pollutant niet geïntegreerd in deze studie.

5.2 Stoffen in de nevenstudie

Nevenstudie 1: Relatieve vochtigheid, temperatuur en schimmelvorming

In deze nevenstudie worden de relatieve vochtigheid en de temperatuur in de 90 klaslokalen van de hoofdstudie gemeten. Het zwaartepunt van deze nevenstudie komt aan bod in WP3, waarbij aanvullende berekeningen en de relatie met de subjectieve gewaarwording waardevolle informatie zullen leveren.

Nevenstudie 2: Effect van interventie 'Lekker Fris'

In deze nevenstudie wordt CO₂ gemeten in 12 klaslokalen. Aanvullend wordt ook de nasale NO van een selectie van de leerlingen in kaart gebracht, voor en na de interventie.

Nevenstudie 3: Effect van de interventie lucht zuiveren

In deze nevenstudie worden dezelfde stoffen en parameters uit de hoofdstudie opnieuw gemeten in 9 klaslokalen en 6 buitensites. Naast deze set van pollutanten, wordt ook de samenstelling van het fijn stof (PM_{2.5}) van de binnen- en buitenlucht bepaald. Ondanks het feit dat de bestaande normen en richtlijnen steeds betrekking hebben op de massaconcentratie van fijn stof, is de samenstelling ervan steeds verschillend, afhankelijk van de bronnen die een omgeving typeren en beïnvloeden. Deze uitbreiding laat enerzijds toe om in deze subset van drie scholen het verschil tussen de samenstelling van het fijn stof in de klasomgeving en de buitenlucht nader te bestuderen. Hiertoe zullen, in de klassen en de buitenlucht, stalen genomen worden die toelaten de elementaire samenstelling van het fijn stof te meten. Elementen als Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb zullen gedetecteerd worden. Anderzijds laat deze studie toe het effect van een interventie op de verschillende luchtcomponenten en de gezondheid van de leerlingen objectief te bepalen. Dit laatste gebeurt door metingen van nasale NO in een selectie van de leerlingen, voor en na de interventie.

HOOFDSTUK 6 MEETSTRATEGIE

Om alle stoffen, die opgesomd werden in paragraaf 4, te meten in de hoofd- en nevenstudie is een grote variëteit aan bemonsteringsapparatuur noodzakelijk. In deze paragraaf wordt elk afzonderlijk toestel en de bijhorende parameters in detail besproken. Vervolgens wordt een meetopzet voor de praktische uitvoering ten velde opgenomen in dit dossier.

6.1 Meetmethoden: beschrijving

6.1.1 Fijn stof (PM10) en fijn stof distributie (PM10/PM2.5/PM1)

Fijn stof meting (PM_{2.5}) met Partisol Plus van Rupprecht en Patashnick (R&P)



De Partisol Plus (Figuur 1) is een lage-volume-referentie-filterbemonsteraar, die werkt met een debiet van 16,7 l/ minuut (= 1 m³/h) en kan gebruikt worden in combinatie met verschillende voorafscieder. In deze studie wordt bij voorkeur de PM_{2.5} voorafscieder gebruikt.

Het stof wordt gedurende 24 uur bemonsterd op PTFE membraanfilters (Zefluor filters van Pall Gelman met filterdiameter 47 mm en poriëndiameter van 2 µm). De filters worden in herbruikbare ringvormige filterhouders geplaatst, die in een filtercassette gestapeld worden. Het toestel beschikt over maximum 16 filterhouders, die achtereenvolgens met behulp van een pneumatisch aangedreven wisselaar in de luchtstroom worden gebracht. Dit laat toe gedurende maximaal 2 weken autonoom te meten. Een aansluiting op het elektriciteitsnet is noodzakelijk.

Figuur 2: Partisol Plus (R&P)

Fijn stof distributie met Grimm Dust monitor (GRIMM 1.108)



De GRIMM 1.108 Dust Monitor (Figuur 3) is een optisch meettoestel wordt gebruikt voor de bepaling van aërosolen in omgevingslucht. Het meet deeltjes met een diameter van 0,3 tot 20 µm en deelt deze volgens hun grootte in in verschillende klassen. Het toestel werkt met een debiet van 1,2 l/minuut. Verschillende fracties kunnen (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ en TSP) berekend worden. Het verkregen resultaat kan weergegeven worden als deeltjestellingen (aantal deeltjes/m³) of als massabepaling (µg/m³).

Figuur 3: GRIMM 1.108

Indien gewenst kan dus een gravimetrische ijking van het toestel of een chemische analyse van het stof uitgevoerd worden. De GRIMM 1.108 beschikt over een geheugenkaart waarop de gemeten concentraties en de grootte van de gemeten

deeltjes elke minuut weggeschreven worden. Deze gegevens worden na de metingen naar een computer gekopieerd waar ze verder verwerkt worden. Voor een gedetailleerde beschrijving van de GRIMM 1.108 wordt verwezen naar bijlage 1.

De GRIMM 1.108 biedt een aantal grote voordelen tegenover andere frequent gebruikte toestellen: draagbaar, snelle meting, lage kostprijs, ingebouwde batterij. De referentietoestellen (Partisol Plus) daarentegen zijn relatief zwaar, groot en hebben een externe voeding nodig, waardoor ze minder geschikt zijn om mobiel te meten. In het bijzonder in schoolomgevingen zijn draagbare, snelle toestellen die autonoom kunnen werken zeer bruikbaar.

Aandachtspunten bij het gebruik van de GRIMM 1.108 zijn:

- De Grimm meet de optische diameter van een deeltje en niet de aërodynamische diameter. Het toestel dient gekalibreerd te worden.
- Grimm is gevoelig aan luchtvochtigheid en regen, daarom wordt een weersbestendige behuizing gebruikt (zie Figuur 4) die de lucht droogt
- Het is nodig om de verschillende Grimm's voorafgaand aan de meetcampagne te vergelijken ten opzichte van de referentiemethode (= Partisol Plus) zodat correctiefactoren kunnen afgeleid worden.



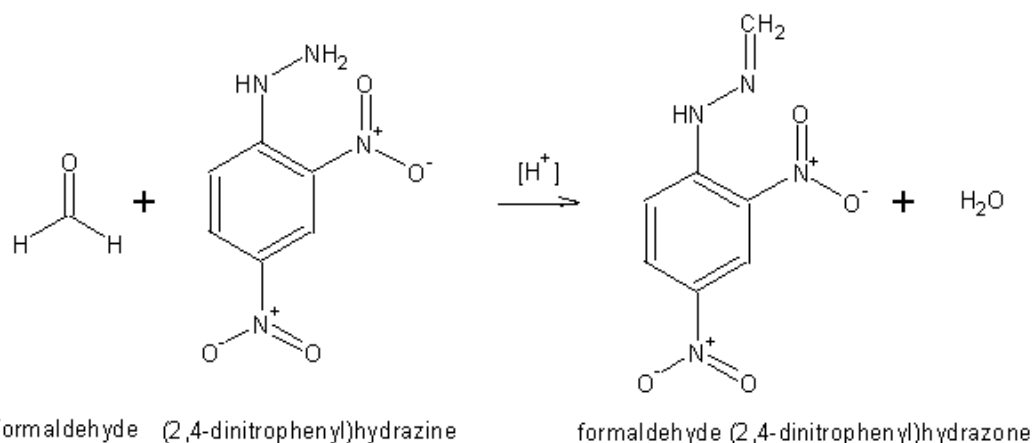
Figuur 4: GRIMM met weersbestendige behuizing

6.1.2 Formaldehyde en acetaldehyde



Aldehyden worden met SKC diffusieve samplers (UMEx100) bemonsterd. Deze samplers (zie Figuur 5) werden eerder reeds gebruikt en gevalideerd door VITO onder laboratoriumcondities en tijdens veldcampagnes (Spruyt, M *et al.*, 2005). De werking van deze sampler is gebaseerd op chemisorptie, waarbij aldehyden met dinitrofenylhydrazine (DNPH) reageren (zie Figuur 6).

Figuur 5: SKC – UMEX Aldehyde Sampler



Figuur 6: Hydrazon-vorming

De aldehyden worden na bemonstering met acetonitrile geëxtraheerd en met LC-UV geanalyseerd. Andere pollutanten zoals ozon en NO₂ interfereren op de meting (ISO 16000-3: 2001). Deze problematiek werd grondig bestudeerd en gerapporteerd (Goelen *et al.*, 1997).

6.1.3 Vluchtige organische stoffen (VOS)

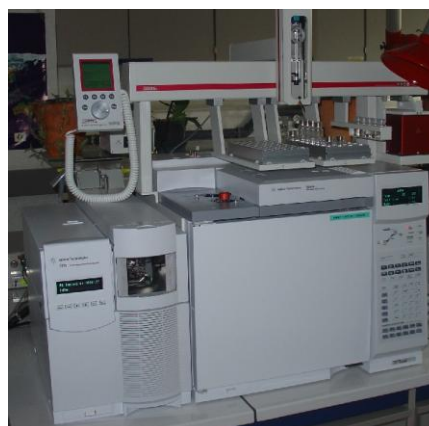
Individuele en totale vluchtige organische verbindingen worden op actieve kool geadsorbeerd. De staalname gebeurt met Radiello passieve samplers (= staalname via moleculaire diffusie) waarbij tijdsgewogen gemiddelde waarden worden bekomen. Deze passieve samplers hebben een hoge opnamesnelheid. Na de bemonstering worden de dosimeters in het laboratorium verzameld voor analyse en geëxtraheerd met koolstofdissulfide (CS₂). Aan deze extractie-vloeistof wordt een interne standaard toegevoegd. De analyse wordt uitgevoerd met een HP6890 gaschromatograaf (GC) gekoppeld aan een HP5975 massaspectrometer (MS). TVOS worden in *full scan modus* gemeten, de andere verbindingen worden in *selected ion monitoring modus (SIM)* gemeten. Voor kalibratie worden externe standaarden gebruikt.



Figuur 7: Radiello diffusieve sampler



Figuur 8:



GC-MS

6.1.4 CO₂, temperatuur en relatieve vochtigheid

De Klimabox en Radiello Minithermometers

De CO₂-concentratie in het binnenmilieu is een directe maat voor onvoldoende ventilatie. Naast het meten van de relatieve vochtigheid en temperatuur is CO₂ een belangrijke parameter voor de bepaling van de kwaliteit van het binnenklimaat.

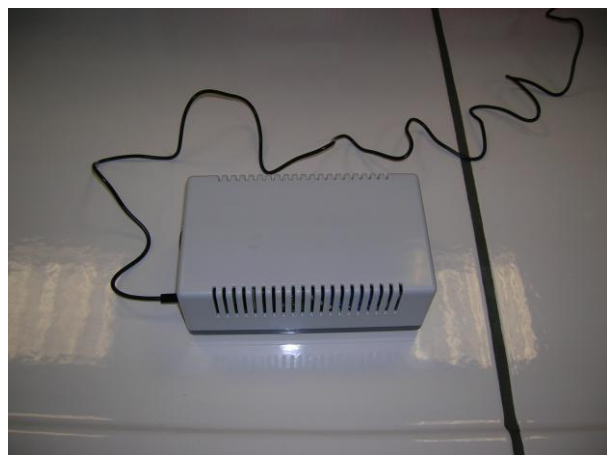
Binnen deze studie zijn twee toestellen voor CO₂-detectie beschikbaar nl. de CaTeC Klimabox 5000 (Figuur 10) en de E&E Elektronik EE80 series (Figuur 11). De Klimabox wordt gebruikt om de CO₂-concentraties in een binnenmilieu te meten. Met het E+E Elektronik toestel, die in een weersbestendige behuizing gebouwd is, worden de CO₂-concentraties in de buitenlucht gemeten.

De Klimabox meet simultaan ook temperatuur en relatieve vochtigheid en stockeert deze informatie. De relatieve vochtigheid van de buitenlucht wordt niet gemeten in dit onderzoek, maar kan, indien nodig, bij het KMI worden opgevraagd. De temperatuur buiten wordt met Radiello mini-thermometers gelogd die op het driehoekige bevestigingsplaatje van de passieve samplers bevestigd kunnen worden (zie Figuur 9). Deze thermometer heeft een precisie van $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ tussen -20 en 80°C en kan tot 2048 temperatuur-datapunten loggen. De CaTeC Klimabox heeft volgende meetbereik:

- tot 5000 ppm voor CO₂;
- van $+40$ tot $+80^{\circ}\text{C}$ voor temperatuur;
- van 0 tot 100%RH voor relatieve vochtigheid;



Figuur 9: Radiello passieve voor sampler met mini-thermometer temperatuur en relatieve vochtigheid



Figuur 10: CaTeC Klimabox 5000 simultaanmeting van CO₂,

De E+E Elektronik (Dimed) heeft een meetbereik voor CO₂ van 0 tot 2000 ppm en kan eveneens temperatuur en relatieve vochtigheid meten. Voor deze studie wordt enkel de CO₂-concentratie gelogd.



Figuur 11: E+E Elektronik toestel voor het meten van CO₂, temperatuur en relatieve vochtigheid (zonder weersbestendige behuizing)

6.1.5 Bepaling van het ventilatiedebiet en het ventilatievoud

In de testmethode ASTM D6245-07 worden twee tracergas-methoden beschreven voor de bepaling van het ventilatiedebiet van een ruimte gebaseerd op CO₂-concentraties in de binnen en buitenlucht:

- *De tracer-gas-decay methode*
Hierbij wordt het CO₂-verval in de binnenlucht gemeten, nadat de aanwezigen de ruimte verlaten hebben
- *De evenwichts-CO₂-analyse*
Dit is een speciaal geval van de constante tracergas-injectie-methode. Het CO₂ dat door de aanwezigen in de ruimte gegenereerd wordt, wordt bij beide methoden als tracergas gebruikt.

De principes waarop deze metingen gebaseerd zijn en de details over de berekening van het ventilatiedebiet en het ventilatievoud worden uitvoerig beschreven in Bijlage 2.

Afhankelijk van de mogelijkheden van de meetlocaties in deze studie zal één van beide methoden in deze studie weerhouden worden voor inschatting van het ventilatievoud (uitgedrukt in h⁻¹) van een ruimte. Het ventilatievoud geeft aan hoeveel keer per uur een ruimte van verse lucht wordt voorzien. Het getal geeft dus weer hoeveel tijd nodig is om een CO₂-evenwicht te bereiken. Deze waarde is enkel afhankelijk van het buitenluchtdebiet van de ruimte gedeeld door het volume van de ruimte:

$$\text{Ventilatievoud (h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{ingeblazen verse lucht (m}^3\text{/h)}}{\text{inhoud van de ruimte (m}^3\text{)}}$$

Vereisten en veronderstellingen voor de evenwichts-CO₂-analyse

Er dient opgemerkt te worden dat deze benadering gebaseerd is op verschillende vereisten en assumpties gerelateerd aan de single-zone tracer gas massabalans, de basis van de vergelijking. Voor een gedetailleerde beschrijving van deze aspecten wordt verwezen naar bijlage 3. Deze vereisten en assumpties zijn de volgende:

- 1) De ruimte gedraagt zich als een *single-zone*
- 2) De ruimte is geïsoleerd van andere ruimten
- 3) Een constant en gekend CO₂-debiet
- 4) Een constante CO₂-concentratie buiten
- 5) Een constant luchtdebiet
- 6) CO₂ in de buitenlucht bereikte evenwicht

6.1.6 Meting van nasale NO

NO kan op een niet invasieve manier worden gemeten en is daardoor een interessante techniek om te gebruiken bij kinderen. De uitgeademde lucht wordt door middel van gespecialiseerde apparatuur (Aerocrine of Ecomedics) geanalyseerd. Door op een bepaalde manier uit te ademen kan NO worden gemeten; exhaled NO weerspiegelt NO afkomstig uit de lagere luchtwegen. Nasale NO geeft de concentratie aan NO afkomstig uit de bovenste luchtwegen weer. Resultaten kunnen ogenblikkelijk (on line) worden afgelezen van het toestel.

De meetmethode voor exhaled NO (lagere luchtwegen) werd het meest bestudeerd. Nasale NO is meer onderhevig aan variatie. Voor beide technieken zijn richtlijnen verschenen (ATS/ERS Am J Resp Med Crit care 2005).

Recente gegevens uit de literatuur tonen aan dat de nasale NO metingen reproduceerbaar zijn. Provocatie met allergen resulteerde eerst in een daling van NO en vervolgens in een stijging van nasale NO (Boot, Allergy. 2007 Apr;62(4):378-84.).

Bommarito bestudeerde verschillende groepen patiënten met chronische sinusitis, al dan niet gepaard gaand met poliepen (Annals of Allergy, Asthma and Immunology, Volume 101, Number 4, October 2008 , pp. 358-362(5)).

Het meten van NO kan dus informatie geven over inflammatoire processen in de bovenste en onderste luchtwegen op een niet invasieve manier.

6.2 Meetopzet

De meetcampagne zal plaatsvinden van november 2008 tot en met maart 2009. De reden voor de keuze van deze winterperiode is om specifieke aandacht te besteden aan het ventilatiegedrag in een koudere periode. In de zomerperiode wordt er immers spontaan frequenter verlucht. Hierdoor zullen pollutanten afkomstig van de buitenlucht eerder in een evenwichtsconcentratie tussen binnen- en buitenlucht voorkomen in de klas. Polluenten geëmitteerd in de klas zullen in eerder verdunde concentraties voorkomen.

Gezien de koudere buitentemperaturen wordt verwacht dat het ventilatiegedrag in de winter hiervan verschillend is en bijgevolg een impact zal hebben op het klasmilieu.

Bij het kiezen van de locatie voor de meetapparatuur buiten zal er gezocht worden naar plaatsen waar leerlingen de toestellen niet kunnen aanraken. Indien nodig zullen de toestellen omgeven worden door een hekwerk.

6.2.1 De meetplaatsen

Formaldehyde/acetaldehyde en VOS

Deze passieve samplers bepalen de tijdsgewogen gemiddelde concentratie (over vijf dagen). Per school worden passieve samplers voor formaldehyde/acetaldehyde en vluchtige organische stoffen opgehangen op 5 meetplaatsen:

- aan de straatzijde buiten
- op de speelplaats
- in drie klaslokalen

Fijn stof

De metingen van de fijn stof distributie ($PM_{10}/PM_{2.5}/PM_1$) met Grimm vinden plaats op alle binnenlocaties. $PM_{2.5}$ in de buitenlucht zal op elke speelplaats gemeten worden gebruik makend van een Partisol. Het fijn stof wordt zodoende continu gemeten over vijf dagen, waarbij elke 24h een nieuwe filter geplaatst wordt in het Partisol-toestel.

CO₂, luchtvochtigheid en temperatuur

In iedere klas wordt de temperatuur, de relatieve vochtigheid en CO₂ gemeten. Buiten wordt op 1 locatie per school CO₂ gemeten. De buitentemperatuur wordt in elke school gemeten met Radiello mini-thermometers.

Bij het plaatsen van de apparatuur wordt maximaal rekening houden met volgende richtlijnen uit ISO 16000:1:

- In de klaslokalen wordt de meetapparatuur minstens 1 meter van muren verwijderd en op een hoogte van 1 à 1.5 m boven de grond opgesteld.
- Plaatsen in de zon en in de buurt van verwarmingssystemen met waarneembare tocht en in de nabijheid van ventilatiekanalen moeten vermeden worden.
- De meetapparatuur buiten wordt opgesteld in de buurt van het schoolgebouw maar ten minste op 1 meter van het gebouw verwijderd.
- Indien het gebouw voorzien is van airconditioning, dan worden de bemonsteringen buiten bij voorkeur uitgevoerd in de nabijheid van de inlaat.
- Om het effect van uitgeademde lucht van mensen op de metingen te vermijden, wordt de apparatuur binnen niet in de onmiddellijke nabijheid van de aanwezigen opgesteld.

Om een goede interpretatie van de meetgegevens van de temperatuur, relatieve vochtigheid en CO₂-concentratie mogelijk te maken, zal aan de leerkrachten tevens gevraagd worden om een dagboek bij te houden waarin volgende gegevens zorgvuldig geregistreerd worden:

- De bezettingsgraad van de klas: het aantal aanwezigen (leerkracht/leerlingen) in de klaslokalen op ieder moment;
- de lestijden;
- gebruik van ventilatievoorzieningen (openen van ramen/deuren, gebruik mechanische ventilatiesystemen, ...), zonwering, verwarming;

6.2.2 Het meetplan: de tijdsduur en de periode van de metingen

Zoals vermeld vinden de metingen plaats tijdens de winterperiode (november-december 2008 en januari-februari-maart 2009) aangezien de binnenbronnen dan duidelijker tot uiting komen vanwege de beperkte manuele verluchting in deze periode.

De beschouwde milieupolluenten (excl. CO₂) zijn in de betrokken milieucompartimenten typisch in een dosis aanwezig waarvoor het enkel relevant is de lange termijn blootstelling over een representatieve tijdspanne te meten. Het volstaat met andere woorden om gemiddelde waarden (concentraties) te kennen over deze representatieve tijdspanne.

Fijn stof metingen en stofdistributie met partisols en Grimm's

Gedurende de periode november en december 2008 wordt er per week in 2 scholen simultaan bemonsterd (7 Grimms ter beschikking). In elk van deze klassen blijft dan één Grimm gedurende 5 dagen (van maandag tot vrijdag) in één klaslokaal staan.

De referentie-meettoestellen voor fijn stof (Partisols) zullen 5 dagen autonoom meten. Met de vast opgestelde Grimm in de klas en de partisols buiten, die beiden continu meten, kan de verhouding van de stoffluctuaties binnen/buiten opgevolgd worden.

De correctiefactoren van de Grimm's ten opzichte van de partisols met respectievelijk een PM₁₀, PM_{2.5} en PM₁ voorafscheider worden bepaald door alle toestellen gedurende een aantal dagen simultaan op één binnenlocatie te laten meten. Deze vergelijking wordt mogelijk herhaald tijdens de kerst- en krokusvakantie.

Meting van VOS's, aldehyden, CO₂, temperatuur en relatieve vochtigheid

Alle metingen met passieve samplers en de metingen van CO₂, relatieve vochtigheid en temperatuur worden gedurende 5 dagen uitgevoerd. CO₂-concentraties, relatieve vochtigheid en temperatuur worden continu geregistreerd.

Een gedetailleerd bemonsteringsschema voor alle componenten in alle scholen wordt weergegeven in bijlage 4.

HOOFDSTUK 7 VRAGENLIJSTEN

Aan de leerkrachten (eventueel ouders) zal een korte bevraging worden voorgelegd over het welbehagen (droge lucht, geluid, warmte, hoofdpijn) van de kinderen in de klas en de eventuele daaraan gerelateerde luchtwegproblemen. Aan de hand hiervan zal getracht worden een idee te krijgen waar (in welk type klassen) zich de meeste 'klachten' voordoen.

De vragenlijsten zullen gebaseerd worden op enquêtes gebruikt bij volgende onderzoeksprojecten:

VROM studie: 'Onderzoek naar de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen' (Versteeg, 2007).

Bij die studie werden 3 types van enquêtes gebruikt:

- inventarisatie van de relevante kenmerken van de leslokalen;
- enquête van de leerkracht over de beleving van het binnenmilieu en het gebruik van ventilatievoorzieningen;
- logboek over beleving binnenmilieu en gebruik ventilatievoorzieningen tijdens de meetcampagne.

HESE studie: 'Health Effects of School Environment' (HESE, 2006).

In deze studie werd een min of meer gelijkaardige benadering gevolgd. Er werden enquêtes afgenomen bij de leerkracht, de kinderen en hun ouders:

- leerkracht: inrichting van klas en de school.
- kinderen: luchtwegklachten, blootstelling aan tabaksrook en perceptie van luchtkwaliteit van de school.
- ouders: luchtwegklachten, voedingsgewoonten, huidige woonomgeving, perceptie van schoolomgeving door het kind.

De vragen naar luchtwegklachten in dit onderzoek waren gebaseerd op de ISAAC studie (The International Study of Asthma and Allergies in Childhood, <http://isaac.auckland.ac.nz/>)

In bijlage 6 wordt een voorbeeld vragenlijst toegevoegd. Deze zal nog aangevuld en ingekort worden om een nog betere aansluiting bij de doelgroep van deze studie te vinden.

Bij de analyse van de gegevens in WP3 zal deze informatie aangevuld worden met informatie uit FLIES, waarin de gemiddelde tijdsbesteding van Vlaamse kinderen jonger dan 12 jaar in kaart werd gebracht (zie bijlage 7). Op basis van deze gegevens zal de blootstellingsanalyse uitgevoerd kunnen worden.

HOOFDSTUK 8 CONCLUSIE WP1

Een inventarisatie en een kritische evaluatie van bestaande kennis uit elk van de deelluiken van **Werkpakket 1** leidt zoals vooropgesteld tot een duidelijke afbakening van het onderzoeksplan. Dit maakte het mogelijk een optimale meetstrategie te bepalen voor werkpakket 2 (Veldwerk en Metingen). De uitwerking van een literatuurstudie garandeert de relevantie van het voorgestelde meetplan. De meetstrategie integreert actuele meetapparatuur en analysetechnieken om relevante polluenten te detecteren. Zowel de selectie van representatieve polluenten, de selectie van scholen en leerlingen en het opstellen van vragenlijsten werden uitgewerkt.

De keuze om dit onderzoek op te delen in een hoofdstudie en enkele nevenstudies blijkt een duidelijke meerwaarde te bieden. De hoofdstudie beantwoordt aan de hoofddoelstelling van het project, met name het binnenmilieu in functie van ventilatie, ligging (buitenmilieu), en klasinrichting van zoveel mogelijk scholen karakteriseren zodat beleidsaanbevelingen geformuleerd kunnen worden voor de meeste scholen in Vlaanderen. De nevenstudies bieden de mogelijkheid effecten van interventies op het binnenmilieu te meten en te evalueren. Enerzijds zal er aandacht zijn voor het 'Lekker Fris' initiatief, waarbij getest zal worden in hoeverre de sensibiliseringscampagne van de Vlaamse Overheid een meetbare invloed op het binnenmilieu van de klas teweegbracht. Anderzijds zal het effect van een interventie op de luchtkwaliteit door de lucht te zuiveren nagegaan worden. Ook het effect van deze interventies op de gezondheid van de kinderen zal nagegaan worden.

De combinatie van hoofd- en nevenstudie(s) zal aanleiding geven tot een evaluatie van 'de luchtkwaliteit in een gemiddeld klaslokaal' ten opzichte van bestaande normen en richtlijnen. Als resultaat hiervan zullen concrete aanbevelingen op beleidsniveau en remediërvorstellen geformuleerd worden. Aanvullend kunnen de conclusies van deze studie ook de aanleiding zijn voor mogelijke vervolgstudies.

LITERATUURLIJST

Annesi-Maesano et al. (2007) Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children. *Respiratory Medicine*. 101. p. 1721.

ASTM D 6245-07: Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation

ASTM E741-00: Standard Test Method for Determining Air Change in a single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution

Behoeftteonderzoek inzake schoolinfrastructuur binnen het gesubsidieerd onderwijs in de Vlaamse Gemeenschap, <http://www.agion.be/downloads/archive/b6e47b57-0117-4be2-9289-c9c07a053a94.pdf>

Bornehag et al. (2005). Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children. 15. 275-280

Daisey J.M., Angell W. J., Abte M. G. (2003). Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air* 13, 53-64.

Fromme H., Twardella D., Dietrich S., Heitmann D., Schierl R., Liebl B., Rden H., (2007). Particulate matter in the indoor air of classrooms - exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment* 41, 854-866.

Geelen L.M.J., Huijbregts M.A.J., Ragas A.M.J., Bretveld R.W., Jans H.W.A., Van Doorn W.J., Evertz S.J.C.J., van der Zijden A. (2008). Comparing the effectiveness of interventions to improve ventilation behaviour in primary schools. *Indoor Air* 18, 416-424.

Goelen E., Lambrechts M., Geyskens F. (1997). Sampling Intercomparisons for aldehydes in simulated workplace air. *The Analyst*, 122, 411-419.

Goelen et al. (2007) Onderzoek na de invloed van het voorkomen van milieugevaarlijke stoffen in de buitenlucht op de kwaliteit van de binnenomgeving, deel 1: kinderen. Studie uitgevoerd in opdracht van het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie

Gou H., Morawska L., He C., Gilbert D. (2008). Impact of ventilation scenario on air exchange rates and on indoor particle number concentrations in an air-conditioned classroom. *Atmospheric Environment* 42, 757-768.

HESE (2006). Health Effects of School Environment (HESE)-Final Scientific Report,http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2002/pollution/fp_pollution_2002_frep_04.pdf

ISO 16000-3: 2001: Indoor Air-Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds-Active sampling Method

ISO 16000-4: 2004: Indoor Air-Part 4: Determination of formaldehyde - Diffusive sampling method

ISO 16000-5: 2007: Indoor Air- Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOC's)

ISO-16000-1: 2004: Indoor Air-Part 1: General aspects of sampling strategy

Kim et al. (2007) Respiratory symptoms, asthma and allergen levels in schools - comparison between Korea and Sweden. *Indoor Air*. 17. 122-129

Mendell J.M., Heath G.A. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air* 15, 27-52.

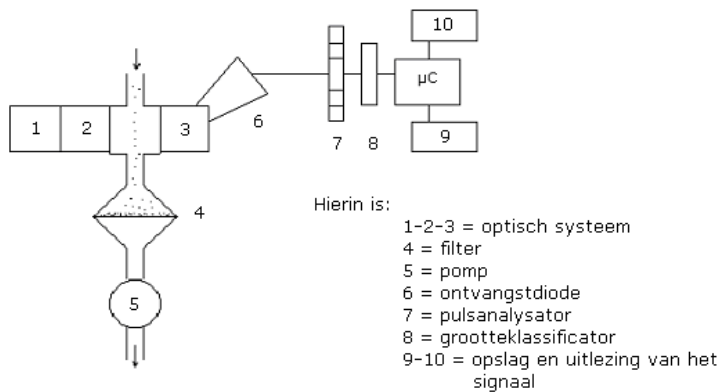
- Molhave L. (2003). Organic compounds as indicators of air pollution. *Indoor Air*, 13, 12–19.
- Molna P., Bellander T., Ilstena B., Boman. J. (2007). Environmental Monitoring, (2007). Indoor and outdoor concentrations of PM2.5 trace elements at homes, preschools and schools in Stockholm, Sweden, 9, 348–357
- Molnár et al. (2007) Indoor and outdoor concentrations of PM2.5 trace elements at homes, preschools and schools in Stockholm, Sweden. *Journal of Environmental Monitoring*. 9. p. 348
- Norbäck D., Nordström K. (2008). an experimental study on effects of increased ventilation flow on students' perception of indoor environment in computer classrooms. *Indoor Air* 18, 293-300.
- Norm ISO 16000-2: 2004: Indoor Air--Part 2: Sampling strategy for formaldehyde
- Potgieter-Vermaak S., Stranger M., Godoi A.F.L., Jacobs W., Godoi R.H.M. and Van Grieken R. (2008). Volatile organic gaseous pollutants in various indoor environments In: "Air Quality: New Research", S.A. Lych and L.K. Moore, Nova Science Publishers, Hauppauge, NY
- Santamouris M., Synnefa A., Assimakopoulos M., Livada I., Pavlou K., Papaglastra M., Gaitani N., Kolokotsa D., Assimakopoulos V. (2008). Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energy and Building*, in press
- Spruyt M., Bormans R., Desmet L., Geyskens F., Poelmans D., Van Hasselt B., Verbeke L., Goelen E., The Influence of Contaminants in Ambient Air on the Indoor Air Quality, Part 1: Exposure of children, Report of Work Package 2: Fieldwork and Measurements
- Spruyt, M. et al (2005). Verkennend onderzoek naar formaldehyde in de omgevingslucht van Vlaanderen.
- Stranger M., Potgieter-Vermaak S.S., Van Grieken R. (2008). Characterization of indoor air quality in primary schools in Antwerp, Belgium. *Indoor Air*, accepted 22nd of April 2008
- Tippayawong N., Khuntong P., Nitatwichit C., Khunatorn Y., Tantakitti C. (2008). Indoor/outdoor relationships of size-resolved particle concentration in naturally ventilated school environments. *Building and Environment*, in press.
- Tranter D.C. (2005). Indoor allergens in settled school dust: a review of findings and significant factors. *Clinical and Experimental Allergy* 35, 126-136.
- Van Roosbroeck et al. (2006). Long-term personal exposure to traffic-related air pollution among school children, a validation study. *Science of the Total Environment*. 386. p. 565
- Van Roosbroeck et. al. (2007) Long-term personal exposure to PM2.5, soot and NOx in children attending schools located near busy roads, a validation study. *Atmospheric Environment*. 41. p. 3381
- Versteeg H. (2007). Onderzoek naar de kwaliteit van het binnenmilieu in basisscholen, VROM, OCW, SZW en VNR, rapport 8055.
- VITO rapport 2004/MIM/R/149
- VITO rapport 2006/MIM/R/096, July 2006
- Weichenthal S., Dufresne A. Infante-Rivard C. (2007). Indoor nitrogen dioxide and VOC exposures: Summary of evidence for an association with childhood asthma and a case for the inclusion of indoor ultrafine particle measures in future studies. *Indoor Built Environ* 16, 387-399.

Wood R.A., Burchett M.D., Alquezar R., Orwell R.L., Tarran J., Torpy F. (2006). The potted plant microcosm substantially reduces indoor air pollution: I. Office field study. *Water, Air, and Soil Pollution*, 175, 163-180.

Zhang et al. (2006). Indoor environmental quality in a 'low allergen' school and three standard primary schools in Western Australia. *Indoor Air*. 16. p. 74-80

BIJLAGE 1 DETAILBESCHRIJVING VAN HET GRIMM TOESTEL

Figuur A geeft een schematisch overzicht van de werking van het GRIMM toestel. De te analyseren lucht wordt via een volumegecontroleerde pomp (5) met een debiet van 1,2 l/minuut in het toestel gezogen. Een laser (1, 2 en 3) stuurt een laserstraal door de gasstroom, het laserlicht zal op de aërosoldeeltjes verstrooid worden. Dit verstrooide licht wordt onder een hoek van 90° gedetecteerd in de detector (6) en omgezet naar een elektrisch signaal. Dit signaal gaat na versterking naar de pulsanalyser (7) waar het naargelang de grootte in de verschillende klassen ingedeeld wordt (8). De gemeten deeltjes worden opgevangen op een filter (4), die zich vóór de pomp bevindt.



een elektrisch signaal. Dit signaal gaat na versterking naar de pulsanalyser (7) waar het naargelang de grootte in de verschillende klassen ingedeeld wordt (8). De gemeten deeltjes worden opgevangen op een filter (4), die zich vóór de pomp bevindt.

Figuur A: Schema GRIMM 1.108

Indien gewenst kan dus een gravimetrische ijking van het toestel of een chemische analyse van het stof uitgevoerd worden. De pomp zorgt zo ook voor de nodige zuivere lucht welke als een mantel rond de te analyseren lucht mee door de optische kamer wordt geblazen. Zo wordt contact tussen de aërosoldeeltjes en het optisch gedeelte voorkomen. Deze zuivere lucht wordt ook gebruikt voor de referentienultest gedurende de automatische kalibratie. De test gebeurt telkens aan het begin van een meting en duurt ongeveer 30 seconden.

De GRIMM 1.108 beschikt over een geheugenkaart waarop de gemeten concentraties en de grootte van de gemeten deeltjes elke minuut weggeschreven worden. Deze gegevens worden na de metingen naar een computer gekopieerd waar ze verder verwerkt worden.

De specificaties van het toestel zijn in Tabel A weergegeven.

Tabel A: Specificaties GRIMM 1.108

deeltjesgrootte	0,23/0,30/0,40/0,50/0,65/0,80/1,0/1,6/2,0/3,0/4,0/5,0/7,5/10/ 15/20 μm
deeltjesbereik	1 tot 2 000 000 tellingen/liter
massabereik	0,1 tot 100 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
gevoeligheid	1 deeltje/liter
aanzuigdebiet	1,2 liter/minuut
reproduceerbaarheid	+/-2%
werkingstemperatuur	+4°C tot 45°C
afmetingen	24 x 12 x 6 cm
gewicht	2,4 kg
energievoorziening	Batterij of 240 VAC met uitwendige stroomvoorziening

De GRIMM 1.108 biedt een aantal grote voordelen tegenover andere frequent gebruikte toestellen:

- draagbaar toestel;
- snelheid van meten;
- lage kostprijs;
- inwendige batterij.

De referentietoestellen (Partisol Plus) zijn relatief zwaar, groot en hebben een externe voeding nodig wat ze minder geschikt maakt om mobiel te meten. In het bijzonder in schoolomgevingen zijn draagbare, snelle toestellen die autonoom kunnen werken zeer bruikbaar.

Toch zijn er een aantal aandachtspunten bij het gebruik van GRIMM1.108:

- De GRIMM is een optisch meettoestel, het meet de optische diameter van een deeltje en niet de aërodynamische diameter. Indien de dichtheid van de gemeten aërosoldeeltjes sterk afwijkt van de eenheidsdichtheid zal het toestel bij het omrekenen van diameter naar massa een afwijkende waarde rapporteren. Dit kan zowel leiden tot een over- als een onderschatting. Daarom zullen alle Grimm-toestellen die in dit onderzoek gebruikt worden regelmatig gekalibreerd worden ten opzichte van de referentiemethode.
- Indien de relatieve luchtvochtigheid hoog is, zal er een dun laagje water condenseren op de deeltjes. Dit laagje wordt door de GRIMM mee gemeten. Dit zal leiden tot een overschatting. Bij gebruik van een weersbestendige behuizing (zie Figuur B) wordt de inkomende lucht bij hoge relatieve vochtigheid verdund waardoor dit probleem verdwijnt.
- Bij regen kan niet gemeten worden omdat de GRIMM kleine waterdruppels zal detecteren en deze als deeltjes zal rapporteren (tenzij gebruik van een weersbestendige behuizing).

Er kunnen grote verschillen bestaan in de resultaten van verschillende GRIMM 1.108 toestellen. Het is dus noodzakelijk om de verschillende Grimm's voorafgaand aan de meetcampagne te vergelijken ten opzichte van de referentiemethode (= Partisol Plus) zodat correctiefactoren kunnen afgeleid worden. Deze vergelijking moet mét weersbestendige behuizing gebeuren omdat de Grimm's tijdens de meetcampagne eveneens met behuizing zullen worden ingezet.



Figuur B: GRIMM met weersbestendige behuizing

BIJLAGE 2: DETAILBESCHRIJVING VAN DE EVENWICHTS CO₂-ANALYSE EN DE CO₂ TRACERGAS-METHODE

De evenwichts-CO₂-analyse

CO₂-concentraties in binnenlucht kunnen onder bepaalde omstandigheden gebruikt worden om het buitenlucht-ventilatie-debiet in te schatten op basis van de tracergas-techniek. De toepassing van de constante injectietechniek waarbij gebruik wordt gemaakt van het door bewoners gegenereerde CO₂ wordt soms de evenwichts-CO₂-analyse genoemd.

Bij de constante injectietechniek, die in testmethode ASTM E741 beschreven wordt, wordt het tracergas in een enkele ruimte geïnjecteerd aan een constante en gekende snelheid. Het gas wordt in de ruimte verspreid, zodat aan de concentratie-uniformiteitscriteria van Test methode E 741 voldaan wordt. De concentratie aan tracergas wordt vervolgens continu gemeten. Het gemiddelde buitenluchtdebiet in de ruimte (Q) gedurende een bepaald tijdsinterval wordt dan berekend op basis van het gemiddelde van de inverse concentraties tijdens dat interval, het tracergasdebiet (Q_{tracer}), het volume van de ruimte (V_{zone}), de duur van het tijdsinterval (t₂-t₁) en de tracergas-concentratie gemeten bij het begin (C₁) en op het einde van het tijdsinterval (C₂):

$$Q = Q_{\text{tracer}} \times \left[\frac{1}{C} \right]_{\text{gem}} - \frac{V_{\text{zone}}}{(t_2 - t_1)} \ln \left[\frac{C_2}{C_1} \right]$$

waarbij

Q: buitenluchtdebiet (in m³/h)

Q_{tracer}: tracergasdebiet (in m³/h)

C: tracergasconcentratie = de verhouding tussen de hoeveelheid tracergas in de lucht en de hoeveelheid lucht (m³/m³)

C₂: tracergasconcentratie op tijdstip t₂

C₁: tracergasconcentratie op tijdstip t₁

V_{zone}: volume van de ruimte (in m³)

t: een specifiek tijdstip (in h)

Een meting bij een constante tracergasinjectie, uitgevoerd volgens Test methode E 741, laat toe om het totale debiet van de buitenlucht die een ruimte binnenkomt te bepalen. De intrede van buitenlucht omvat zowel infiltratie via lekken en andere openingen in het gebouw als opzettelijke buitenlucht-opname via mechanische ventilatiesystemen. Deze testmethode is van toepassing voor "single-zone spaces", die in Test methode E 741 gedefinieerd worden als een ruimte of een reeks ruimten waarin de tracergasconcentratie homogeen gehouden kan worden en die enkel lucht uitwisselen met buiten.

De evenwichts-CO₂-analyse is een speciaal geval van de constante-injectie-techniek die in methode E 741 beschreven wordt waarbij:

- het debiet aan buitenlucht constant is;
- de buitenlucht tracergas-concentratie niet nul en constant is;
- de binnenlucht CO₂-concentratie een evenwicht heeft bereikt;
- er een constante productie van CO₂ in de ruimte is;

er naast ventilatie geen andere wijzen van CO₂-verliezen plaatsvinden;

Indien aan deze voorwaarden voldaan is, geldt onderstaande formule:

$$Q_0 = 10^6 \times \frac{G}{(C_{\text{in,eq}} - C_{\text{out}})}$$

waarbij:

Q_0 : totale debiet aan buitenlucht die een ruimte binnenkomt, uitgedrukt in L/s

G : Gegeneerde CO₂-debiet in de ruimte, uitgedrukt in L/s

$C_{in,eq}$: evenwichts-CO₂-concentratie in de ruimte, uitgedrukt in ppm(v)

C_{out} : CO₂-concentratie buiten, uitgedrukt in ppm (v)

Deze vergelijking kan in termen van buitenluchtdebiet per persoon in de ruimte geschreven worden door vervanging van G door het gegeneerde CO₂-debiet per persoon:

$$Q_p = 10^6 \times \frac{G_p}{(C_{in,eq} - C_{out})}$$

Waarbij:

Q_p : buitenluchtdebiet per persoon in de ruimte, uitgedrukt in L/s per persoon

G_p : Het gegeneerde CO₂-debiet in de ruimte per persoon, uitgedrukt in L/s per persoon

Tracer-gas-decay-methode

In testmethode ASTM E 741-00 wordt de tracer-gas-decay-methode (of concentratieverval-methode) beschreven. Bij deze methode wordt een klein volume tracergas homogeen in de ruimte verdeeld en wordt de concentratie van het gas vervolgens op gekende tijdstippen gemeten. De snelheid waarmee de tracergasconcentratie afneemt, is een maat voor het ventilatiedebiet van de ruimte. Het gemiddelde ventilatievoud gedurende een periode kan dan met onderstaande formule berekend worden:

$$\bar{A} = \frac{\ln C(t_2) - \ln C(t_1)}{(t_2 - t_1)}$$

waarbij:

\bar{A} : ventilatievoud in h⁻¹

t : een bepaald tijdstip in h

$C(t)$: tracergasconcentratie (in m³/m³) op tijdstip t

Indien $\ln C(t)$ uitgezet wordt ten opzichte van t , dan geldt bij een constant debiet:

$$\ln C(t) = -A t + \ln C(0)$$

In een typisch regressieprogramma wordt een regressie op Y tegenover X uitgevoerd en worden de constanten a en b in de relatie bepaald:

$$Y = aX + b$$

Indien een lineaire regressie van $\ln C(t)$ tegenover t wordt uitgevoerd, dan komt A overeen met a , $\ln C(0)$ met b , $\ln C(t)$ met Y en t met X .

De tracer-gas-decay-techniek, die in methode ASTM D 6245-07 beschreven wordt, maakt gebruik van CO₂, dat door de aanwezigen in een ruimte gegeneerd wordt, als tracergas. De meting wordt uitgevoerd op het moment dat de aanwezigen de ruimte verlaten hebben, dus wanneer er geen nieuwe CO₂ meer gegeneerd wordt.

De methode veronderstelt dat de buitenconcentratie nul is, wat voor CO₂ niet het geval is. Als de concentratie buiten echter constant blijft tijdens de metingen van het CO₂-verval, kan de methode toch gebuikt worden. In dat geval wordt de binnenconcentratie in de berekening vervangen door het verschil tussen de binnen- en buitenconcentratie.

Een mogelijk nadeel van deze techniek is dat er een bepaalde tijd verstrijkt vooraleer alle aanwezigen de ruimte verlaten hebben. Hierdoor kan de CO₂-binnenconcentratie op dat moment te laag zijn om nog een betrouwbare tracergas-decay-meting uit te voeren. Immers, de binnenconcentratie op het moment dat de ruimte leeg is, is functie van de CO₂-concentratie op het moment dat iedereen de ruimte begint te verlaten, de tijd nodig om de ruimte te verlaten en het buitenlucht-ventilatie-debiet.

BIJLAGE 3: DETAILBESCHRIJVING VAN DE VEREISTEN EN VERONDERSTELLINGEN VOOR BEREKENING VAN HET VENTILATIEVOUD MET DE EVENWICHTS-CO₂-ANALYSE

Er dient opgemerkt te worden dat de formule gebaseerd is op verschillende vereisten en assumpties gerelateerd aan de single-zone tracergas massabalans, de basis van de vergelijking:

1) De ruimte gedraagt zich als een *single-zone*

Beide bovenvermelde vergelijkingen nemen als uitgangspunt dat de ruimte waarop de berekening toegepast wordt zich gedraagt als een *single-zone* met betrekking tot de CO₂-concentratie, dit wil zeggen dat de CO₂-concentratie in de zone homogeen verdeeld moet zijn. Zodoende mag de tracergas-concentratie op verschillende representatieve plaatsen in de ruimte slechts minder dan 10% van de gemiddelde concentratie in de ruimte afwijken. Dit dient vooraf geverifieerd te worden door het meten van de binnenluchtconcentratie in de gehele ruimte. De meetpunten moeten hierbij horizontaal en verticaal goed verspreid worden. De meetpunten worden dus gekozen in de individuele kamers waaruit de ruimte is opgebouwd en op verschillende locaties in elk van deze kamers. Op basis van deze metingen worden de uniformiteitscriteria geëvalueerd door de berekening van het verschil tussen de gemeten concentraties en de buitenconcentratie.

2) De ruimte is geïsoleerd van andere ruimten

De geteste ruimte moet geïsoleerd zijn om luchtstroming van andere binnenruimten tegen te gaan, tenzij de CO₂-concentratie in deze ruimten hetzelfde is als in de geteste ruimte. In de praktijk wil dit zeggen dat de vergelijkingen slechts geldig zijn, indien de concentratie in de rest van het gebouw, verminderd met de concentratie in de buitenlucht, minder dan 10% afwijkt van het gemiddelde CO₂-concentratieverschil. Indien de afwijking groter dan 10% is, moet aangetoond worden dat er geen significante luchtstroom vanuit deze kamers naar de testruimte plaatsvindt. De afwezigheid van luchtstromingen kan visueel aangetoond worden door het gebruik van rook op de stromingspaden tussen kamers.

Vertaald naar dit onderzoek impliceert deze voorwaarde dat er geen grote verschillen tussen de CO₂-concentraties in de verschillende leslokalen in de scholen mogen bestaan.

3) Een constant en gekend CO₂-debiet

Dit wil zeggen dat het aantal aanwezigen in de ruimte en de mate waarin zij CO₂ produceren gedurende een voldoende lange periode constant moet zijn, terwijl de concentratie een evenwicht opbouwt. Bij toepassing van de eerste vergelijking moet het aantal aanwezigen en het gemiddeld gegenereerde CO₂-debiet gekend zijn. Indien de tweede vergelijking wordt gebruikt, moet enkel het gemiddeld gegenereerde CO₂-debiet gekend zijn. Om dit gemiddeld gegenereerde CO₂-debiet te kunnen bepalen, moet rekening gehouden worden met het inspanningsniveau en de lichaamsafmetingen van de aanwezigen.

Het menselijk metabolisme verbruikt zuurstof en produceert CO₂ met een debiet dat afhangt van het niveau van fysieke inspanning, de lichaamsafmetingen en het dieet. De mate van zuurstofverbruik V_{O_2} in L/s per persoon wordt gegeven door:

$$V_{O_2} = \frac{0,00276 \times A_D \times M}{0,23 \times RQ + 0,77}$$

waarbij:

A_D : DuBois lichaamsoppervlakte in m²

M: metabolische snelheid per eenheid van oppervlakte, uitgedrukt in *met* (1 *met* = 58,2 W/m²)

RQ: ademhalingsquotiënt

De DuBois lichaamsoppervlakte is ongeveer gelijk aan 1,8 m² voor een volwassene van gemiddeld formaat en van 0,8 tot 1,4 m² voor kinderen van de lagere school. De ademhalingsquotiënt, RQ, is de verhouding tussen het geproduceerde volumedebiet aan CO₂ en het verbruikte zuurstofdebiet V_{O_2} . Hieruit volgt dat het geproduceerde CO₂-debiet gelijk is aan V_{O_2} vermenigvuldigd met RQ. De waarde van RQ hangt af van het dieet, de fysieke inspanning en de fysieke conditie van een persoon. RQ is gelijk aan 0,83 voor een gemiddelde volwassene die weinig lichaamsbeweging vereisende activiteiten verricht. RQ stijgt naar een waarde van ongeveer 1 voor fysiek zware activiteiten, ongeveer 5 *met*.

In Tabel B zijn typische waarden voor RQ voor een aantal activiteiten opgenomen.

Tabel B: Typische "met" waarden voor verschillende activiteiten

Activiteit	Metabolische snelheid per eenheid van oppervlakte (Met)
rustig zittend	1,0
zittend lezen en schrijven	1,0
Typend	1,1
Zittend bureauwerk	1,2
Rechtopstaand bureauwerk	1,4
Wandelen tegen 0,89 m/s	2,0
Kuisen in huis	2,0-3,4
Trainen	3,0-4,0

Het CO₂-debiet geproduceerd door een volwassene van gemiddeld formaat ($A_D = 1,8$ m²) die kantoorwerk uitvoert, bedraagt ongeveer 0,0052 L/s. Het geproduceerde CO₂-debiet voor een kind ($A_D = 1$ m²) met een fysiek activiteitsniveau van 1,2 is gelijk aan 0,0029 L/s.

4) Gebaseerd op een constante CO₂-concentratie buiten

Dit geldt voor beide vergelijkingen. Deze vereiste is in het algemeen geen probleem, maar de CO₂-concentratie buiten moet vóór en tijdens de meting van de evenwichtsconcentratie in de binnenlucht gemeten worden. Het is niet voldoende om te veronderstellen dat de CO₂-buitenconcentratie typisch 350 ppm (v) bedraagt. CO₂ concentraties buiten kunnen tussen 300 tot 500 ppm (v) variëren, afhankelijk van het tijdstip op de dag, het seizoen, weersomstandigheden en de locatie van het gebouw waar de meting plaatsvindt.

5) Gebaseerd op een constant luchtdebiet

De vergelijkingen zijn gebaseerd op de veronderstelling dat het buitenluchtdebiet constant is. Indien men de evenwichts-CO₂-analyse toepast, dan moeten alle factoren in beschouwing genomen worden die invloed hebben op de ventilatie van de ruimte. Tot deze factoren behoren o.a. de weerscondities buiten en de werking en controle van mechanische ventilatiesystemen. Typische variaties in de weerscondities resulteren in het algemeen niet in significante veranderingen van het buitenluchtdebiet. Maar indien een gebouw mechanisch geventileerd is, dan kan de hoeveelheid lucht die van buiten wordt aangezogen door het systeem mogelijk afhankelijk zijn van de weerscondities. Bij dergelijke systemen kan het aangezogen debiet eveneens variëren in functie van het tijdstip van de dag, de binnentemperaturen en andere factoren. Als het gebouw mechanisch geventileerd is, dan moet de regeling van de aangevoerde hoeveelheid buitenlucht duidelijk zijn. De bedrijfstoestand van het systeem moet geïnspecteerd worden voor en tijdens de CO₂-concentratiemetingen om te verifiëren dat deze niet wijzigt.

6) CO₂ in de buitenlucht bereikte evenwicht

Dit wil zeggen dat het in de binnenlucht gegenereerd CO₂-debiet, de CO₂-concentratie buiten en het buitenluchtdebiet gedurende een voldoende lange periode constant moeten zijn, zodat de CO₂-concentratie binnen stabiliseert tot een constante waarde. Op dit punt is het gegenereerde CO₂-debiet in de ruimte plus het debiet waarmee CO₂ van buiten in de ruimte binnenkomt gelijk aan het CO₂-debiet dat de ruimte verlaat door ventilatie.

De tijd die nodig is om een CO₂-evenwicht te bereiken is enkel afhankelijk van het buitenluchtdebiet van de ruimte gedeeld door het volume van de ruimte. Dit wordt ook ventilatievoud (uitgedrukt in h⁻¹) genoemd:

$$\text{Ventilatievoud (h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{ingeblazen verse lucht (m}^3\text{/h)}}{\text{inhoud van de ruimte (m}^3\text{)}}$$

De tijdsconstante van de ruimte is het inverse van het ventilatievoud.

Indien de CO₂-productie (bezettingsgraad), de buitenluchtconcentratie en het ventilatiedebiet constant zijn en de binnenluchtconcentratie begint bij de buitenluchtconcentratie, dan duurt het 3 tijdsconstanten opdat het verschil tussen binnen- en buiten CO₂-concentratie 95% van de evenwichtswaarde bereikt. Bij een ventilatievoud van 0,25 h⁻¹, is er bijvoorbeeld 12 h nodig van constante bezetting van de ruimte, vooraleer 95% van de evenwichts-CO₂-concentratie bereikt wordt. Dit ventilatievoud komt overeen met ongeveer 3 l/s per persoon en een bezettingsgraad van 7 mensen per 100 m² vloeroppervlakte en is niet ongewoon in kantoorgebouwen bij minimum ventilatie. Bij hoge ventilatievouden boven 1 h⁻¹ wordt het evenwicht in 3 uur of minder bereikt. In de praktijk kan er verondersteld worden dat voldaan is aan de evenwichtsvoorwaarde indien de verandering in (binnenlucht - buitenlucht)-concentratie over 1 uur minder is dan de hoeveelheid die bepaald wordt met volgende vergelijking:

$$\Delta C_{\text{eq}} = 180 \times \frac{G}{V}$$

waarbij:

ΔC_{eq} : verandering in (binnenlucht - buitenlucht)-concentratieverschil

G: CO₂-generatiedebiet in de ruimte, l/s

V: volume van de ruimte in l

G kan bepaald worden door het aantal mensen in de ruimte te vermenigvuldigen met de gemiddelde CO₂-productie per persoon. G en V moeten slechts bij benadering gekend zijn.

BIJLAGE 4: GEDETAILLEERD BEMONSTERINGSSCHEMA VOOR ALLE COMPONENTEN (GANSE MEETPERIODE)

De staalname wordt uitgevoerd in 2 scholen per week . De volgende opsomming toont het nodige materiaal per week:

voor de binnenlucht:

- 6 passieve samplers aldehyden
- 6 passieve samplers VOC
- 3 grimm's
- 2 Klimaboxen
- 3 Harvard-type impactoren voor PM_{2,5}
- 3 statieven waaraan de passieve samplers gehecht worden tijdens staalname

voor de buitenlucht:

- 4 passieve samplers aldehyden
- 4 passieve samplers VOC
- 2 partisols
- 2 E+E elektronik en 3 minithermometers (radiello)
- 2 afschermingen voor staalname op speelplaats

Onderstaande tabellen geven een overzicht van het meetplan voor deze periode, gebruikmakend van bovenstaande apparatuur. De gebruikte afkortingen en staalcodes zijn:

- K 1: klas nummer 1
- D 1: dag nummer 1
- S1Rbi1: school 1 - radiello voor VOC – binnen – klas 1
- S1Ubi1: school 1, UME voor aldehyden – binnen – klas 1
- S1Rbu1: school 1 – radiello voor VOC – buiten – klas 1
- S1Ubu1: school 1 – UME voor aldehyden – buiten – klas 1
- CB 1: Klimabox nummer 1
- EE 1: E+E elektronik nummer 1
- RT 1: Radiello minithermometer nummer 1
- G 1: Grimm nummer 1
- P 1: Partisol nummer 1
- H1: Harvard-type impactor nummer 1

Bijlage 4: Gedetailleerd bemonsteringsschema voor alle componenten (ganse meetperiode)

	School 1 - Klas 1								School 1 - Klas 2								School 1 - Klas 3							
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	
VOS	S1RBi1						-	-	S1RBi2						-	-	S1RBi3						-	-
ALD	S1UBi1						-	-	S1UBi2						-	-	S1UBi3						-	-
PM	G1						-	-	G2						-	-	G3						-	-
PM _{2.5}	H1						-	-	H2						-	-	H3						-	-
CO ₂	CB 1						-	-	CB 2						-	-	CB 3						-	-
T							-	-							-	-							-	-
RH							-	-							-	-							-	-

	School 1 - Speelplaats								School 1 - Straatkant							
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	
VOS	S1RBU1						-	-	S1RBU2						-	-
ALD	S1UBu1						-	-	S1UBu2						-	-
PM _{2.5}	P1						-	-	P2						-	-
CO ₂	EE1						-	-	EE2						-	-
T	RT1						-	-	RT2						-	-

BIJLAGE 5: VRAGENLIJSTEN EN INVULFORMULIEREN GEBRUIKT IN HET HESE PROJECT

uit:

http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2002/pollution/fp_pollution_2002_frep_04.pdf

a. Teacher's questionnaire about the classroom

During the cold season, are there any days when it is very cold inside the classroom, so to be uncomfortable?

- Never
- Rarely
- Sometimes
- Often

During the cold seasons, are there any days when it is very hot inside the classroom, so to be uncomfortable, because the heating system is too high?

- Never
- Rarely
- Sometimes
- Often

During the cold season, are there any days when outside is cold and windows glasses became steamy?

- Never
- Rarely
- Sometimes
- Often

During the hot season, are there any days when it is very hot inside the classroom, so to be uncomfortable?

- Never
- Rarely
- Sometimes
- Often

In the classroom, do ever sunshine hit directly on some of the benches?

- No
- Yes

How humid is usually the classroom?

- Not at all
- Very little
- A little humid
- Definitely humid

Have you ever noticed a mouldy/earthy or cellar-like odour inside the classroom?

- No
- Yes

Have there ever been visible signs of moisture damage such as damp stains or spots, deterioration or darkening of surface materials in the ceiling, walls, or floors, or signs of condensation of water on surfaces in the classroom?

- No
- Yes

How dusty is usually the classroom?

- Not at all
- Sometimes a little dusty
- Usually a little dusty
- Very dusty

How would you score the illumination of the classroom?

- Very poor
- Rather poor
- Rather good

- Very good
How would you score the indoor air quality of the classroom?
Very poor
Rather poor
Rather good
Very good
- Overall, how comfortable is the classroom in your opinion?
Very uncomfortable
Rather uncomfortable
Rather comfortable
Very comfortable
- During school activities, do children use glue, paint, enamels or other products for artwork with an irritant smell?
No
Yes
- If YES:
Were are they stored?
In an air-tight chest, into the classroom
In a normal chest or on the shelves, into the classroom
In an air-tight sealed chest, outside the classroom
In a normal chest or on the shelves, outside the classroom
- If yes: what precautions are taken when they are used?
None
Windows are open
Used under a hood
- To your knowledge (because of official documents or because it was communicated by parents), how many children of the classroom have asthma?
N.....
I don't know

b. Teacher questionnaire about the school (If the same teacher fills more than one classroom form, this part shall be filled only once)

- In the school are kept any animals with furs or feathers (birds, cats, dogs, ferrets, guinea pig, mice etc)?
No
Yes
- While the children are in the school, are ever used paints, soaps, or other cleaning products with an irritant smell (such as chlorine)?
No
Yes
- Are there places in the school with much dust?
No
Yes
- If Yes: which ones?
Any classroom No Yes
Bathrooms No Yes
Gym No Yes
Corridors No Yes
Kitchen No Yes
Canteen No Yes
Basement No Yes
Offices No Yes
Other places (please, specify).....
- Do you notice a mouldy/earthy or cellar-like odour inside the school?
If Yes: where?

Any classroom No Yes
Bathrooms No Yes
Gym No Yes
Corridors No Yes
Kitchen No Yes
Canteen No Yes
Basement No Yes
Offices No Yes
Other places (please, specify).....

Is there a history of water damage such as leakage from water pipes or washing machines, boiler, refrigerator, freezer, or cooling of the ventilation system in the school building?

If Yes: where?
Any classroom No Yes
Bathrooms No Yes
Gym No Yes
Corridors No Yes
Kitchen No Yes
Canteen No Yes
Basement No Yes
Offices No Yes
Other places (please, specify).....

Have there ever been visible signs of moisture damage such as damp stains or spots, deterioration or darkening of surface materials in the ceiling, walls, or floors, or signs of condensation of water on surfaces in the school?

If Yes, where?
Any classroom No Yes
Bathrooms No Yes
Gym No Yes
Corridors No Yes
Kitchen No Yes
Canteen No Yes
Basement No Yes
Offices No Yes
Other places (please, specify).....

Have you ever seen cockroaches inside the school?

Never
Rarely
Sometimes
Often

Is your school free of tobacco smoke at all times, including during school-sponsored events?

No
Yes

If not, where in the school do people smoke tobacco?

Any classroom No Yes
Bathrooms No Yes
Gym No Yes
Corridors No Yes
Kitchen No Yes
Canteen No Yes
Basement No Yes
Offices
Other places (please, specify).....

How do you perceive the **illumination in the school?** (If the illumination is varying, try to give an average rating)

very poor illumination
rather poor illumination
rather good illumination
very good illumination

How do you perceive the **indoor air quality in the school building?** (If the air quality is varying, try to give an average rating)

very poor air quality
rather poor air quality
rather good air quality
very good air quality

How do you perceive the **outdoor air quality outside the school?** (If the air quality is varying, try to give an average rating)

very poor air quality
rather poor air quality
rather good air quality
very good air quality

Do you think that the ability to do the school work is reduced because of **poor indoor air quality in the school?**

No
Yes

Does your school have a written Indoor Air Quality management plan?

No
Yes

If YES

Does it reduce or eliminate allergens and irritants that can make asthma worse, like:

Cockroaches

No
Yes

Dust mites

No
Yes

Moulds

No
Yes

Pets with furs or feathers

No
Yes

Strong odours or fumes (such as erase boards, copy machines, art and craft supplies, pesticides, paint, perfumes, chemicals)

No
Yes

How often is a school nurse in your school? _____ days/week

For many hours each time? _____ hours/day

If a nurse is not in your school all day, every day, is a nurse regularly available to help the school write asthma plans and give the school guidance on asthma issues?

No
Yes

a) Is someone assigned and trained to give asthma medications?

No
Yes

b) Does the school nurse supervise and monitor that person at least monthly?

No
Yes

Is there a written policy that allows children to take asthma medications at school as prescribed by their doctor and permitted by parents?

No
Yes

a) If yes: Does the written policy specify whether children may carry and administer their own medications?

No
Yes

b) If no: is the medication in the places where the child can access it all day, every day?

No
Yes

c) If no: where is it located?

___teacher ___classroom ___nurses' office ___main office other: _____

d) Is there a functional plan for asthma medications on field trips?

No
Yes

Does your school have a written Asthma Action Plan for each child with asthma in case of a severe asthma episode?

No
Yes

If yes: a) Does that plan include what action to take?

No
Yes

b) Does that plan include whom to notify and when?

No
Yes

Is there a procedure established to discuss the asthma management measures together with the student, teacher and parents?

No
Yes

Is there an established asthma education plan that includes general asthma information, asthma management plans, asthma emergency procedures, and asthma medications for each of the following:

All school staff (including teachers, bus drivers etc)? No Yes

Students with asthma? No Yes

Classmates of students with asthma? No Yes

Parents? No Yes

If in your school there is not an educational program for all school staff, is there a program for teachers about children's asthma?

No, there are no programs for teachers about asthma

Yes, there are voluntary programs for teachers about children's asthma

Yes, at least one teacher is required to attend a program about children's asthma

Yes, every teacher is required to attend a program about children's asthma

Regarding physical education

a) Do students have options for fully and safely participating in physical education class and recess activities?

No
Not always
Yes

b) Is pre-medication available, if needed?

No
Not always
Yes

Are modified activities available, if needed?

No

Not always

Yes

Are (for example) instructors and activity monitors aware of individual needs?

No

Not always

Yes

c. Questionnaire for pupils

SCHOOL:

TODAY'S DATE:

Day Month Year

YOUR NAME:

YOUR AGE: years at last birthday

YOUR DATE OF BIRTH: Day Month Year

Are you?:

MALE

FEMALE

1 Have you ever had wheezing or whistling in the chest at any time in the past?

No

Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 7

2 Have you had wheezing or whistling in the chest in the past 12 months?

No

Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 7

3 How many attacks of wheezing have you had in the past 12 months?

None

1 to 3

4 to 12

more than 12

4 In the past 12 months, how often, on average, has your sleep been disturbed due to wheezing?

Never woken with wheezing

Less than three times in the last 12 months

Less than once per month

Between one and three nights per month

One or more nights per week

5 In the past 12 months, has wheezing ever been severe enough to limit your speech to only one or two words at a time between breaths?

No

Yes

6 In the last 12 months, how much did wheezing influence your activity in the following areas?

Sports and physical activities

School attendance

Night sleep

Playing activities

Friendships

(For each item: Not at all, a little, more than a little, a lot)

6 bis Have you had wheezing or whistling in the chest in the last 30 days?

No

Yes

7 In the past 12 months, has your chest sounded wheezy during or after exercise?

No
Yes

8 In the past 12 months, have you had a dry cough at night, apart from a cough associated with a cold or chest infection?

No
Yes

9 Have you ever had asthma?

No
Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 14

10 In the past 12 months, did you use any drugs (pills, sprays, nebulizers or any other remedies) for asthma?

Never
Yes, occasionally, when needed
Yes, regularly for at least 2 months

11 Did you ever had an asthma attack while at school?

No
Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 14

12 Where did these attacks occur at school (please mark all the answers which apply)?

In the classroom
In the gym
In the bathroom
Outside
Other (please specify).....

13 During which school activities did these asthma attacks occur (please mark all the answers which apply)?

Normal teaching
Exercise
Art activities (painting, gluing etc)
Break
Other (please specify).....

14 Do you have cough on most days (4 or more days per week) outside common colds?

No
Yes, for less than 1 month per year
Yes, for 1-2 months per year
Yes, for 3 months or more per year
-> For how many years did your child have this cough?

15 Do you have phlegm on most days (4 or more days per week) outside common colds?

No
Yes, for less than 1 month per year
Yes, for 1-2 months per year
Yes, for 3 months or more per year
-> For how many years did your child have this phlegm?

Rhinitis: All questions are about problems which occur when you DO NOT have a cold or the flu.

16 Have you ever had a problem with sneezing, or a runny, or blocked nose when you DID NOT have a cold or the flu?

No
Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 21

17 In the past 12 months, have you had a problem with sneezing, or a runny, or blocked nose when you DID NOT have a cold or the flu?

No
Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 21

18 In the past 12 months, has this nose problem been accompanied by itchy-watery eyes?

- No
- Yes

19 In which of the past 12 months, did this nose problem occur? (Please tick any which apply)

- January February March April May June
- July August September October November December

20 In the past 12 months, how much did this nose problem interfere with your daily activities?

- Not at all
- A little
- A moderate amount
- A lot

21 Have you ever had hay fever?

- No
- Yes

22 Have you ever had an itchy rash which was coming and going for at least six months?

- No
- Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 27

23 Have you had this itchy rash at any time in the past 12 months?

- No
- Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 27

24 Has this itchy rash at any time affected any of the following places: the folds of the elbows, behind the knees, in front of the ankles, under the buttocks, or around the neck, ears or eyes?

- No
- Yes

25 Has this rash cleared completely at any time during the past 12 months?

- No
- Yes

26 In the past 12 months, how often, on average, have you been kept awake at night by this itchy rash?

- Never in the past 12 months
- Less than one night per week
- One or more nights per week

27 Have you ever had eczema?

- No
- Yes

28 In the last 7 days, have you been exposed to cigarette or other tobacco smoke of other people?

- No
- Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 34

29 Where did exposure to tobacco smoke occur? (Please check more than one answer, if needed)

- at home
- at school
- in other places

30 For how many hours a day have you been exposed to tobacco smoke from others?

- At home At school In other places

- 1 hour or less
- 1-5 hours
- 6 or more

31 For how many days have you been exposed to tobacco smoke from others in the last week?

- At home At school In other places
- 1 day
- 2 days
- 3-5 days
- 6-7 days

32 How do you judge your exposure to tobacco smoke from others in the past week?

At home At school In other places

- Light
- Moderate
- Heavy

33 How many hours ago were you exposed to tobacco smoke for the last time?

- 1 hour or less
- 2-5 hours
- 6-10 hours 11-15 hours
- 16-24 hours
- 2-4 days
- more than 4 days

QUESTIONS ON HOW YOU PERCEIVE THE SCHOOL ENVIRONMENT

34. How do you perceive the **illumination in the school?** (If the illumination is varying, try to give an average rating)

- very poor illumination*
- rather poor illumination*
- rather good illumination*
- very good illumination*

35. How do you perceive the **indoor air quality in the school building?** (If the air quality is varying, try to give an average rating)

- very poor air quality*
- rather poor air quality*
- rather good air quality*
- very good air quality*

36. How do you perceive the **outdoor air quality outside the school?** (If the air quality is varying, try to give an average rating)

- very poor air quality*
- rather poor air quality*
- rather good air quality*
- very good air quality*

37. Do you think that the ability to do the school work is reduced because of **poor indoor air quality in the school?**

No Yes

MARK WITH AN X SOMEWHERE ON THE SCALES BELOW:

How satisfied are you with the school?

totally dissatisfied totally satisfied

How stressful is the school work to you?

no stress extremely stressful

How does you perceive the climate of co-operation at school?

very poor very good

IF YOU HAVE ANY COMMENTS, PLEASE WRITE THEM ON THE BACK SIDE OF THE PAPER

d. Parent's questionnaire

SCHOOL:

TODAY'S DATE: Day Month Year

CHILD'S NAME:

CHILD'S AGE: years

CHILD'S DATE OF BIRTH: Day Month Year

(Tick all your answers for the rest of the questionnaire)

The questionnaire is completed by: Mother Father Both Other
specify).....

Is your child a:

MALE

FEMALE

Is your child a:

1. Caucasian

2. Asian

3. Black

4. Middle-Oriental

5. Other

1 Has your child ever had wheezing or whistling in the chest at any time in the past?

No

Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 9

2 Has your child had wheezing or whistling in the chest in the past 12 months?

No

Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 9

3 How many attacks of wheezing has your child had in the past 12 months?

None

1 to 3

4 to 12

More than 12

4 In the past 12 months, how often, on average, has your child's sleep been disturbed due to wheezing?

Never woken with wheezing

Less than three times in the last 12 months

Less than once per month

Between one and three nights per month

One or more nights per week

5 In the past 12 months, has wheezing ever been severe enough to limit your child's

speech to only one or two words at a time between breaths?

No

Yes

6 In the past 12 months, did your child's wheezing occur in association with colds or influenza?

Only during colds or influenza

Only outside colds or influenza

Both during and outside colds and influenza

7 In the last 12 months, how much did wheezing influence the quality of life of your

child in the following areas?

Not at all A little Moderately A lot

Sports and physical activities
School attendance
Night sleep
Playing activities
Friendships

8 Has your child had wheezing or whistling in the chest in the past 30 days?

Yes
No

9 In the past 12 months, has your child's chest sounded wheezy during or after exercise?

No
Yes

10 In the past 12 months, has your child had a dry cough at night, apart from a cough associated with a cold or chest infection?

No
Yes

11 Has your child ever had asthma?

No
Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 20

12 At which age did asthma attack(s) occur?

Only during the first two years of age
Only after two years of age
Both before and after two years of age

13 At which age did the last asthma attack occur?

14 In the past 12 months, did your child use any drugs (pills, sprays, nebulizers or any other remedies) for asthma?

Never
Yes, occasionally, when needed
Yes, regularly for at least 2 months

15 Did your child ever had an asthma attack while at school?

No
Yes

IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 18

16 Where did these attacks occur at school (please mark all the answers which apply)?

In the classroom
In the gym
in the bathroom
In the outside
Other (please specify).....

17 During which school activities did these asthma attacks occur (please mark all the answers which apply)?

Normal teaching
Exercise
Art activities (painting, gluing etc)
Break
Other (please specify).....

18 How were these asthma attacks managed (please mark all the answers which apply)?

Nothing was done
The child did self-administered his/her anti-asthma drug
The school operators invited the child to take his/her anti-asthma drug
The school operators provided an anti-asthma drug for the child
The parents were called

The child was taken in charge by the school nurse or physician
The emergency health service was called, or the child was sent to the hospital

19 Is your child allowed to use his/her own anti-asthma medications while at school?

- No
- Yes, but only when the teacher thinks that it is necessary
- Yes, freely

20 Does your child have cough on most days (4 or more days for weeks) outside common colds?

- No
- Yes, for less than 1 month per year
- Yes, for 1-2 months per year
- Yes, for 3 months or more per year
- > For how many years did your child have this cough?

21 Does your child have phlegm on most days (4 or more days for weeks) outside common colds?

- No
- Yes, for less than 1 month per year
- Yes, for 1-2 months per year
- Yes, for 3 months or more per year
- > For how many years did your child have this phlegm?

22 Has your child ever had a problem with sneezing, or a runny, or blocked nose when he/she DID NOT have a cold or the flu?

- No
- Yes
- IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 26

23 In the past 12 months, has your child had a problem with sneezing, or a runny, or blocked nose when he/she DID NOT have a cold or the flu?

- No
- Yes
- IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 27

24 In the past 12 months, has this nose problem been accompanied by itchy-watery eyes?

- No
- Yes

25 In which of the past 12 months did this nose problem occur? (Please tick any which apply)

January February March April May June
July August September October November December

26 In the past 12 months, how much did this nose problem interfere with your child's daily activities?:

- Not at all
- A little
- A moderate amount
- A lot

27 Has your child ever had hay fever?

- No
- Yes

28 Has your child ever had allergic rhinitis different from hay fever (dust, animals etc)

- No
- Yes

29. Have you noticed hypersensitivity/allergy to cats in your child? No Yes

If no, have you suspected that your child has hypersensitivity/allergy to **cats**? No Yes

30. Have you noticed hypersensitivity/allergy to dogs in your child? No Yes

If no, have you suspected that your child has hypersensitivity/allergy to **dogs**? No Yes

- 31. Have you noticed hypersensitivity/allergy to pollen in your child?** No Yes
If no, have you suspected that your child has hypersensitivity/allergy to **pollen**? No Yes
- 32 Has your child ever had allergy to foods?**
No
Yes
IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 34
- 33 Which food caused allergy?:**
It was not identified
Milk
Eggs
Peanuts
Fruits
Fish
Other food (please specify).....
- 34 Are there any allergic disorders in the family? Mark with an X in applicable places even if the symptoms has disappeared.**
Father Mother Siblings
Asthma
Allergic nasal symptoms
Eczema
- 35 Have your child ever had an itchy rash which was coming and going for at least six months?**
No
Yes
IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 41
- 36 Has your child had this itchy rash at any time in the past 12 months?**
No
Yes
IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 41
- 37 Has this itchy rash at any time affected any of the following places: the folds of the elbows, behind the knees, in front of the ankles, under the buttocks, or around the neck, ears or eyes?**
No
Yes
- 38 At what age did this itchy rash first occur?**
Under 2 years
Age 2-4 years
Age 5 or more
- 39 Has this rash cleared completely at any time during the past 12 months?**
No
Yes
- 40 In the past 12 months, how often, on average, has our child been kept awake at night by this itchy rash?**
Never in the past 12 months
Less than one night per week
One or more nights per week
- 41 Has your child ever had eczema?**
No
Yes
- 42 During the first two years of life, did your child suffer any episodes of pneumonia, bronchitis, bronchiolitis or asthmatic bronchitis?**
No
Yes
- 43 Did your child ever suffered from tooth ache?**
No
Yes
IF YOU HAVE ANSWERED "NO" PLEASE SKIP TO QUESTION 45

44 Did your child suffer from tooth ache in the past 12 months?

- No
- Yes

45 Does your child have an important health problem?

- No
- Yes (Please specify).....

46. INFORMATION ABOUT CURRENT DIETARY HABITS

- Once a More than Almost
- Never Rarely week once per week daily
- How often is your child eating fish dishes?
- How often is your child eating meat dishes?
- How often is your child eating fruit?
- How often is your child eating vegetables?
- How often is your child drinking milk?
- How often is your child eating yoghurt, or other products from fermented milk?
- How often is your child out eating fast-food? (hamburgers, pizza, hot dogs etc.)

47 What types of fat/oils is used at cooking at home?

- Butter Margarine Olive oil Rape seed oil Other cooking oils

QUESTIONS ABOUT THE CURRENT HOME ENVIRONMENT OF YOUR CHILD

48. What type of building are you living in now? (answer by making a ring around one alternative)

- Single family house Detached house Apartment Farm Other type

49. Which year did your child move to the current dwelling? (year).....

50. Which year (approximately) was the house constructed? (year).....

51 Is there any tobacco smoking indoors in the dwelling?

- Yes
- Yes often
- Yes sometimes
- No,
- daily
- 1-4 times/ week
- 1-3 times/month
- never

52 How many smokers live in the house with your son/daughter?

- None
- One
- Two
- Three or more

53 How many cigarettes in total are smoked in the house where your child lives, on average, each day ?

- None
- One or two
- 3 to 5
- 5 to 10
- 10 to 20
- More than 20

54. Have the interior of your dwelling been painted during the last 12 months?

- No Yes

If yes, **when was it painted?** _____ month _____ year

If yes, what was painted? (answer by writing a ring around one or many alternatives)

- Ceiling Walls Joinery/woodworks Floors Metal pipes/radiators Others

55. What type of floor material is in your child's bedroom? (answer one alternative)

- Plastic(Vinyl/PVC) Linoleum wood/parquet Wall-to-wall carpet Tiles Others

56 Has the child or any other family member any pets in the dwelling?

No Yes

If yes, what type of pet:

57. Have any of the following been identified in your dwelling during the last 12 months?

Water leakage or water damage indoors in walls, floor or ceiling No Yes

Bubbles or yellow discoloration on plastic floor covering

or black discoloration on parquet floor No Yes

Visible mould growth on indoors on walls, floor or ceilings No Yes

The smell of mould in one or more rooms (not the basement) No Yes

Any other smell (odours in the home, If yes describe the odour:) No Yes

58 . Is it common with dampness/condensation on the lower part of the windows in winter?

No Yes

59 .Have any dampness problems/water damage occurred in the dwelling during the last 5 years

No Yes

If yes, please give a description below of what was the cause of the dampness problem/water damage

CURRENT SYMPTOMS: HAS YOUR CHILD HAD ANY OF THE FOLLOWING SYMPTOMS DURING THE LAST THREE MONTHS:

Yes, Yes, often Yes, sometimes No, daily 1-4 times/ week 1-3 times/month never

60. Rashes on hands or forearms?

61. Rashes on the face or throat?

62. Eczema? If yes, where?

63. Itching in the face or on the throat?

64. Itches on hands or forearms?

65. Eye irritation (redness, dryness, itch)?

66. Swollen eyelids?

67. Headache?

68. Nausea?

69. Runny nose/nasal catarrh?

70. Nasal obstruction/blocked nose?

71. Throat dryness?

72. Sensation of catching a cold?

73. Sore throat?

74. Irritative cough?

75. Breathing difficulties?

76. Feeling tired and out of sort?

77 Does any of these symptoms improve when your child is away from school?

No Yes Do not know

If yes, which symptoms? (write the number of the questions):

78 Does any of these symptoms improve when your child is away from the dwelling?

No Yes Do not know

If yes, which symptoms? (write the number of the questions):

QUESTIONS ON HOW YOUR CHILD PERCEIVES THE SCHOOL ENVIRONMENT

79. How does your child perceive the illumination in the school? (If the illumination is varying, try to give an average rating)

very poor illumination

rather poor illumination

rather good illumination
very good illumination

**80. How does your child perceive the indoor air quality in the school building?
(If the air quality is varying, try to give an average rating)**

very poor air quality
rather poor air quality
rather good air quality
very good air quality

81. How does your child perceive the outdoor air quality outside the school? (If the air quality is varying, try to give an average rating)

very poor air quality
rather poor air quality
rather good air quality
very good air quality

82. Does your child think that the ability to do the school work is reduced because of poor indoor air quality in the school?

No Yes

MARK WITH AN X SOMEWHERE ON THE SCALES BELOW:

83 How satisfied is your child with the school?

_____ totally dissatisfied totally satisfied

84 How stressful is the school work to your child?

_____ no stress extremely stressful

85 How does your child perceive the climate of co-operation at school?

_____ very poor very good

IF YOU HAVE ANY COMMENTS, PLEASE WRITE THEM ON THE BACK SIDE OF THE PAPER

e. Classroom Inspection Form

Data:

School name:.....School No:.....

Inspection code:..... (School No-Room No: example: 36-1)

Room No.....Classroom.....

Measurement of Air change (Air circulation):

Record until the concentration decreases to 5ppm, or for a maximum of 15 mins.

Start time:..... ppm:.....

Stop time..... ppm:.....

DUST SAMPLING (use OF THE vacuum CLEANER):

Pass the vacuum cleaner for 4 minutes on the half of the room closer to the window.

Divide equally between furniture/empty surfaces and floor.

Filter n□.....(Sampled room nr-F, example: 36-1-F)

Repeat on the other half of the room:

Filter n□:..... (Room No nr-K, example. 36-1-K)

DUST, CARBON DIOXIDE, TEMPERATURE, RF

Sample close to the desk, with doors and windows closed, during a lesson plus break (approximately 40 + 20 minutes). Transform to logarithm (log2)

Q-trak: test n□..... Start time:.....

Dusttrak: test n□..... Start time:.....

P- trak: test n□..... Start time:.....

SAMPLER:

Each sampler is labeled with the sampling code, example 36-1

VOC(volatile organic compounds)
 Ozone
 NO2
 formaldehyde
 Petri dishes /allergen
 Date mounted Date..... Time:.....
 Date dismantled Date..... Time:.....
 Code of measurement n^o:.....

BUILDING:

Year built (ca).....*Year of last major restructuring/refurbishing*

N^o stories over ground:

Basement: Yes () No () Underground ()

External walls masonry (concrete) () Wood ()

External roof inclined () flat ()

Floor scaffolding masonry (concrete) () wood ()

Internal walls masonry (concrete) () wood ()

Ventilation natural (absent - non mechanical) F () FT ()

F= franluft (aspiration that send air outside)
 FT=fran o tillluft (air circulation)

ROOM

Floor: Ground floor, Underground,
 1^o(), 2^o(), 3^o(), 4^o()

Room dimensions: length:..... width:..... height.....m
 length:..... width:..... height.....m
 surfacem² volume.....m³

Floor material (surface) plastic () linoleum () carpet () wood () *masonry (tiles etc)* ()
 other ()

If linoleum: is it older than 1992?

Wall covering: wood () paint () wallpaper () other ()

Noise-absorbing panels on the walls:.....m²

Were the walls painted in the last 12 monts?
 If yes: was it an anti-mould painting: No Yes

Roof covering:: Noise-absorbing panels% of the total surface
 Plaster ()
 Wood ()
 Other ()

Ventilation To: omblandande don (area mixer?)
 Lagimpulsdon (Low flow mixer?) ()

Non mechanical ventilators on the windows or in the external walls ()
 Mo ventilator: ()
 Other:..... (please specify)

Non mechanical ventilators on the ceiling (?) ()
 Mechanical ventilator on the ceiling (?) ()
 No ventilator: ()
 Other:..... (please specify)

Air conditioning yes () No ()

Heating system: radiator () Warm air () Heated ceiling () Heated floor () No heating system ()

Inspection Code n^o:.....

Lights: Ceiling units per room : quantity:

covering:
 metal ()
 plastic ()

Light source:Watt Lamps per unit:...

Light unit at the blackboard: Quantity:.....

Cover: metal () plastic ()
Light source :.....Watts Lamps per unit:
Total W:..... W/m²
Windows
 Glass areax m . Number:.... orientation: (S/N/O/E)
 Glass areax m . Number:.... orientation: (S/N/O/E)
 Glass areax m . Number:.... orientation: (S/N/O/E)
total glass surface àà.m² Day light factor.....
Blackboard: black/green () white ()
Textile surface on the walls.....m²
Textile surface on the floor (moquette).....m²
Total textile surface/volume of the room
Open shelves.....m
meters of shelves/volume of the room:
There is any furniture or door made of particleboard, plywood or wood laminate, which
is one year old or less?
 No, Yes
Number of ornamental plants:.....n of which benjamin ficus n□.....
Personal Computer yes () no ()
Washbasin yes () no ()
Damp damages on the walls, floor or ceiling yes () no ()
Floor irregularities (wavy, irregular,, color change, blackened parquet) yes () no ()
Visible mould on the walls, floor or ceiling yes () no ()
Mould smell yes () no ()
Other smells (please specify):.....
Cleaning method:floor dry cleaning days per week:...
Humid cleaning days per week:...
wet cleaning days per week:...
Cleaning of surfaces (dusting tables, shelves etc) days per week:...
Cleaning of textile surfaces (moquette) days per year:..

BIJLAGE 6: TIME ACTIVITY PATTERNS FOR FLEMISH CHILDREN – RESULTS FROM FLIES

In Belgium no time-activity data is available for children younger than 12 years. The TOR time-budget research recently evaluated the activities and time budgets of the Flemish population starting from the age of 12. We will rely on the data gathered in the previous FLIES study.

The average children's time patterns were derived from questionnaires for 4 age categories: babies and toddlers (0-2,5 years), infants (2,5-6 years), primary school children (6-12 years) and secondary school children (12-18 years). It is assumed that the time activity patterns do not depend on location (Antwerp or elsewhere) or location type (hotspot, urban background, rural background). Average time patterns for Flemish children were calculated for different age categories. A summary of the time activity patterns for Flemish children is given in Table 1.

Table 1: Average time activity patterns for Flemish children

location	age categories			
	0-2,5	2,5-6	6-12	12-18
<i>Number of Children</i>	15	9	8	3
	<i>h/day spent in micro-environment</i>			
Dwelling – Bedroom	11,22	11,79	11,23	11,57
Dwelling – Kitchen	0,71	1,32	0,71	1,81
Dwelling – Living Room	5,89	3,41	4,07	2,43
Dwelling – Bad Room	0,56	0,68	0,7	0,41
Dwelling – Other	0,08	0,27	0,03	0,57
Dwelling – Outside	0,02	0,08	0,08	0
Day Care – Inside	4,18	0,08	0,04	0
Day Care – Outside	0,05	0,00	0	0
School – Class Room	0,10	3,68	4,11	4,76
School – Play Ground	0,00	1,04	1,31	0,24
Leisure – Inside	0,36	0,57	0,66	0,44
Leisure – Outside	0,08	0,20	0,34	0,85
Other Inside	0,00	0,00	0	0
Transport (busy) – Walking	0,05	0,10	0,01	0,03
Transport (busy) – Cycling	0,11	0,14	0,12	0,32
Transport (busy) – Motorised	0,37	0,26	0,31	0,34
Transport (calm) – Walking	0,04	0,07	0,01	0,03
Transport (calm) – Cycling	0,00	0,00	0,13	0
Transport (calm) – Motorised	0,01	0,15	0,05	0
total recorded time	23,8	23,8	23,9	23,8

Some findings from this table:

- Main outdoor activities happen at school (play ground) and other outdoor leisure activities.
- Hardly any time was spent outdoors home. This corresponds well with estimates based on enquiries performed by the Belgian National Institute for Statistics (NIS). This source reports on average one minute per day outdoor residence at home.

- Time spent at school is 4-5 hours per week. On a weekly basis, this corresponds to a school duration of 28-35 hours, which is a normal average.

-

The time activity patterns in Table 1 are in accordance with time patterns of a Belgian study (for 12-18 years) and with foreign studies (the Netherlands and the USA).

It should be kept in mind that the exposure for children calculated with this dataset of time patterns and concentrations is not representative for the whole year, since summer is not included. In summer exposure is different given different time patterns of children, and also concentrations are different, e.g. the absence of heating related pollution.

(Contract 071571)

RAPPORTERING WP 2: VELDWERK EN METINGEN

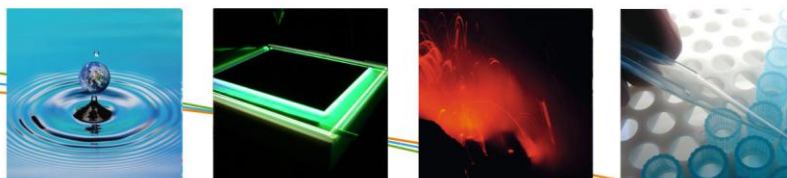
ONDERZOEK NAAR DE KWALITEIT VAN DE BINNENLUCHT IN SCHOLEN: INVLOED VAN HET BUITENMILIEU, VAN VENTILATIE EN VAN KLASINRICHTING

M. Stranger, R. Torfs, R. Swinnen, R. Bormans, J. Lauwers, D. Poelmans, L. Verbeke, W. Swaans,
G. Koppen, M. Spruyt, P. Berghmans, K. Desager, N. Bleux, J. Daems, E. Goelen

Studie uitgevoerd in opdracht van:
dienst Milieu & Gezondheid van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie, en
team Milieugezondheidszorg van het agentschap Zorg en Gezondheid

2009/MRG/R/373

April 2009



VITO NV

Boeretang 200 – 2400 MOL – BELGIUM
Tel. + 32 14 33 55 11 – Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be – www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 435-4508191-02 KBC (Brussel)
BE32 4354 5081 9102 (IBAN) KREDBEBB (BIC)



INHOUD

Inhoud	III
Lijst van afkortingen	V
Hoofdstuk 1 Inleiding	1
Hoofdstuk 2 De scholen	2
2.1 Strategie voor de selectie van scholen	2
2.2 De biba scholen	3
2.3 De biba leerlingen	6
Hoofdstuk 3 De stoffen	7
3.1 Meten en analyseren	7
3.1.1 In de klaslokalen	7
3.1.2 Op de speelplaats	10
3.2 Vragenlijsten	11
3.2.1 Vragenlijst over school- en klasomgeving	11
3.2.2 Vragenlijst voor de kinderen	12
Hoofdstuk 4 Het veldwerk	13
4.1 De organisatie	13
4.2 De uitvoering	14
Hoofdstuk 5 De resultaten	15
5.1 Vragenlijsten over school- en klasomgeving	15
5.2 Resultaten vluchtige organische stoffen	18
5.3 Resultaten aldehyden	18
5.4 Resultaten fijn stof	18
5.5 CO ₂ – Ventilatievoud	20
5.6 Temperatuur – Relatieve vochtigheid	22
Hoofdstuk 6 Vervolg	23
Bijlage 1 Vragenlijst school en klas	24
Bijlage 2 Vragenlijst voor kinderen	32
Bijlage 3 Toestemmingsformulier	43
Bijlage 4 Resultaten VOS	47
Bijlage 5 Resultaten aldehyden	53
Bijlage 6 Resultaten fijn stof	57

Bijlage 7 Resultaten voor verluchting, vochtigheid en temperatuur _____ 61

LIJST VAN AFKORTINGEN

BSVO	Basisschool van het vrij onderwijs
BSSO	Basisschool van het stedelijk onderwijs
BSGO	Basisschool van het gemeenschapsonderwijs
GO!	Gemeenschapsonderwijs
GO/SO/PO	Gemeentelijk – Stedelijk – en Provinciaal onderwijs
BTEX	Benzeen, toluen, ethylbenzeen en xyleenisomeren
VOS	Vluchtige Organische Stoffen
RV	Relatieve Vochtigheid
MMK	Medisch Milieukundige
tVOS	Totaal Vluchtige Organische Stoffen
AGIO	Agentschap voor Infrastructuur in het Onderwijs
GBS	Gemeentelijke Basisschool
VBS	Vrije Basisschool
biba	Binnenlucht in basisscholen
CO ₂	Koolstofdioxide
PM	Particulate Matter
CS ₂	Koolstofdisulfide
LC-UV	Vloeistof chromatografie met ultraviolet detectie
PTFE	polytetrafluoretheen, Teflon



HOOFDSTUK 1 INLEIDING

Deze rapportering beschrijft **WP2: Veldwerk en Metingen**. Hierbij worden de resultaten van alle aspecten die aan bod kwamen bij het veldwerk en de metingen opgelijst. Concreet bevat dit rapport:

- de informatie over scholen, leerlingen, doelgroepen en prioritaire stoffen die effectief aan bod kwamen in de studie
- de resultaten van metingen en analyses
- de verwerkte vragenlijsten over de school- en klasomgeving
- een overzichtelijke bundeling en rangschikking van de resultaten.

HOOFDSTUK 2 DE SCHOLEN

2.1 Strategie voor de selectie van scholen

In totaal werden 30 scholen, verspreid over Vlaanderen geselecteerd voor deelname aan dit onderzoek. In het deelrapport WP1 werd een selectiestrategie voorgesteld, om een representatieve groep scholen te kiezen. Deze was gebaseerd op de volgende criteria:

7. *Representatieve vertegenwoordiging van ouderdomsgroepen*
Schoolgebouwen worden onderverdeeld in drie ouderdomsgroepen:
 - gebouwd na 1990
 - gebouwd voor 1990
 - gerenoveerde gebouwen
8. *Representatieve vertegenwoordiging van de onderwijsnetten*
In Vlaanderen wordt 15% onderwijs georganiseerd door het Gemeenschapsonderwijs, 63% door het vrij onderwijs en 22% in het gemeentelijk, stedelijk en provinciaal net. Daarom werd voor deze studie vooropgesteld om 6 scholen uit het gemeenschapsonderwijs te selecteren, 18 scholen uit het vrij onderwijs en 6 scholen uit het provinciaal, stedelijk en gemeentelijk onderwijsnet.
9. *Ligging in stedelijke of landelijke omgeving*
Binnen elk van de ouderdomsgroepen werden de scholen geselecteerd op basis van de ligging (buitenmilieu). Hierbij werd gebruik gemaakt van de VRIND-gebiedsindeling (Vlaamse Regionale Indicatoren) en de bijhorende verdeelsleutel voor de selectie van klachtvrije woningen (VITO rapport). Zo werd een gelijke verdeling vooropgesteld tussen de selectie scholen in *stedelijke omgeving*, d.i. stedelijke achtergrond en stedelijk centrum, en in *landelijke omgeving*. Via een bevraging werd informatie over de verkeersdichtheid in rekening gebracht.

Dit gaf aanleiding tot 6 groepen van scholen in dit onderzoek, verdeeld over de drie onderwijsnetten en verspreid over Vlaanderen.

7. gebouwd na 1990 – landelijk
8. gebouwd na 1990 – stedelijk
9. gebouwd voor 1990 – landelijk
10. gebouwd voor 1990 – stedelijk
11. gerenoveerd – landelijk
12. gerenoveerd – stedelijk

Aanvullend aan deze vereisten moest een aantal scholen geselecteerd worden dat voldeed aan de aanvullende criteria, vereist voor de nevenstudies. Hiertoe moest een viertal scholen tijdens schooljaar 2008-2009 deelnemen aan het sensibiliseringsproject 'Lekker Fris' (Lekker Fris nevenstudie), en dit dan wel pas na de deelname aan het biba-luchtkwaliteitsonderzoek. Verder werd een drietal scholen geselecteerd voor deelname aan de Luchtzuivering nevenstudie. De staalname in de scholen voor deze twee nevenstudies moest vervolgens zo geagendeerd worden, dat gezondheidsonderzoek van de kinderen uit de deelnemende klassen parallel kon verlopen aan het luchtkwaliteitsonderzoek (afstemmen agenda's VITO-UZA-PIH).

Met behulp van de AGIO schoolgebouwenmonitor, werden voor elke provincie, op basis van onderwijsnet, ouderdom van het schoolgebouw en de ligging, scholen gegroepeerd in een spreadsheet. Zodoende ontstond voor elke provincie een lijst van scholen voor elk van de zes verschillende categorieën. Bij het eerste telefonisch contact werd de ouderdom van de schoolgebouwen en de ligging van de school geverifieerd. Na een beknopte situering van het project, werd de school gevraagd of zij bereid waren om deel te nemen aan biba. Niet alle gecontacteerde scholen wilden deelnemen. Sommige scholen wensten enkel deel te nemen op een tijdstip dat niet mogelijk was voor de biba-planning, en andere scholen weigerden deelname vanwege een overlap met andere schoolactiviteiten (schoolreis, projectweek, ...).

Bijzondere aandacht ging uit naar de selectie van de scholen voor de nevenstudies. De selectie van de Lekker Fris scholen verliep in overleg met de MMK's, (vooropgesteld werd dat de scholen deelnamen aan Lekker Fris tijdens schooljaar 2008-2009 en nog niet startten voor de biba-staafname). De selectie van de Luchtzuiveraar scholen verliep in overleg met de school zelf (omdat zij twee achtereenvolgende weken zouden deelnemen aan de meetcampagne en aanvullend ook gezondheidstesten van de leerlingen lieten uitvoeren) en met UZA en PIH (zij beschikken immers over de expertise betreffende het uitvoeren van 'uitgeademde NO'-testen en voerden dit luik uit).

2.2 De biba scholen

De schooldirecties gaven schriftelijke toestemming voor het vermelden van de naam van de school en de foto's van deelnemende klassen, op de biba-website. Tabel 1 toont een overzicht van alle deelnemende scholen aan biba – willekeurig genummerd en gesorteerd per provincie. De toegevoegde nummering is willekeurig en komt niet overeen met de nummering van de scholen in de verdere rapportering van dit onderzoek, om de privacy van de scholen te garanderen. De praktische uitvoering van de strategie, zoals beschreven in 2.1, gaf aanleiding tot de volgende selectie, getoond in tabel 1.

Om een representatief beeld te verkrijgen van de 'gemiddelde Vlaamse school' werden scholen uit alle provincies geselecteerd. Dit, in combinatie met het aanbod aan scholen dat voldeed aan de andere selectiecriteria, gaf aanleiding tot het volgende aantal scholen per provincie: Antwerpen 9, Brabant 6, Limburg 9, Oost-Vlaanderen 3, en West-Vlaanderen 3.

Tabel 1: Overzicht van de deelnemende scholen

<i>Nr</i>	<i>School</i>	<i>Gemeente</i>	<i>Provincie</i>
1	<i>GBS De Bijenkorf</i>	<i>Balen</i>	<i>Antwerpen</i>
2	<i>GO! De Zonnewijzer</i>	<i>Ravels</i>	<i>Antwerpen</i>
3	<i>VBS Het Kompas</i>	<i>Rijkevorsel</i>	<i>Antwerpen</i>
4	<i>VBS O-L-Vrouwinstituut</i>	<i>Antwerpen</i>	<i>Antwerpen</i>
5	<i>VBS Rozenberg</i>	<i>Mol</i>	<i>Antwerpen</i>
6	<i>GO! 't Zandhofje</i>	<i>Zandhoven</i>	<i>Antwerpen</i>
7	<i>VBS De Brug</i>	<i>Antwerpen</i>	<i>Antwerpen</i>
8	<i>GO! Het Laerhof</i>	<i>Merksem</i>	<i>Antwerpen</i>
9	<i>GBS 't Blokje</i>	<i>Wuustwezel</i>	<i>Antwerpen</i>
10	<i>VBS Maria school</i>	<i>Tervuren</i>	<i>Brabant</i>
11	<i>VBS St. Jozefscollege</i>	<i>Sint-Pieters-Woluwe</i>	<i>Brabant</i>
12	<i>VBS De Waaier</i>	<i>Bertem</i>	<i>Brabant</i>

Tabel 1 (vervolg)

<i>Nr</i>	<i>School</i>	<i>Gemeente</i>	<i>Provincie</i>
13	GO! De Klare Bron	Leuven	Brabant
14	VBS Klim op	Holsbeek	Brabant
15	VBS 't Belhameltje	Scherpenheuvel-Zichem	Brabant
16	VBS Wereldwijzer	Tessenderlo	Limburg
17	GO! Ter Linden	Lanaken	Limburg
18	VBS Koersel	Beringen	Limburg
19	VBS Lutlommel	Lommel	Limburg
20	VBS De Vlierbloem	Kortesseem	Limburg
21	SBS Rapertingen	Hasselt	Limburg
22	VBS De Kleine Bond	Riemst	Limburg
23	VBS De Kloostertuin	Peer	Limburg
24	GBS Basis	Alken	Limburg
25	VBS Sint Jozef	Sint-Niklaas	Oost-Vlaanderen
26	GSB De Windwijzer	Laarne	Oost-Vlaanderen
27	VBS Sint Vincensius	Nevele	Oost-Vlaanderen
28	GO! Malpertuis	Oostkamp	West-Vlaanderen
29	GBS Klavertjevier	Moorslede	West-Vlaanderen
30	GO! Vogelzang	Oostende	West-Vlaanderen

De brede waaier aan vooropgestelde eisen gaf aanleiding tot een lichte wijziging van de geplande onderverdeling van de scholen. Het is immers niet evident om bijvoorbeeld een school te selecteren in landelijke omgeving, van het gewenste onderwijsnet, die over klaslokalen in een nieuwbouw beschikt, wenst deel te nemen op het voorgestelde moment, de week volgende op biba het project Lekker Fris organiseert op school, bereid is tot deelname aan de gezondheidstesten en toestemt voor twee meetperiodes in de klassen.

Een overzicht van de beperkte wijzigingen ten opzichte van het vooropgestelde wordt getoond in tabel 2. Voornamelijk voor het criterium 'ouderdom gebouw' bleek het niet evident om het vooropgestelde aantal scholen voor elke subgroep te vinden. Dit kende een weerslag in de uiteindelijke verdeling van de 30 scholen over de 6 categorieën (stedelijk / voor 1990; stedelijk / na 1990; stedelijk / gerenoveerd; landelijk / voor 1990; landelijk / na 1990; landelijk / gerenoveerd).

Tabel 2: Vergelijking tussen de vooropgestelde strategie en de praktische uitvoering

<i>Criterion</i>	<i>Vooropgesteld</i>		<i>Selectie</i>	
Onderwijsnet	BSGO:	6 scholen	BSGO:	7 scholen
	VO:	18 scholen	VO:	16 scholen
	GO/SO/PO:	6 scholen	GO/SO/PO:	7 scholen
Ligging	Stedelijk:	15	Stedelijk:	17
	Landelijk:	15	Landelijk:	13
Ouderdom gebouw	Voor 1990:	10	Voor 1990:	15
	Na 1990:	10	Na 1990:	8
	Gerenoveerd:	10	Gerenoveerd:	7
Ligging	- Stedelijk / voor 1990:	5	Stedelijk / voor 1990:	10
Ouderdom	Stedelijk / na 1990:	5	Stedelijk / na 1990:	3
	Stedelijk / gerenoveerd:	5	Stedelijk / gerenoveerd:	4
	Landelijk / voor 1990:	5	Landelijk / voor 1990:	5
	Landelijk / na 1990:	5	Landelijk / na 1990:	5
	Landelijk / gerenoveerd:	5	Landelijk / gerenoveerd:	3

Zo blijkt uit tabel 2 (laatste rij) dat de grootste categorie scholen in de uiteindelijke selectie gelegen is in stedelijke omgeving en beschikt over schoolgebouwen gebouwd

voor 1990. Alhoewel dit niet vooropgesteld was, weerspiegelt dit wel de situatie van de Vlaamse schoolgebouwen. Deze waarneming wordt bevestigd door de AGION-gebouwenmonitor, waaruit blijkt dat 78% van de deelnemende scholen gebouwd werd voor 1990; specifiek in stedelijke omgeving blijkt 90% van de scholen gebouwd voor 1990. Aangezien aan de AGION-enquête ongeveer 6.000 scholen deelnamen, kan verondersteld worden dat het een representatieve afspiegeling is van het 'gemiddelde Vlaamse schoolgebouw', en dat bijgevolg ook de verdeling binnen dit biba project een representatief beeld geeft van de gemiddelde basisschool.

De scholen van de nevenstudies maakten deel uit van de hoofdstudie, en namen aanvullend deel aan een uitgebreider onderzoek. De scholen die deelnamen aan de Lekker Fris nevenstudie, werden geselecteerd in overleg met de betrokken MMK's en moesten voldoen aan de volgende vereisten:

- De school heeft nog nooit deelgenomen aan Lekker Fris of een ander initiatief m.b.t. de luchtkwaliteit
- De school schreef zich in voor Lekker Fris, editie 2008-2009
- De school start Lekker Fris op tijdens de week die volgt op het eerste luchtkwaliteitsonderzoek
- De school is bereid tot deelname aan het gezondheidsonderzoek en is bereid de lessen te onderbreken voor het uitvoeren van de nodige testen hiervoor
- Voldoende toestemmingsformulieren voor het gezondheidsonderzoek worden ondertekend door de ouders

De scholen getoond in tabel 3 voldeden aan deze eisen.

Tabel 3: Scholen in de nevenstudie Lekker Fris

<i>Nr</i>	<i>School</i>	<i>Gemeente</i>	<i>Provincie</i>
1	<i>GO! 't Zandhofje</i>	<i>Zandhoven</i>	<i>Antwerpen</i>
2	<i>VBS De Brug</i>	<i>Antwerpen</i>	<i>Antwerpen</i>
3	<i>VBS Wereldwijzer</i>	<i>Tessenderlo</i>	<i>Limburg</i>
4	<i>GO! Ter Linden</i>	<i>Lanaken</i>	<i>Limburg</i>

De scholen die deelnamen aan de nevenstudie Luchtzuivering, werden geselecteerd in overleg met UZA en PIH, en voldoen aan de volgende vereisten:

- De school is gelegen in stedelijk centrum of in landelijke omgeving (een buitenmilieu in stedelijke achtergrond werd vermeden)
- De school stelt de betrokken klassen gedurende 2 achtereenvolgende weken ter beschikking voor luchtkwaliteitsonderzoek
- De school is bereid tot deelname aan het gezondheidsonderzoek en is bereid de lessen te onderbreken voor het uitvoeren van de nodige testen hiervoor
- Voldoende toestemmingsformulieren voor het gezondheidsonderzoek worden ondertekend door de ouders

De scholen getoond in tabel 4 voldeden aan deze eisen.

Tabel 4: Scholen in de nevenstudie Lucht Zuiveren

<i>Nr</i>	<i>School</i>	<i>Gemeente</i>	<i>Provincie</i>
1	<i>GO! Het Laerhof</i>	<i>Merksem</i>	<i>Antwerpen</i>
2	<i>SBS Rapertingen</i>	<i>Hasselt</i>	<i>Limburg</i>
3	<i>VBS De Waaier</i>	<i>Bertem</i>	<i>Brabant</i>

2.3 De biba leerlingen

Het project biba liet toe om de luchtkwaliteit in de klaslokalen van 1550 leerlingen van het basisonderwijs te bepalen. Hiervan lopen 511 leerlingen school in de eerste graad, 526 leerlingen in de tweede graad en 513 leerlingen in de derde graad.

In de staalnamenclatuur werd de klas van de eerste graad basisonderwijs telkens benoemd als 'klas 1', de klas in de tweede graad als 'klas 2', en die in de derde graad als 'klas 3'.



De algemene ademhalingsgezondheid van alle deelnemende kinderen werd bevraagd met een enquête (zie verder).

HOOFDSTUK 3 DE STOFFEN

3.1 Meten en analyseren

Om een duidelijk beeld te verkrijgen van de luchtkwaliteit in de 90 deelnemende klaslokalen, werden de volgende chemische en fysische componenten gemeten: VOS (vluchtige organische stoffen), tVOS (totaal vluchtige organische stoffen), BTEX (benzeen, toluen, ethylbenzeen, xyleen-isomeren), formaldehyde, acetaldehyde, fijn stof, CO₂, relatieve vochtigheid en temperatuur. Aanvullend werd eveneens het ventilatievoud berekend voor elk klaslokaal.

De invloed van de buitenlucht op de luchtkwaliteit in het klaslokaal wordt bestudeerd aan de hand van parallelle metingen op de speelplaats en aan de straatkant van de school. Aan de hand van de relatie tussen de concentraties van bepaalde componenten in de binnen- en buitenlucht kan dan later de bijdrage van de buitenlucht op de binnenlucht bepaald worden. Voor de metingen in klaslokalen werden enkel meettoestellen geselecteerd die (quasi-) geluidloos zijn, om de lessen zo weinig mogelijk te storen. Voor de metingen in de buitenlucht werden toestellen ingezet die weersbestendig zijn en goed afgeschermd kunnen worden voor de leerlingen.

3.1.1 In de klaslokalen

- **Fijn stof profiel (PM₁₀/PM_{2.5}/PM₁)**

Met behulp van de GRIMM 1.108 Dust Monitor (Figuur 2) werden de PM₁/PM_{2.5}/PM₁₀ fracties van fijn stof in de klaslokalen optisch gemeten. Het toestel werkt met een debiet van 1,2 L.min⁻¹, meet deeltjes met een diameter van 0,3 tot 20 µm en deelt deze volgens hun grootte in in verschillende klassen. Na de uitlezing van de data kunnen hieruit de verschillende fracties fijn stof (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) berekend worden. Deze meting laat toe het fijn stof profiel in functie van de tijd te bestuderen in elk van de klaslokalen. Daarnaast kan ook de opbouw van PM₁₀ uit PM₁ en PM_{2.5} onderzocht worden.

De GRIMM 1.108 beschikt over een geheugenkaart waarop de fijn stof concentraties met een tijdsresolutie van 15 minuten weggeschreven worden. Voor biba registreerden de toestellen fijn stof fracties gedurende 5 achtereenvolgende schooldagen.



Figuur 2: Grimm monitor

- **Fijn stof massaconcentratie (PM_{2.5})**

Het voorgestelde meetprogramma werd vanaf school 13 uitgebreid met MS&T Area Samplers (Figuur 3). Deze toestellen bestaan uit een Harvard-type impactor (MS&T Area Samplers, Air Diagnostics and Engineering, Inc., Harisson, ME, USA) en een geluidloze pomp (Air Diagnostics and Engineering, Inc., air sampling pump, model SP-280E). Met een debiet van 10 L.min⁻¹ wordt de lucht aangezogen over een impactor, waarbij deeltjes met een aerodynamische diameter groter van 2.5 µm impacteren op de impactieplaat en deeltjes kleiner dan 2.5 µm onder de impactieplaat opgevangen worden op een teflon membraanfilter (37 mm met support ring, 2 µm poriegrootte, Pall Corporation, USA).

De toestellen laten toe de massaconcentratie van PM_{2.5} te bepalen gedurende een continue meetperiode of over verschillende tijdsintervallen heen. Voor biba werd fijn stof bemonsterd tijdens de lesuren, i.e. van 8u 's ochtends tot 16u, van maandag tot en met vrijdag. Voor het bepalen van de massaconcentratie worden de filters, na 48u conditioneren in een temperatuur- en relatieve vochtigheids gecontroleerde kamer (50±5% RV en 20±1°C), voor en na de staalname gewogen.



Figuur 3: MS&T Area Sampler

- **Vluchtige organische stoffen**

Individuele en totale vluchtige organische verbindingen worden op actieve kool geadsorbeerd. De staalname gebeurt met Radiello passieve samplers, die tijdsgewogen gemiddelde waarden meten (Figuur 4).

Na de bemonstering worden de dosimeters in het laboratorium verzameld voor analyse en geëxtraheerd met koolstofdioxide (CS₂). Aan deze extractie-vloeistof wordt een interne standaard (2-fluorotolueen) toegevoegd. De analyse wordt uitgevoerd met een HP6890 gaschromatograaf (GC) gekoppeld aan een HP5975 massaspectrometer (MS).

tVOS worden in *full scan modus* gemeten, de andere verbindingen worden in *selected ion monitoring modus (SIM)* gemeten. Voor kalibratie worden externe standaarden gebruikt. Luchtconcentraties werden berekend rekeninghoudend met de blootstellingstijd en de gemiddelde temperatuur in de ruimte.

Voor biba werden de passieve samplers gedurende 5 dagen in de klaslokalen blootgesteld, in een opstelling zoals getoond in figuur 4.



Figuur 4: Radiello diffusieve sampler

- **Formaldehyde en acetaldehyde**

Aldehyden werden met SKC diffusieve samplers (UMEx100) bemonsterd (Figuur 5). De werking van deze sampler is gebaseerd op chemisorptie, waarbij aldehyden met dinitrofenylhydrazine (DNPH) reageren.

Na de bemonstering worden de aldehyden met acetonitrile geëxtraheerd en met LC-UV geanalyseerd. Luchtconcentraties werden berekend rekeninghoudend met de blootstellingstijd en de gemiddelde temperatuur in de ruimte.

Voor biba werden de passieve samplers gedurende 5 dagen in de klaslokalen blootgesteld.



Figuur 5: SKC diffusieve sampler

- **Koolstofdioxide (CO₂), Relatieve vochtigheid en temperatuur**



Figuur 6: CaTeC Klimabox 5000

De CO₂-concentratie in het binnenmilieu wordt gemeten als maat voor onvoldoende ventilatie. Naast het meten van de relatieve vochtigheid en temperatuur is CO₂ een belangrijke parameter voor de bepaling van de kwaliteit van het binnenklimaat. In de klaslokalen werden de CaTeC Klimabox 5000 (Figuur 10) hiervoor gebruikt. Er werd geopteerd voor dit type toestel omdat CO₂ concentraties tot 5000 ppm verwacht werden in de klaslokalen.

Dit toestel meet CO₂, relatieve vochtigheid en temperatuur met een tijdsresolutie van 1 minuut. Voor de aanvang van de staalname wordt het toestel geprogrammeerd. De data

worden opgeslagen in het toestel en na uitlezing van deze monitor kunnen de gegevens verder verwerkt worden.

Uit deze CO₂-metingen en het CO₂-gehalte in de buitenlucht, werd het ventilatievoud berekend volgens de tracer-gas-methoden voor de bepaling van het ventilatiedebiet van een ruimte, zoals beschreven in de testmethode ASTM D6245-07:

- *De tracer-gas-decay methode*
Hierbij wordt het CO₂-verval in de binnenlucht gemeten, nadat de aanwezigen de ruimte verlaten hebben
- *De evenwichts-CO₂-analyse*
Dit is een speciaal geval van de constante tracer-gas-injectie-methode. Het CO₂ dat door de aanwezigen in de ruimte gegenereerd wordt, wordt bij beide methoden als tracer-gas gebruikt.

Voor meer informatie zie rapport WP1.

3.1.2 Op de speelplaats

Op beide buitensites, zowel op de speelplaats als aan de straatkant van de school, worden VOS en aldehyden bemonsterd.

Hiervoor worden dezelfde passieve samplers en analysetechnieken gebruikt als deze beschreven in paragrafen 3.1.1.3 en 3.1.1.4. Voor metingen in de buitenlucht worden de diffusieve samplers in een beschermingskastje geplaatst (zie Figuur 7). Deze behuizing beschermt de toestellen tegen neerslag en direct zonlicht; het wordt geplaatst in een grotere behuizing, waarin alle toestellen, die ingezet worden voor metingen in de buitenlucht, ingesloten worden.



Figuur 7: bescherming passieve samplers

- **Koolstofdioxide**



Figuur 8: E+E Elektronik

Met het E+E Elektronik (Dimed) toestellen, die in een weersbestendige behuizing gebouwd is, worden de CO₂-concentraties in de buitenlucht geregistreerd. Omwille van praktische redenen (montage) worden de toestellen ook in het kastje met de diffusieve samplers geplaatst. De E+E Elektronik heeft een meetbereik voor CO₂ van 0 tot 2000 ppm. De start- en stoptijd van de metingen worden geprogrammeerd voor de staalname; het toestel meet met een tijdsresolutie van 1 minuut. De data worden opgeslagen op de ingebouwde geheugenkaart. Nadien worden ze uitgelezen en verder verwerkt.

- **Temperatuur**

De temperatuur op de speelplaats wordt geregistreerd met Radiello mini-thermometers. Deze kleine sensor wordt onderaan het driehoekige bevestigingsplaatje van de (radiello) passieve samplers bevestigd (Figuur 9). Deze thermometer heeft een precisie van $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ tussen -20 en 80°C en kan tot 2048 temperatuur-datapunten registreren. Met behulp van een adaptor wordt de starttijd van de sensor geprogrammeerd, na staalname worden de gegevens uitgelezen en verder verwerkt.



Figuur 9: Radiello temperatuur-logger

- **Fijn stof massaconcentratie op de speelplaats (PM_{2.5})**

De Partisol Plus (Rupprecht en Patashnick) (Figuur 10) werkt met een luchtdebiet van 16,7 L.min⁻¹ (= 1 m³/h) en wordt in deze studie gebruikt met een PM_{2.5} voorafscheider. Het stof wordt gedurende 24 uur bemonsterd op PTFE membraanfilters (Zefluor filters van Pall Gelman met filterdiameter 47 mm en poriëndiameter van 2 µm). De filters worden in herbruikbare ringvormige filterhouders geplaatst, die in een filtercassette gestapeld worden. Het toestel beschikt over maximum 16 filterhouders, die achtereenvolgens met behulp van een pneumatisch aangedreven wisselaar in de luchtstroom worden gebracht. Dit laat toe gedurende maximaal 2 weken autonoom te meten. Een aansluiting op het elektriciteitsnet is noodzakelijk.

Voor biba bemonsterde de Partisol PM_{2.5} gedurende 5 achtereenvolgende school-dagen, telkens gedurende 24 uur. Omwille van veiligheidsredenen werd omheen het toestel een afscherming geplaatst, die vergrendeld werd. Alle elektriciteitskabels, nodig voor de staalname werden eveneens in deze afscherming geplaatst.



Figuur 10 : Partisol met afscherming

3.2 Vragenlijsten

Twee verschillende vragenlijsten werden verspreid voor het biba-onderzoek. De eerste bevraging was gericht op de school- en klasomgeving. De tweede vragenlijst was gericht op de ademhalingsgezondheid van de kinderen uit de klassen waar metingen uitgevoerd werden.

3.2.1 Vragenlijst over school- en klasomgeving

Deze vragenlijst over de beschrijving van de klas- en schoolomgeving is nodig om een nauwkeurige interpretatie van de gegenereerde data toe te laten. Specifieke activiteiten in de klas of school, informatie over de inrichting van het klaslokaal en de subjectieve evaluatie van de klasomgeving door de leerkracht en de leerlingen worden erin bevestigd (zie bijlage 1). De vragenlijst werd overhandigd aan elke klastitularis tijdens het opstarten van het veldwerk. De ingevulde lijst werd opgehaald bij het demonteren van de bemonsteringstoestellen. Sommige scholen stuurden de enquête per post of e-mail, na de afloop van het veldwerk (bijvoorbeeld indien de klastitularis afwezig was tijdens het schoolbezoek).

De vragen werden opgedeeld in drie categorieën:

- beschrijving van de klas
- tijdens de staalname
- welbevinden in de klas

Er werd voornamelijk geopteerd voor gesloten vragen, om uniforme antwoorden te verkrijgen en een onderlinge vergelijking van de gegevens tussen scholen toe te laten. Al deze informatie werd verwerkt in een digitale database, waaruit per school alle relevante informatie te selecteren is en de scholen onderling vergeleken kunnen worden.

3.2.2 Vragenlijst voor de kinderen

In deze vragenlijst werd de ademhalingsgezondheid van de kinderen bevraagd bij de ouders. Ziekten als astma, maar ook astmatische symptomen en allergieën werden voor elk kind bevraagd.

Een 20-tal exemplaren van deze vragenlijst werd tijdens het veldwerk overhandigd aan de klastitularis van elke deelnemende klas. Deze klastitularis deelde de lijst vervolgens uit aan de kinderen. Op het einde van het veldwerk werden de vragenlijsten opnieuw verzameld. Sommige scholen stuurden vragenlijsten, die pas later ingevuld werden door de ouders, per post naar VITO.

Het invullen van deze vragenlijst was volledig vrijblijvend voor de ouders en het dient opgemerkt te worden dat de respons variabel was per school. De directie van één school weigerde deelname. Voornamelijk in scholen waar zowel directie als klastitularis het initiatief ondersteunden, werd een grote respons genoteerd. De enquête werd ingevuld door de ouders. Uiteindelijk namen een 500-tal leerlingen, i.e 32% van de biba-leerlingen, deel aan de bevraging.

HOOFDSTUK 4 HET VELDWERK

4.1 De organisatie

De biba meetcampagne liep van 3 november 2008 tot en met 3 april 2009. De meettoestellen werden telkens op maandag geplaatst en op vrijdag opnieuw verzameld. Tijdens schoolvakanties werden aanvullende calibraties van meettoestellen uitgevoerd.

Elke week, uitgezonderd de laatste week, werden twee scholen bezocht door een team van twee VITO medewerkers. Omwille van een aantal praktische beperkingen konden per week maximaal twee scholen bezocht worden:

- Het *aantal meettoestellen*. Om in twee scholen tegelijkertijd metingen uit te voeren was nodig:
 - o 2 partisols voor PM_{2.5} buiten en 2 PM_{2.5} voorafscheiders
 - o 2 afschermingen voor de partisols
 - o 2 E+E Elektronik toestellen voor CO₂ in de buitenlucht
 - o 2 radiello temperatuursensoren
 - o 2 weersbestendige behuizingen voor passieve staalname
 - o 6 MS&T Harvard type impactoren voor PM_{2.5} in de klassen
 - o 6 GRIMM toestellen voor het PM_{2.5} tijdsprofiel in klassen
 - o 6 CaTeC toestellen voor CO₂ in de klassen
 - o 10 radiello's diffusieve samplers voor VOS
 - o 10 SKC diffusieve samplers voor aldehyden

Door zowel transport, de beschikbaarheid van deze aantallen toestellen, en werkbelasting, was het mogelijk om maximaal 2 scholen per week te bezoeken.
- De *afstand*: de scholen werden geselecteerd in gans Vlaanderen. Hierbij werden telkens scholen op relatief korte afstand van elkaar in eenzelfde week geprogrammeerd. Eén staalnamedag nam gemiddeld een volledige werkdag in beslag voor twee medewerkers.

De scholen werden 4 tot 6 weken voor de staalname gecontacteerd en geprogrammeerd in de biba-planning. Vanaf januari 2009 startten ook de NO-testen (uitgeademde en nasale NO) van de kinderen uit de Lekker Fris en Luchtzuiveraar nevenstudies. De programmering vanaf januari moest daarom rekening houden met de volgende aspecten:

- Omwille van de werk- en tijdsbelasting konden maximaal twee scholen voor NO-testen bij de kinderen geprogrammeerd worden per week
- Aangezien de NO-testen in twee sessies, voor en na de ingreep de op luchtkwaliteit, uitgevoerd worden, moest er rekening gehouden worden met de tweede sessie NO-testen bij de programmering van nieuwe scholen met NO-testen (zodat er uiteindelijk niet meer dan twee scholen per week voor NO-testen geprogrammeerd werden). Voor Lekker Fris scholen vond deze tweede meting 2 tot 3 weken na de start van het educatieve project plaats; voor de Luchtzuiveraar scholen gebeurden deze metingen één week na de plaatsing van de luchtzuiveraar.

- Extra CaTeC toestellen voor CO₂-metingen in de Lekker Fris klassen moesten beschikbaar zijn, voor de tweede meetperiode (na de uitvoering van het Lekker Fris educatief project)
- Tijdens de week van de tweede meetperiode in Luchtzuiveraar klassen kon er slechts één nieuwe school geprogrammeerd worden (omwille van beschikbaarheid en transport van de benodigdheden)

4.2 De uitvoering

Er werd een aantal overzichtstabellen gemaakt, waarin alle informatie betreffende het meetprogramma en de gegenereerde data geïnventariseerd werd.

Een eerste overzicht verzamelt alle informatie over de afspraken met de scholen, de provincie, de gemeente en de ligging van de scholen, en de contactgegevens. Alle gegenereerde rauwe data worden verzameld in een andere overzichtstabel, waaruit nadien alle informatie, nodig voor de verwerking van de gegevens geselecteerd kan worden. Een aantal checklists voor het contacteren van de scholen, en voor het veldwerk werd ook opgemaakt.

HOOFDSTUK 5 DE RESULTATEN

5.1 Vragenlijsten over school- en klasomgeving

Met een respons van 98% werd via deze bevraging de nodige informatie verzameld over de ligging van de school, de klasinrichting, de activiteiten in de klas tijdens de staalname en het welbevinden in de klas (*voor de enkele nog ontbrekende lijsten werden de betrokken scholen opnieuw gecontacteerd, tot op heden ontvingen wij nog geen antwoord. De overzichtsdatabase wordt aangepast indien nog bijkomende informatie ontvangen wordt*).

Alle antwoorden werden verwerkt in een Excel database, die in het volgende werkpakket gehanteerd zal worden om mogelijke invloedsfactoren op het binnenmilieu te identificeren. Verder levert deze database ook informatie over aspecten zoals het verluchtingsgedrag in de 90 klaslokalen. Een overzicht van de resultaten wordt getoond in tabel 5. Voor de meerkeuzevragen vermeldt de tabel telkens hoeveel klasverantwoordelijken uit de ganse studie een bepaald antwoord aankruisten. Bij vragen met een numeriek antwoord, wordt telkens het gemiddelde en de bijhorende standaardafwijking gerapporteerd. Het dient opgemerkt te worden dat niet voor alle klassen alle vragen beantwoord werden. Een steekproef wees uit dat het niet-antwoorden op vragen over de aanwezigheid van bepaalde producten in de klas geïnterpreteerd kan worden als de vraag negatief beantwoorden. Toch worden in tabel 5 de rauwe data weergegeven; indien de som van de antwoorden verschillend is van 88 wil dit zeggen dat niet alle klasverantwoordelijken antwoorden.

Aan de hand van de gegevens kan besloten worden dat de selectie scholen een goede spreiding toont over gelijkvloerse klaslokalen en lokalen op een verdieping. De klaslokalen in deze dataset hebben een gemiddeld volume van $176 \pm 38 \text{ m}^3$, waarin gemiddeld 19 ± 5 leerlingen de lessen volgen. 73% van de klaslokalen beschikt over dubbele beglazing en 28% van alle klassen beschikt over verluchtingsroosters. Belangrijk is dat slechts 64% van de lokalen met verluchtingsroosters deze effectief gebruikte tijdens de meetcampagne. Geen enkele klas beschikt over een mechanisch ventilatiesysteem; al de verluchting gebeurt manueel. Gemiddeld wordt een lokaal 3 ± 5 uur verlucht via de ramen en, indien verluchtingsrooster gebruikt worden, wordt er gemiddeld 8 ± 7 uur verlucht via deze roosters. Slechts 1/3 van de groep verlucht het klaslokaal voortdurend.

In bijna elke klas wordt schoolbordkrijt gebruikt. Sommige klassen rapporteren ook stofvrij schoolbordkrijt te gebruiken, maar dit wordt dan meestal in combinatie met gewoon schoolbordkrijt gebruikt. In 18 klassen worden ook schoolbordstiften gebruikt, deze worden dan steeds in combinatie met krijt gebruikt. Eén school uit de selectie meldt enkel elektronische schoolbordstiften te gebruiken.

Het merendeel van de betrokken leerkrachten vindt de luchtkwaliteit in de klas eerder goed tot heel goed. Verluchten heeft volgens de meeste leerkrachten uit deze studie vooral een positief effect op de alertheid van de leerlingen en de luchtkwaliteit in de klas. 3% van de groep meldt dat er geen verband is tussen verluchten en alertheid van de leerlingen en 11% heeft er nog nooit op gelet.

Tabel 5: Overzicht van de resultaten voor de vragenlijsten voor de klastitularis

Beschrijving klas / school		Aantal klassen		Aantal klassen		Aantal klassen		Aantal klassen		Aantal klassen		Aantal klassen	
Gebouw	Verdieping	51	gelijkvloers	37	1-2-3 verdieping								
	Bebouwing	34	gesloten - halfopen	47	open	1	container						
	Afstand tot de weg	2	0-2m	9	2-5m	8	5-10m	17	>10m	8	>30m		
Klaslokaal	Ouderdom klas	3	<6m	5	<2j	14	<10j	8	10-20j	54	>20j		
	Gerenoveerd?	20	ja, < 1 jaar	25	ja >1 jaar								
	Verwarming	42	CV op stookolie	44	CV op aardgas	0	elektr. radiatoren	0	andere				
	Volume klaslokaal	176 ± 38 m ³ (gemiddeld volume)											
	Beglazing	19	enkele beglazing	64	dubbele beglazing								
	Verluchtingsroosters	25	ja	10	neen								
	Natuurl. ventilatie	62	duidelijk goed afgedicht	16	duidelijk slecht afgedicht								
Inrichting	Vloerbekleding	56	vloertegels	0	tapijt	24	linoleum	2	vloertegels en tapijt	3	linoleum en tapijt		
	Muren	74	geschilderd	3	behangpapier	1	vinylbehangpapier	8	andere				
	Lijm, vernis, verf	60	ja										
	Schoolbord	35	schoolbordkrijt	27	Stofvrij schoolbordkrijt	1	elektr. bordstiften	13	bordkrijt en -stiften	7	stofvrij bordkrijt en -stiften		
	Gordijnen	35	stof	18	kunststof	9	andere						
	Bureelmateriaal	54	computer	0	printer	25	computer en printer						
	Meubilair	8	vezelplaat / massief	9	vezelplaat / kunststof	4	massief / kunststof	19	vezelplaat	7	massief	34	kunststof

Tijdens de staalname											
Activiteit	Aantal leerlingen per klas	19 ± 5 (gemiddeld per klas)									
	Extra activiteit in de klas	0	neen	13	ja (springen, dansen, ...)						
	Gebruik vloerreinigingsmiddel	0	neen	11	ja, zelden	44	ja, dikwijls				
	Gebruik luchtverfrisser	5	neen	14	ja, zelden	3	ja, dikwijls				
Ventilatie	Verluchting	86	manueel	0	mechanisch		manueel en mechanisch				
	Tijd verlucht via ramen per schooldag	3 ± 5 uur									
	Tijd verlucht via buitendeur per schooldag	1 ± 2 uur									
	Tijd verlucht via binnendeur per schooldag	3 ± 5 uur									
	Tijd verlucht via roosters per schooldag	8 ± 7 uur				64% van de scholen met roosters gebruikt deze					
	Tijdstip van verluchten	0	voormiddag	16	namiddag	0	na de schooluren	48	voor & namiddag	19	voor, namiddag en nadien
	Hoe intensief verlucht	30	voortdurend	9	1 x per dag	2	> 1 x per dag (les)	37	> 1 maal per dag (speeltijd)		
Gebruik lokaal	Voor andere doeleinden?	70	neen	13	ja, andere						

Welbevinden in de klas	Aantal klassen		Aantal klassen		Aantal klassen		Aantal klassen	
Hoe vochtig is het klaslokaal?	29	helemaal niet	53	eerder niet	2	eerder vochtig	2	heel vochtig
Muffe geur?	76	neen	10	ja				
Zichtbare sporen vochtschade?	74	neen	10	ja	2	ja, enkel aan de ramen		
Zichtbare schimmelvorming?	81	neen	4	ja, kleiner dan een A4 blad	2	ja, groter dan een A4-blad		
Hoe stoffig is het klaslokaal	2	helemaal niet	41	eerder niet	32	eerder stoffig	11	heel stoffig
Quotatie Luchtkwaliteit door LK	2	zeer slecht	25	eerder slecht	48	eerder goed	4	heel goed
Quotatie Luchtkwaliteit door leerlingen	0	zeer slecht	11	eerder slecht	29	eerder goed	6	heel goed
Effect ventilatie op luchtkwaliteit	71	positief	0	geen effect	10	nog nooit op gelet	0	negatief
Effect ventilatie op temperatuur	51	positief	3	geen effect	7	nog nooit op gelet	3	negatief
Effect ventilatie op alertheid leerlingen	65	positief	3	geen effect	11	nog nooit op gelet	3	negatief

5.2 Resultaten vluchtige organische stoffen

Tabel 6 toont een beknopt overzicht van de VOS concentraties die geregistreerd werden in de klassen en op de speelplaatsen. Algemeen werden relatief lage concentraties gemeten, doch in een aantal scholen werden relatief hoge maximale concentraties geregistreerd. De mogelijke oorzaken hiervan zullen in WP3 verder bestudeerd worden. De volledige dataset wordt getoond in bijlage 3 van dit document.

Tabel 6: Overzicht van de VOS concentraties in scholen (in $\mu\text{g.m}^{-3}$)

		MTBE	Benzene	Toluene	Tetrachloroethene	Ethylbenzene	m- + p-Xylene	o-Xylene	1,2,4-Trimethylbenzene	tVOC
klassen	Gemid.	0,31	1,32	3,43	0,30	1,30	4,88	1,08	3,86	238
	SD	0,13	0,30	1,29	0,12	1,52	6,79	1,16	6,50	164
	RSD	43%	23%	38%	39%	117%	139%	107%	169%	69%
	min	0,06	0,44	0,91	0,06	0,17	0,61	0,20	0,34	18
	max	3,22	4,0	40,4	2,16	36,2	166	26,6	178	1126
buiten	gemid	0,28	1,29	2,45	0,22	0,46	1,63	0,42	0,57	146
	SD	0,14	0,29	0,81	0,06	0,11	0,40	0,09	0,16	54
	RSD	51%	22%	33%	29%	24%	25%	23%	28%	37%
	min	0,06	0,48	0,68	0,05	0,12	0,33	0,11	0,17	21
	max	0,58	1,69	4,13	0,31	0,60	2,20	0,55	0,84	264

5.3 Resultaten aldehyden

Tabel 7 geeft een beknopt overzicht van de concentraties formaldehyde, acetaldehyde en totaal andere aldehyden (alle gedetecteerde aldehyden, verminderd met de concentratie formaldehyde en acetaldehyde) in de klaslokalen en op de meetplaatsen buiten. Op een aantal meetplaatsen werden relatief hoge concentraties geregistreerd, deze zullen verder bestudeerd worden in WP3. De volledige dataset wordt getoond in bijlage 4 van dit document.

Tabel 7: Overzicht van de aldehyde concentraties in scholen (in $\mu\text{g.m}^{-3}$)

		Formaldehyde	Acetaldehyde	Totaal andere aldehyde
Binnen	Gemiddelde	25,5	5,5	32,6
	SD	4,40	1,15	6,72
	RSD	17%	21%	21%
	Minimum	6,3	2,2	8,7
	Maximum	70,6	11,7	78,2
Buiten	Gemiddelde	7,6	1,8	10,4
	SD	4,8	0,4	5,9
	RSD	63%	23%	57%
	Minimum	0,9	0,9	2,0
	Maximum	100	4,6	103

5.4 Resultaten fijn stof

Bijlage 5 toont een overzicht van de resultaten van de fijn stof metingen in de 90 klaslokalen en op de bijhorende buitensite (speelplaats). Voor elke speelplaats wordt een weekgemiddelde 24 uur-PM_{2.5} concentratie gerapporteerd. Voor elke klas wordt de weekgemiddelde PM_{2.5} concentratie gerapporteerd, telkens over een uitmiddelingstijd van 24 uur en 8 uur (i.e. van 8u 's ochtends tot 16u, gerapporteerd als 'lesuren').

Verder wordt in bijlage 5 voor elk klaslokaal de opbouw van PM₁₀ uit PM_{2.5} en PM₁ gevisualiseerd. De opbouw wordt voorgesteld met behulp van een staafdiagram, waarin de respectievelijke percentuele bijdrage van PM₁ en PM_{2.5} tot PM₁₀ aangeduid wordt met een kleurcode. Figuur 12 toont hiervan een voorbeeld.

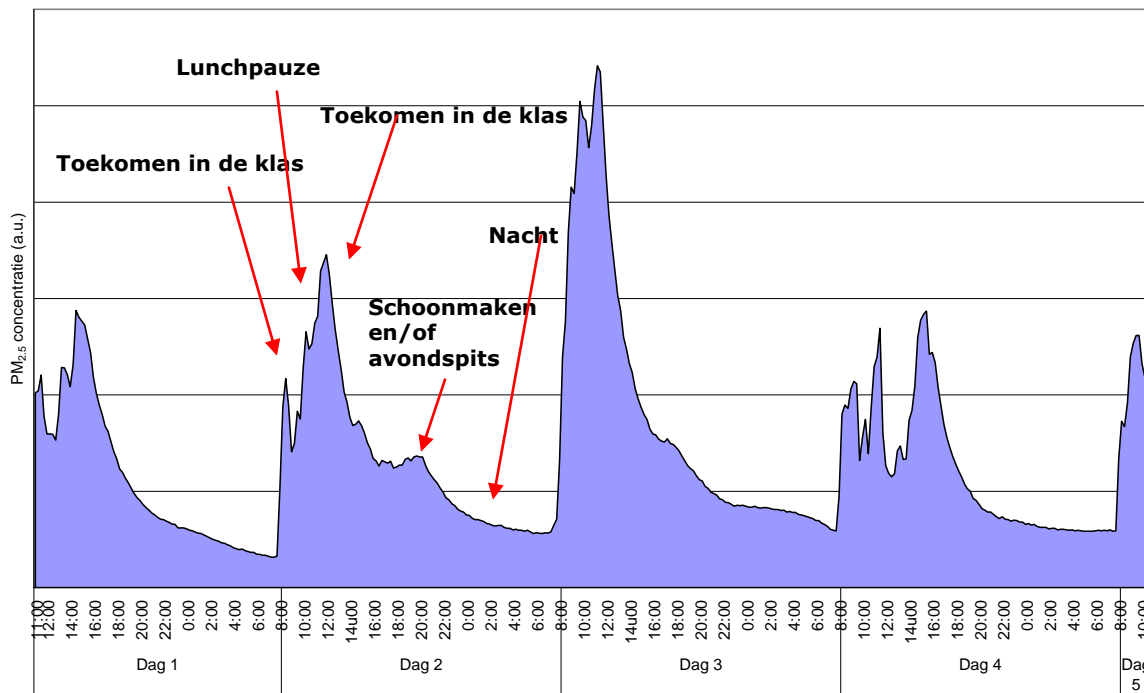
School nummer	Locatie	Gemiddelde	PM 1	PM 2,5	PM 10	Grafiek					
						Opbouw PM 10 - 24h			Opbouw PM 10 - Lesuren		
S22	Klas 1	24h		26,8		3%	7%	5%	23%	7%	7%
		Lesuren		47,4							
	Klas 2	24h		42,6		3%	10%	5%	17%	11%	7%
		Lesuren		57,9							
	Klas 3	24h		43,0		3%	7%	5%	18%	8%	7%
		Lesuren		56,1							
	Buiten	24h		59,5							

Figuur 12: de rapportering van fijn stof (zie bijlage 5)

Tot en met school 12 worden in de tabel de massaconcentraties van PM_{2.5} (24u en lesuren) gerapporteerd als partisol-gecorrigeerde Grimm-waarden. Deze correcties werden verkregen via uitgebreide validatiemeetcampagnes tijdens elke schoolvakanties. De correctiefactoren bleken voldoende reproduceerbaar; de accuraatheid van de correcties werd bevestigd *on site* via parallele metingen met Harvard-type impactoren. Vanaf school 13 worden PM_{2.5} concentraties tijdens de lesuren gerapporteerd, die gemeten werden met de Harvard-type impactoren. Deze waarden kunnen als absolute getallen beschouwd worden, aangezien ze bepaald werden via gravimetrische analyse. De bijhorende 24h gemiddelde waarden van deze scholen werden dan ook bepaald door een Harvard-correctie van de Grimm-waarden toe te passen.

Uit deze resultaten blijkt het aanzienlijke verschil tussen de PM_{2.5} concentraties gemeten over 24 uur en gemeten tijdens de lesuren: tijdens de lesuren bleken de concentraties gemiddeld 73% hoger dan over 24u. De gemiddelde PM_{2.5} concentratie tijdens de lesuren was 50 µg.m⁻³, terwijl deze over 24uur slechts 29 µg.m⁻³ bedroeg. De hoogst waargenomen concentratie tijdens de lesuren bedroeg 140 µg.m⁻³; deze tijdens de 24uur metingen 63 µg.m⁻³.

Deze waarneming wordt bevestigd door de fijn stof-profielen, die geregistreerd werden met de Grimm-monitoren. Dit profiel toont een duidelijke verhoging van de PM_{2.5} concentraties vanaf het tijdstip dat de leerlingen toekomen in de klas. Activiteiten als het plaatsnemen in de klas, en het naar buiten gaan voor een speeltijd of lunchpauze zijn duidelijk zichtbaar in de PM_{2.5} concentratieniveaus. Een voorbeeld hiervan wordt getoond in figuur 13.

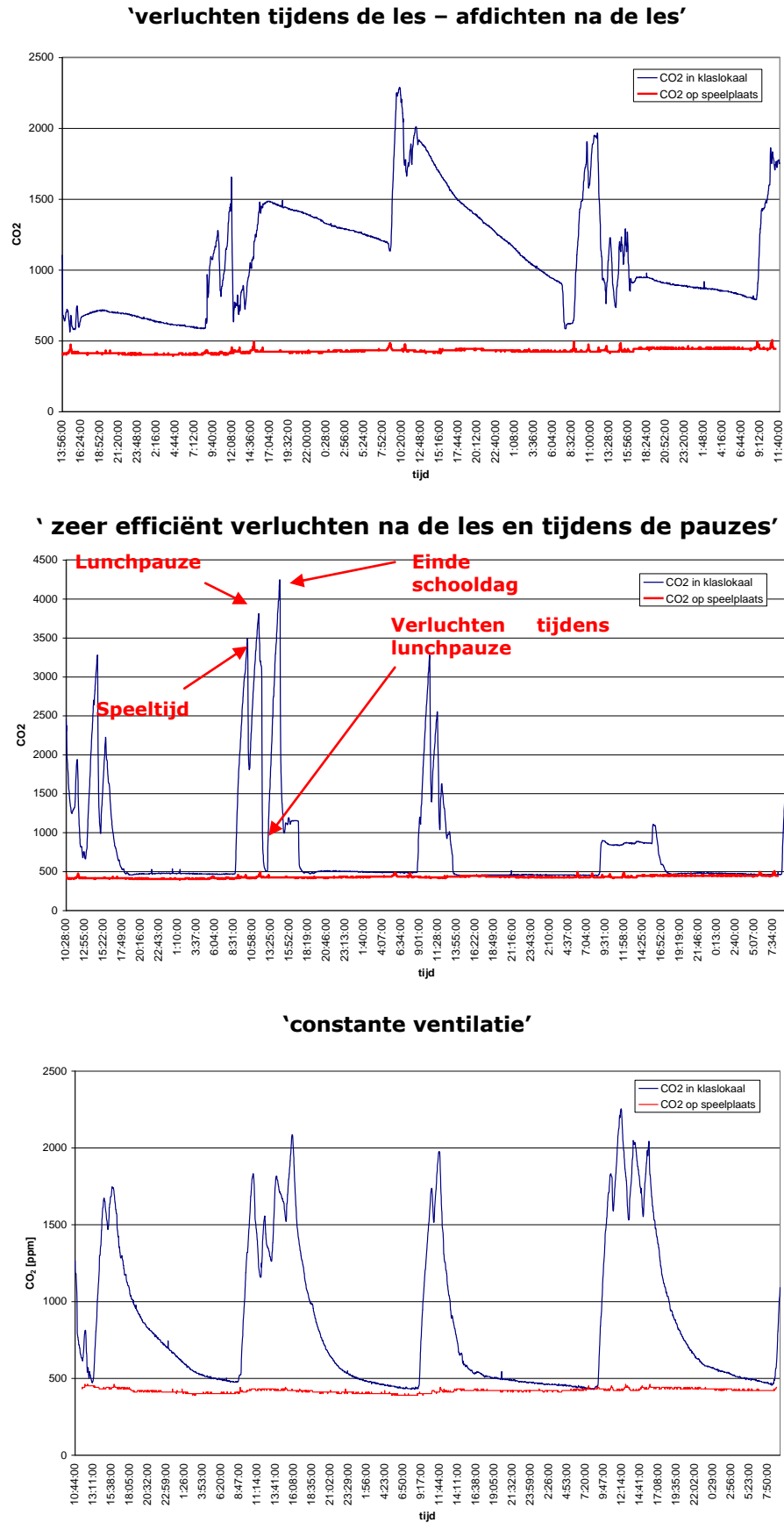


Figuur 13: Het profiel van PM_{2.5} gedurende een meetweek

5.5 CO₂ – Ventilatievoud

Bijlage 6 toont een overzicht van de metingen van CO₂, relatieve vochtigheid en temperatuur in alle klaslokalen. De gemiddelde CO₂ concentratie van alle klaslokalen (telkens gemeten gedurende een ganse week) was 933 ± 394 ppm, met een laagst geregistreerde gemiddelde concentratie van 480 ppm en een hoogste concentratie van 2683 ppm. De maximaal geregistreerde meting bedroeg gemiddeld 2701 ppm. Het hoogst geregistreerde CO₂ gehalte (een minuutsregistratie) bedroeg 5057 ppm en overschreed dus het meetbereik van het toestel. In een klaslokaal bevond het merendeel van de geregistreerde CO₂ concentraties (maandag tot vrijdag, elke minuut een registratie) zich typisch boven de CO₂ richtwaarde van $900 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ of 492 ppm (bij 20°C) uit het Vlaams Binnenmilieu Besluit. In bijlage 6 wordt, per klaslokaal, het percentage van de CO₂ metingen, hoger dan de richtwaarde, gerapporteerd. Gemiddeld overschreden in een klaslokaal 89% van de metingen de richtwaarde.

Het CO₂ concentratieprofiel over de tijd blijkt een duidelijke afspiegeling van de aanwezigheid van leerlingen en het ventilatiegedrag in de klas. In elk profiel is duidelijk te zien wanneer de leerlingen toekomen, wanneer de speeltijd georganiseerd wordt, wanneer de lunchpauze plaatsvindt en wanneer de les eindigt. Figuur 14 toont een aantal voorbeelden van CO₂-concentratieprofielen. Deze voorbeelden tonen typische, frequent voorkomende ventilatiepatronen: 'verluchten tijdens de les, afdichten na schooltijd', 'zeer efficiënt verluchten na de les' en 'constante doch minder efficiënte ventilatie'. Bij de eerste situatie is duidelijk het effect van de natuurlijke ventilatie – door kleine openingen in het gebouw zichtbaar: na 16u is er slechts een erg trage afname van de CO₂ concentratie. In de laatste afbeelding wordt er duidelijk verlucht, zowel tijdens de lessuren als na schooltijd. De daling van de CO₂ concentratie na schooltijd verloopt echter duidelijk minder efficiënt dan tijdens de tweede situatie die voorgesteld wordt. In deze tweede situatie worden echter erg hoge CO₂ concentraties bereikt tijdens de les, wat wijst op een verluchttingsstop tijdens de les of een erg kleine ruimte met relatief veel kinderen. Dit wordt verder bestudeerd in WP3.



Figuur 14: Typische profielen van CO₂ concentraties gedurende een meetweek

In bijlage 6 wordt eveneens een overzicht getoond van het ventilatievoud en bijhorend luchtdebiet van elke klas. Aangezien het ventilatievoud in de meeste klaslokalen verschillend is van dag tot dag (soms wordt het lokaal goed verlucht net na de lesuren, andere dagen wordt het lokaal duidelijk afgedicht na de lesuren) wordt in de tabel een bereik getoond van een ventilatievoud bij goede verluchting en één bij minder doeltreffende verluchting. De waargenomen ventilatievouden in dit onderzoek hadden een bereik van 0.03 h^{-1} tot 6.7 h^{-1} .

Uit het tijdsprofiel zoals getoond in figuur 14 blijkt duidelijk het aanzienlijke verschil tussen CO_2 tijdens de lesuren en CO_2 bij afwezigheid van de kinderen. Uit een steekproef in 30 klaslokalen bleek dan ook dat de CO_2 concentratie tijdens de lesuren gemiddeld 30% hoger is dan deze gemeten gedurende 24uur.

5.6 Temperatuur – Relatieve vochtigheid

Bijlage 6 toont eveneens een overzicht van de geregistreerde relatieve vochtigheid en temperatuur. Gemiddeld werd een relatieve vochtigheid van $43 \pm 11 \%$ gemeten in de deze groep klaslokalen. De hoogst waargenomen relatieve vochtigheid bedroeg 87%. De gemiddelde temperatuur bedroeg $19 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. De hoogste gemiddelde temperatuur in een klaslokaal bedroeg 24°C . De erg lage temperaturen in school 1 waren het gevolg van een defecte verwarmingsinstallatie tijdens de biba meetcampagne.

HOOFDSTUK 6 VERVOLG

Dit rapport geeft een overzicht van alle data verzameld in de hoofdstudie van dit onderzoek. Het dient opgemerkt te worden dat alle resultaten van nevenstudies (lekker fris, luchtzuiveraar en gezondheid van de kinderen) verzameld en berekend werden tijdens deze tweede werkfase, maar niet gerapporteerd worden in dit verslag. De data vereisen immers een nauwkeurige analyse en bijhorende rapportering, die voorzien is in werkpakket 3.

De informatie, die verzameld, geanalyseerd en geïnventariseerd werd in dit werkpakket 2, zal nader bestudeerd worden in werkpakket 3. Dit verder onderzoek zal leiden tot verklaringen van de geregistreerde data. Invloedsfactoren zullen bestudeerd worden en de gegevens zullen vergeleken worden met bestaande normen en blootstellingen om zo aanleiding te geven tot beleidsaanbevelingen.

BIJLAGE 1

VRAGENLIJST SCHOOL EN KLAS



Deze vragenlijst is opgesteld door de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), expertise centrum Milieumetingen voor het BiBa-project. Alle informatie vervat in deze vragenlijst wordt anoniem verwerkt. Gelieve zoveel mogelijk vragen in te vullen. Mocht er iets onduidelijk zijn, aarzelt u dan alstublieft niet om ons te contacteren of aan te spreken tijdens één van de schoolbezoeken. Bedankt bij voorbaat voor uw bijdrage.

Referentienr school :

1 Beschrijving van de klas

1.1 Type gebouw

Plaats een kruisje in de overeenstemmende rij

Het klaslokaal bevindt zich op de gelijkvloerse verdieping op verdieping 1, 2 of 3	
Het klaslokaal bevindt zich in een gesloten of halfopen bebouwing in een open bebouwing in een containerbouw	

1.2 Afstand van het klaslokaal tot aan de weg

Plaats een kruisje in de overeenstemmende rij

0 – 2 meter	
2 – 5 meter	
5 – 10 meter	
> 10 meter	
> 30 meter	

1.3 Hoe oud is het klaslokaal?

Plaats een kruisje in de overeenstemmende rij

<6 maanden	
< 2 jaar	
< 10 jaar	
10 tot 20 jaar	
> 20 jaar	

1.4 Is de klas of een andere ruimte in het gebouw recent vernieuwd of herbemeubeld?

Plaats een kruisje en vul indien van toepassing het jaartal in en het type activiteit bv nieuwe meubels, geschilderd, behangen, nieuw tapijt, nieuwe vloer, nieuwe plafonds, nieuwe deuren etc.

Vernieuwde of herbemeubeld klaslokaal	
Recent (minder dan 1 jaar geleden) vernieuwd	
Recent (minder dan 1 jaar geleden) herbemeubeld	
Indien ja, graag jaartal en type activiteit vermelden :	

1.5 Brandstof gebruikt voor verwarming van het klaslokaal

Plaats een kruisje in de overeenstemmende rij

Radiatoren op centrale verwarming met stookolie	
Radiatoren op centrale verwarming met aardgas	
Kachels met waakvlam op aardgas, met/zonder afvoer naar buiten	
Elektriciteit	
Andere	

1.6 Specifieke Informatie over het klaslokaal

Vul hieronder aan

Volume van het klaslokaal (m ³)	
Aantal ramen in het klaslokaal	
Isolatie: Ramen met enkel glas	
Isolatie: Ramen met dubbel glas	
De ruimte is duidelijk goed afgedicht (inschatting i.f.v. passieve ventilatie)	
De ruimte is duidelijk slecht afgedicht (inschatting i.f.v. passieve ventilatie)	

1.7 Welke van de onderstaande materialen of producten komen voor in het klaslokaal?

Kruis aan wat van toepassing is en **voeg een "N" toe indien nieuw**

Type vloerbedekking	
Vloertegels	
Tapijt	
Linoleum	
Andere :	
Behandeling muren	
Geschilderd	
Behangpapier	
Vinylbehangpapier	
Andere :	
Type plafond	
Welfsels bezet en geverfd	
Gyprocpanelen en geverfd	
Kunststofpanelen	
Houten panelen	
Andere :	
Recent of regelmatig gebruikte producten	
Vernis	
Verf	
Kleefmiddelen	
Bordstiften	
Schoolbordkrijt	
Andere :	
Type gordijnen	
Stof	
Kunststof	
Andere :	
Bureelmateriaal	
Computer	
Printer	
Andere :	
Meubilair	
Vezelplaat	
Massief	
Kunststof (sommige kunststoffen hebben een 'houtpatroon')	
Andere materialen :	

2 Tijdens de staalname

2.1 Klasactiviteiten tijdens de monstername

Vul hieronder aan

	MA	DI	WOE	DO	VRIJ
Aantal leerlingen aanwezig in de klas					
Reinigen van de vloer, meubels of ramen met een product Type product :					
Zelden					
Dikwijls					
Gebruik van luchtverfrissers van het type Type vermelden :					
Zelden					
Dikwijls					
Andere Producten gebruikt Welke					
Zelden					
Dikwijls					

2.2 Ventilatiesysteem

Kruis aan wat van toepassing is

Het klaslokaal wordt manueel verlucht	
Geschatte tijd ventilatie via ramen per volledige schooldag (min)	
Geschatte tijd ventilatie door een buitendeur per schooldag (min)	
Geschatte tijd ventilatie door een binnendeur per schooldag (min)	
Er is een mechanische ventilatie aanwezig in de klas	
Percentage hercirculatie	
Bevochtiging met stoom	
Bevochtiging met spray	
Datum laatste nazicht mechanische ventilatie	
Geschat aantal minuten in werking tijdens de staalname	

2.3 Op welk tijdstip de klas voornamelijk verlucht?

Kruis aan wat van toepassing is

Voormiddag (7-12 h)	
Namiddag (12-18 h)	
Na de schooluren (18-7 h)	

2.4 *Hoe intensief wordt de klas verlucht?*

Kruis aan wat van toepassing is

Minder dan 1 maal per dag	
1 maal per dag	
Meermaals per dag	
- tijdens de les	
- - tijdens de speeltijd (welke?)	
Voortdurend	

2.5 *Wordt de klas nog voor andere doeleinden gebruikt? (eventueel na de schooluren)*

Kruis aan wat van toepassing is

Ja	
Neen	

2.6 *Zijn er naar Uw mening in het klaslokaal zelf mogelijks luchtverontreinigende bronnen die in deze vragenlijst niet aan bod zijn gekomen?*

Vul hieronder in

3 Welbevinden in de klas

3.1 Hoe vochtig is het klaslokaal gewoonlijk?

Kruis aan wat van toepassing is

Helemaal niet	
Eerder niet	
Eerder vochtig	
Heel vochtig	

3.2 Heeft u al eens een muffe, schimmelachtige of keldergeur opgemerkt in uw klas?

Kruis aan wat van toepassing is

Ja	
Neen	

3.3 Zijn er zichtbare sporen van vochtschade in de klas?

Kruis aan wat van toepassing is

Ja	
Neen	

3.4 Is er zichtbare schimmelvorming in de klas?

Kruis aan en omcirkel wat van toepassing is

Ja, groter / kleiner dan een A4 blad	
Neen	

3.5 Hoe stoffig is het klaslokaal gewoonlijk?

Kruis aan wat van toepassing is

Helemaal niet	
Eerder niet	
Eerder wel	
Heel stoffig	

3.6 Hoe zou u de luchtkwaliteit in uw klas quoteren?

Kruis aan wat van toepassing is, duid aan hoeveel leerlingen met quotatie

	leerkracht	leerlingen
Zeer slecht		
Eerder slecht		
Eerder goed		
Heel goed		

3.7 *Hoe ervaart u het effect van ventileren op:*

Kruis aan wat van toepassing is

	de luchtkwaliteit	de temperatuur in de klas	de alertheid van de leerlingen
Positief			
Geen effect			
Nog nooit op gelet			
Negatief			

Dit is het einde van de vragenlijst. Wij danken u voor het invullen van deze vragen en voor uw deelname aan de meetcampagne.

Indien vragen bij het invullen van deze vragenlijst, contacteer:

R. Bormans, M. Stranger of E. Goelen

VITO - Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

Boeretang, 200 B- 2400 Mol - Tel : 014-335511

Meer informatie op <http://wwwb.vito.be/flies>



BELANGRIJK – VRAAG GERICHT AAN DE DIRECTIE

Met het oog op sensibilisering en vergroten van de bekendheid van dit onderzoeksproject, plaatsen wij graag de coördinaten van uw school en foto's van de meetapparatuur in de deelnemende klassen op onze projectwebsite <http://wwwb.vito.be/flies>.

Het is belangrijk te weten dat geen enkel bekomen resultaat gekoppeld zal worden aan de namen van deelnemende scholen.

Gelieve uw akkoord hiervoor op deze pagina te bevestigen.

Naam	School:

Adres	School:

De directie gaat akkoord / niet akkoord met de vermelding van naam, adres en foto's genomen op school en in de klassen op de website http://wwwb.vito.be/flies (gelieve te schappen wat niet past)	
naam + handtekening directie	
Datum:	

BIJLAGE 2

VRAGENLIJST VOOR KINDEREN



Voornaam kind:
Achternaam:
Geboortedatum:
Datum invullen: / / 20.....
Deze vragenlijst werd ingevuld door:
<input type="checkbox"/> Moeder
<input type="checkbox"/> Vader
<input type="checkbox"/> andere persoon:

Bij alle “Neen / Ja” vragen moet telkens één antwoord worden aangekruist, dus indien “Neen” dit ook aankruisen!

Alvast bedankt voor uw medewerking.

Hoe zwaar was uw kind de laatste keer dat zij/hij gewogen werd?

Op / / 20... (laatste weegdatum) woog zij/hij, kilo.

Hoe lang was uw kind de laatste keer dat zij/hij gemeten werd?

Op / / 20... (laatste meetdatum) was zij/hij cm lang.

De voeding van uw kind de laatste 12 maanden.

1. Hoe vaak heeft uw kind **de laatste 12 maanden** de volgende voedingsmiddelen gegeten of gedronken?

Voedingsmiddel	Niet	1-3 X per maand	1 X per week	2-4 X per week	Meer dan 4 X per week	1 X per dag	Meerdere malen per dag
Brood							
Probiotica (vb. Actimel, Yakult)							
Melkproducten verrijkt met bifidus							
Yoghurt							
Platte kaas							
Ongepasteuriseerde 'verse' melk							
Karnemelk							
Sojaproducten							
Groenten							
(smeer) leverworst/paté							
Vlees							
Vers fruit							
Vis							
Schaal-, schelpdieren							
Ei							

Voedingsmiddel	Niet	1-3 X per maand	1 X per week	2-4 X per week	Meer dan 4 X per week	1 X per dag	Meerdere malen per dag
Melk							
Chips, zoutjes							
Cake, koekjes							
Beneo producten							
Andere zuivel-producten (zoals kaas)							
Noten							
Notenproducten zoals pindakaas							

2. Zijn er voedingsstoffen die u **de laatste 12 maanden** bewust heeft vermeden aan uw kind te geven?

Neen

Ja

indien ja: Welke?

Welke

Reden

- a)
 b)
 c)
 d)

3. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** voeding gekregen uit een 'biologische', 'biologisch dynamische' of een 'dieetwinkel'?

- nooit
 soms (minder dan 1 x per week)
 geregeld (= minstens 1 x per week)
 (bijna) altijd

indien ja: 3.1 Vanaf welke leeftijd was dit? maanden

Welke en merk?

Huisdieren

4. Heeft u **in de laatste 12 maanden** huisdieren weggedaan omwille van allergie bij een gezinslid? Neen Ja

indien ja: Welk gezinslid was dit? (meerdere antwoorden mogelijk)

- dit kind
- de moeder
- de vader
- andere kinderen
- anderen, nl

5.1. Welk huisdier was dat ?
.....

5. Kwam uw kind regelmatig (minstens 1 maal per week) in contact met boerderijdieren **in de laatste 12 maanden** (vb. vee, varkens, geiten, schapen, pluimvee)? Neen Ja

- continu (wonen op een boerderij)
- meermaals per week
- 1 maal per week of minder
- 1 maal per maand of minder

indien ja: Verbleef uw kind regelmatig op een boerderij?

indien ja: Hoe vaak? maal

- Neen Ja

Rookblootstelling

6. Werd er regelmatig **in de laatste 12 maanden** gerookt (sigaretten, sigaren, pijp) in de ruimte waar het kind verbleef? Neen Ja
(Regelmatig is de meeste dagen van de week)

indien ja: Wie rookte er in de ruimte waar het kind verbleef?

- de moeder
- de vader
- grootouders
- kinderopvang
- anderen,

Gemiddeld hoeveel uur per dag werd uw kind **in de laatste 12 maanden** blootgesteld aan tabaksrook?

Weekdag: uur

Weekenddag: uur

Ziekten van uw kind

7. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** een jeukende huiduitslag gehad? Neen Ja
indien neen: ga naar vraag 16

indien ja:

- 9.1. Heeft uw kind deze jeukende uitslag (bijna) constant gehad? Neen Ja

- 9.2. Is deze jeukende uitslag ooit helemaal verdwenen? Neen Ja

9.3 Op welke plaats was deze jeukende uitslag aanwezig?

- rond de ogen
- op de wangen (meer dan 2 cm doorsnede)
- in de hals (meer dan 1 cm doorsnede)
- op de onderarmen (meer dan 2 cm doorsnede)
- in de knieholtes (meer dan 1 cm doorsnede)
- op de onderbenen (meer dan 2 cm doorsnede)
- op de voorkant van de enkels (meer dan 1 cm doorsnede)
- in de oksels
- in het luiergebied

op het behaarde deel van het hoofd

1.1 andere plaatsen:

8. Hoe vaak was uw kind 's nachts wakker door deze jeukende uitslag?

- nooit
- minder dan één nacht per week
- één of meer nachten per week

9. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** eczeem gehad?

<i>Neen</i>	<i>Ja</i>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

indien ja: Is dit bevestigd door een arts?

<i>Neen</i>	<i>Ja</i>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** geneesmiddelen gebruikt tegen een jeukende huiduitslag of eczeem? Neen Ja

indien ja: Welke waren dit?

naam duur:dagen keer per dag (1)

naam duur:dagen keer per dag (2)

naam duur:dagen keer per dag (3)

naam duur:dagen keer per dag (4)

11. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** last gehad van hoesten overdag? Neen Ja

indien ja: Hoe vaak is dit voorgekomen?

- één keer
- enkele keren
- hij/ zij heeft daar bijna constant last van

12. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** last gehad van hoesten 's nachts? Neen Ja

indien ja: Hoe vaak is dit voorgekomen?

- één keer
- enkele keren
- hij/ zij had daar bijna constant last van

13. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** een piepende ademhaling gehad? Neen Ja

indien ja: Hoe vaak is dit voorgekomen?

- één keer
- enkele keren
- hij/ zij had daar bijna constant last van

14. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** een reutelende ademhaling gehad? *Neen* *Ja*
- indien ja:*** Hoe vaak is dit voorgekomen?
- één keer
- enkele keren
- hij/ zij had daar bijna constant last van
-
15. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** last gehad van kortademigheid? *Neen* *Ja*
- indien ja:*** Hoe vaak is dit voorgekomen?
- één keer
- enkele keren
- hij/ zij had daar bijna constant last van
-
16. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** bronchitis gehad? *Neen* *Ja*
-
- indien ja:*** Was dit met piepen? *Neen* *Ja*
-

17. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** een ernstige long- of luchtwegeninfectie gehad? Neen Ja

18. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** geneesmiddelen genomen tegen hoesten, piepen, reutelen, kortademigheid of astma? Neen Ja

indien ja: Welke waren dit?

naam	duur:dagen	hoeveel:..... per dag (1)
naam	duur:dagen	hoeveel:..... per dag (2)
naam	duur:dagen	hoeveel:..... per dag (3)
naam	duur:dagen	hoeveel:..... per dag (4)

19. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** een lopende of verstopte neus gehad? Neen Ja

indien ja: Hoe vaak is dit voorgekomen?

- één keer
- enkele keren
- hij/ zij had daar bijna constant last van

Ging dit gepaard met een verkoudheid?

- steeds met een verkoudheid
- nooit met een verkoudheid
- soms met en soms zonder een verkoudheid

20. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** koorts gehad? Neen Ja
(koorts is temperatuur hoger dan 38,5°C)

indien ja:

Hoeveel koortsperiodes heeft uw kind gehad? periodes

Hoe hoog was de hoogste temperatuur? °C

21. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** koorts/ pijnwerende medicatie gebruikt? Neen Ja
 (bv. Perdolan, Curpol, Efferalgan, Aspirine, Dispril, Sedergine)

indien ja: Welke waren dit?

naam duur:dagen hoeveel:..... per dag (1)
 naam duur:dagen hoeveel:..... per dag (2)
 naam duur:dagen hoeveel:..... per dag (3)
 naam duur:dagen hoeveel:..... per dag (4)

22. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** antibiotica gebruikt? Neen Ja
indien ja: Welke waren dit?

naam duur:dagen hoeveel:..... per dag (1)
 naam duur:dagen hoeveel:..... per dag (2)
 naam duur:dagen hoeveel:..... per dag (3)
 naam duur:dagen hoeveel:..... per dag (4)

23. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** overgegeven/gebraakt? Neen Ja
indien ja: Hoe vaak is dit voorgekomen?

- één keer
 enkele keren
 hij/ zij heeft daar bijna constant last van

24. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** diarree gehad? Neen Ja
indien ja: Hoe vaak is dit voorgekomen?

- één keer
 enkele keren
 hij/ zij had daar bijna constant last van

25. Heeft uw kind **in de laatste 12 maanden** nog andere
gezondheidsklachten gehad of is het nog ernstig ziek geweest?

Neen

Ja

indien ja: Welke waren dit:

.....

EINDE

HARTELIJK DANK VOOR UW MEDEWERKING



BIJLAGE 3**TOESTEMMINGSFORMULIER**

Onderzoek naar de kwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting

Informatie en toestemmingsformulier

november 2008

Wij brengen het grootste deel van de dag 'binnen' door. We bevinden ons meestal binnen in huis, op kantoor, op school, in het sportcentrum, in het restaurant, in de winkel, enz. Elk gebouw heeft een andere luchtsamenstelling, die het resultaat is van de ligging van het gebouw, de inrichting ervan, de activiteiten die er plaatsvinden en de bouwstijl. Daarom stellen we ons op ieder moment van de dag bloot aan andere lucht.

Onderzoek wees uit dat een ondermaatse luchtkwaliteit in gebouwen de gezondheid van de aanwezige mensen beïnvloedt; vooral kinderen zijn hiervoor gevoelig. Kinderen in Vlaanderen blijken bijna 23% van de dag op school doorbrengen, waarvan 17% in de klas.

Daarom loopt het project 'Onderzoek naar de kwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting', kortweg de **binnenlucht in basisscholen of biba**. Dit is een onderzoek uitgevoerd door VITO in samenwerking met de Universiteit Antwerpen, in opdracht van de Dienst Milieu en Gezondheid van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie en afdeling Toezicht Volksgezondheid.

Het onderzoek bestaat uit twee onderdelen. Het eerste onderdeel heeft tot doel de luchtkwaliteit van het 'gemiddeld' Vlaams klaslokaal te bepalen. Hierbij worden mogelijke bronnen van luchtvervuiling onderzocht. In het tweede onderdeel wordt een aantal specifieke aspecten verder bestudeerd.

In totaal zullen 90 klaslokalen uit 30 scholen, verspreid over Vlaanderen, deelnemen aan het onderzoek. In elke school worden 3 klaslokalen gekozen waarin we de luchtkwaliteit meten; één klaslokaal in elke graad van het basisonderwijs.

Daarnaast zal de gezondheid van elk kind uit iedere deelnemende klas door middel van een vragenlijst over zijn/haar gezondheidstoestand bevraagd worden. Deze vragenlijst is gericht aan de ouders van elk kind. Sommige kinderen uit de tweede graad (3^e of 4^e jaarjaar) zullen ook een vrangelijstje beantwoorden en een blaastest uitvoeren. Met deze

test wordt de longfunctie van de kinderen gemeten. Ook zal worden nagegaan of de neus ontstoken is.

Ook zullen in sommige klassen maatregelen genomen worden die mogelijk de luchtkwaliteit in de klas kunnen verbeteren. U weet zelf niet of dit in de klas van uw kind het geval is. Hierna zal u opnieuw gevraagd worden om de vragenlijst te beantwoorden en zullen de kinderen opnieuw vraagjes beantwoorden en een blaastest uitvoeren.

Er wordt aan u toestemming gevraagd om uw kind te laten deelnemen aan dit onderzoek. Als u hiervoor uw toestemming geeft, zal u gevraagd worden een vragenlijst in te vullen.

Welk soort onderzoek:

1. Vragenlijst

Ieder kind van elke deelnemende klas ontvangt een vragenlijst. In deze vragenlijst wordt de gezondheid van uw kind bevestigd. Gelieve de ingevulde vragenlijst zo snel mogelijk opnieuw mee te geven naar school, zodat uw kind het formulier overhandigt aan zijn/haar leerkracht.

In de klas zal ook aan uw kind gevraagd worden enkele vraagjes te beantwoorden via een computer.

2. Meting van de longfunctie

Bij sommige kinderen zal de longfunctie gemeten worden. Het onderzoek vindt plaats op school, tijdens de schooluren. Eén uur voor de staalname mag uw kind niets gegeten of gedronken hebben. Tien minuten voor de staalname mogen geen zware inspanningen gedaan worden. Uw kind zal gevraagd worden om diep in te ademen en vervolgens zachtjes uit te ademen. In een tweede test, waarin nagegaan wordt of de neus ontstoken is, ademt het kind via de neus uit. In beide tests wordt de hoeveelheid stikstofdioxide in de uitgeademde lucht bepaald. Dit geeft ons een idee over de mate van ontsteking in de longen en de neus van ieder kind. Het onderzoek doet geen pijn en duurt niet lang (meestal minder dan 10 min)

De deelnemers hebben steeds het recht om zich terug te trekken uit het onderzoek.

Kosten:

Elk onderzoek in het kader van dit onderzoeksproject is gratis voor u.

Mogelijke risico's:

Er is geen enkel risico of ongemak verbonden aan deze testen. Het onderzoek werd goedgekeurd door de onafhankelijke ethische commissie van de Universiteit Antwerpen.

Vertrouwelijkheid:

Alle informatie die u ons geeft, wordt vertrouwelijk behandeld conform de wet op de privacy. Uw kind wordt aan de hand van een code geïdentificeerd. U heeft het recht aan de arts te vragen welke gegevens er over uw kind worden verzameld in het kader van het onderzoek en wat de bedoeling ervan is. U heeft ook het recht om aan de arts te vragen inzage in uw persoonlijke informatie te verlenen en er eventueel de nodige verbeteringen in te laten aanbrengen. De bescherming van de persoonlijke gegevens is wettelijk bepaald door de wet van 8 december 1992 betreffende de bescherming van de persoonlijke levenssfeer. Indien de resultaten van dit onderzoek gepubliceerd worden in een rapport of wetenschappelijk tijdschrift zal uw naam op geen enkele manier genoemd worden.

Vrijwillige deelname:

U neemt vrijwillig deel aan het onderzoek. U heeft steeds het recht om u of uw kind uit het onderzoek terug te trekken. Alle stalen en gegevens zullen dan vernietigd worden.

Recht op informatie:

U heeft het recht om informatie te vragen over de procedures en het onderzoeksproject die in dit document beschreven worden. Alle vragen naar informatie zullen naar best vermogen beantwoord worden.



TOESTEMMINGSFORMULIER

Dit document voorziet in de deelname van:

Naam en voornaam van de deelnemer

.....

Ik heb het toestemmingsformulier gelezen. Ik neem vrijwillig deel aan dit onderzoek. Ik wil één/geen* kopie van dit formulier (* omcirkel één van beiden).

Datum:

Handtekening van de ouders van de deelnemer:

.....

Prof. Dr. K. Desager
Universiteit Antwerpen
Campus Drie Eiken
Tel 03/8213448



BIJLAGE 4 RESULTATEN VOS

<i>Gemiddelde concentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) per locatie en per component</i>												
Vito-nr	Locatie		MTBE	Benzeen	Tolueen	Tetrachloro- etheen	Ethyl- benzeen	m- + p- Xyleen	o-Xyleen	1,2,4-Trimethyl- benzeen	tVOC	
BIBA 20081648	West-Vlaanderen	S3	Klas 1	0,09	0,50	2,79	0,09	0,44	0,89	0,27	0,60	93
BIBA 20081650			Klas 2	0,12	0,53	1,94	0,09	0,39	0,95	0,30	0,84	18
BIBA 20081646			Klas 3	0,10	0,62	3,21	0,11	0,99	3,50	1,28	4,63	196
BIBA 20081652			Speelplaats	0,07	0,62	1,39	0,11	0,21	0,76	0,22	0,24	47
BIBA 20081654			Straat	0,10	0,60	1,52	0,11	0,23	0,80	0,23	0,28	22
BIBA 20081658		S4	Klas 1	0,10	0,66	2,15	0,12	0,40	1,02	0,28	0,34	23
BIBA 20081662			Klas 2	< 0,04	0,94	2,98	0,10	36,2	166	26,6	178	1126
BIBA 20081660			Klas 3	0,19	0,87	3,56	0,11	18,6	82,4	12,1	46,9	388
BIBA 20081656			Speelplaats	0,09	0,68	1,29	0,11	0,26	0,89	0,24	0,26	21
BIBA 20081664			Straat	0,12	0,72	1,32	0,10	0,27	0,95	0,26	0,38	27
BIBA 20081668		S5	Klas 1	0,19	0,74	1,69	0,10	0,32	1,00	0,35	0,71	117
BIBA 20081670			Klas 2	0,23	0,64	1,46	0,09	0,27	0,85	0,30	0,63	91
BIBA 20081672			Klas 3	0,15	0,76	3,60	0,13	2,47	10,3	4,8	13,8	877
BIBA 20081666			Speelplaats	0,12	0,78	1,38	0,11	0,24	0,78	0,25	0,35	115
BIBA 20081674			Straat	0,18	0,91	1,83	0,11	0,29	0,94	0,30	0,44	163

Bijlage 3 (vervolg)												
Vito-nr	Locatie		MTBE	Benzeen	Tolueen	Tetrachloro- etheen	Ethyl- benzeen	m- + p- Xyleen	o-Xyleen	1,2,4-Trimethyl- benzeen	tVOC	
BIBA 20081678	Oost-Vlaanderen	S6	Klas 1	0,44	1,14	5,00	0,52	1,18	3,66	1,10	1,36	253
BIBA 20081680			Klas 2	0,41	1,15	7,05	2,16	0,76	2,46	0,80	1,55	23
BIBA 20081682			Klas 3	0,53	1,20	3,47	0,49	1,50	5,50	1,08	1,63	154
BIBA 20081676			Speelplaats	0,23	1,07	2,16	0,21	0,38	1,37	0,39	0,51	116
BIBA 20081684			Straat	0,39	1,22	2,62	0,22	0,42	1,48	0,43	0,66	114
BIBA 20090265		S19	Klas 1	0,17	1,04	2,39	0,13	0,70	3,11	0,70	1,06	188
BIBA 20090267			Klas 2	0,14	0,87	2,00	0,11	0,75	3,74	0,86	1,44	160
BIBA 20090269			Klas 3	0,16	1,07	2,65	0,12	0,88	3,67	0,85	1,12	158
BIBA 20090271			Speelplaats	0,11	1,04	1,98	0,13	0,29	0,89	0,26	0,32	135
BIBA 20090273			Straat	0,14	1,08	2,21	0,09	0,52	2,27	0,53	0,77	125
BIBA 20090255		S20	Klas 1	0,17	1,10	3,09	0,16	0,99	4,13	1,39	21,9	365
BIBA 20090257			Klas 2	0,16	1,19	2,70	0,24	1,29	5,35	1,45	5,42	363
BIBA 20090259			Klas 3	0,18	1,26	2,60	0,17	1,09	4,40	1,44	6,83	343
BIBA 20090261			Speelplaats	0,15	1,16	1,77	0,14	0,34	1,04	0,30	0,32	144
BIBA 20090263			Straat	0,15	1,17	1,79	0,14	0,71	3,27	0,67	0,81	187
BIBA 20081695		Antwerpen	S7	Klas 1	0,42	1,36	5,81	0,26	0,64	2,03	0,60	1,10
BIBA 20081697	Klas 2			0,28	1,11	3,68	0,21	0,46	1,42	0,43	0,69	143
BIBA 20081699	Klas 3			0,37	1,28	5,71	0,23	0,65	1,97	0,60	1,16	193
BIBA 20081701	Speelplaats			0,35	1,24	2,19	0,18	0,40	1,33	0,38	0,41	130
BIBA 20081703	Straat			0,32	1,33	1,98	0,17	0,36	1,19	0,34	0,41	148
BIBA 20081705	S8		Klas 1	0,30	1,19	2,90	0,14	0,54	1,67	0,51	0,67	132
BIBA 20081707			Klas 2	0,23	1,10	3,23	0,14	1,12	4,22	1,24	4,06	169
BIBA 20081709			Klas 3	0,34	1,28	5,00	0,20	1,36	5,69	1,73	5,98	225
BIBA 20081711			Speelplaats	0,28	1,29	2,27	0,15	0,43	1,50	0,42	0,47	134
BIBA 20081713			Straat	0,71	1,48	2,94	0,16	0,52	1,71	0,49	0,61	159
BIBA 20081728	S9		Klas 1	0,31	1,22	2,73	0,15	0,48	1,50	0,45	0,60	87
BIBA 20081730			Klas 2	0,25	1,05	2,05	0,28	0,42	1,25	0,37	0,48	71

Bijlage 3 (vervolg)												
Vito-nr	Locatie	MTBE	Benzeen	Tolueen	Tetrachloro- etheen	Ethyl- benzeen	m- + p- Xyleen	o-Xyleen	1,2,4-Trimethyl- benzeen	tVOC		
BIBA 20081732		Klas 3	0,42	1,22	3,89	0,48	0,75	2,11	0,66	1,20	243	
BIBA 20081734		Speelplaats	0,24	1,40	2,25	0,17	0,48	1,54	0,44	0,49	137	
BIBA 20081736		Straat	0,28	1,50	2,29	0,16	0,47	1,47	0,43	0,50	111	
BIBA 20081718		S10	Klas 1	0,24	1,11	2,08	0,31	0,39	1,20	0,34	0,56	83
BIBA 20081720			Klas 2	0,24	1,12	2,22	0,37	0,41	1,37	0,39	2,16	90
BIBA 20081722			Klas 3	0,72	1,84	3,61	0,41	0,55	2,06	0,56	6,43	135
BIBA 20081724			Speelplaats	0,70	1,24	2,72	0,37	0,51	1,51	0,46	0,72	156
BIBA 20081726		S12	Straat	0,50	1,75	4,35	0,33	0,62	1,85	0,58	1,16	129
BIBA 20081761			Klas 1	0,39	2,06	4,04	0,22	0,83	2,91	0,73	1,18	134
BIBA 20081763			Klas 2	0,41	1,98	4,06	0,26	4,62	17,0	5,40	1,12	344
BIBA 20081765			Klas 3	0,36	1,81	3,55	0,22	2,28	8,22	2,64	1,20	277
BIBA 20081767		Speelplaats	0,26	1,89	2,96	0,22	0,54	1,76	0,49	0,62	155	
BIBA 20081769		Straat	0,34	1,92	3,55	0,21	0,61	1,93	0,56	0,78	97	
BIBA 20090007		S13	Klas 1	0,14	3,58	2,61	0,21	0,47	1,51	0,79	2,69	207
BIBA 20090009			Klas 2	0,21	3,99	3,07	0,24	0,56	1,59	0,52	0,80	249
BIBA 20090011			Klas 3	0,15	3,58	2,72	0,27	0,43	1,35	0,43	0,67	223
BIBA 20090013			Speelplaats	0,12	1,33	2,01	0,22	0,33	1,03	0,28	0,42	206
BIBA 20090015		Straat	0,16	1,48	2,50	0,30	0,39	1,19	0,34	0,57	198	
BIBA 20090017	S14	Klas 1	0,19	1,23	3,02	1,18	0,49	1,40	0,50	1,26	239	
BIBA 20090019		Klas 2	0,23	1,37	3,68	1,18	0,56	1,64	0,55	1,22	273	
BIBA 20090021		Klas 3	0,20	1,27	3,01	0,86	0,47	1,46	0,49	1,02	183	
BIBA 20090023		Speelplaats	0,14	1,18	2,05	0,76	0,34	1,00	0,30	0,43	126	
BIBA 20090025	Straat	0,23	1,69	3,84	0,80	0,52	1,53	0,48	0,92	194		
BIBA 20090119	S17	Klas 1	3,22	2,09	16,7	0,23	2,02	8,95	1,75	3,26	408	
BIBA 20090121		Klas 2	1,42	1,79	8,52	0,26	1,67	7,62	1,45	2,45	380	
BIBA 20090123		Klas 3	2,17	1,99	12,4	0,24	1,62	7,17	1,44	2,68	384	
BIBA 20090117		Speelplaats	0,19	1,62	2,76	0,22	0,98	5,52	0,84	0,97	208	
BIBA 20090125	Straat	0,20	1,57	2,93	0,21	1,02	5,87	0,90	1,29	171		

Bijlage 3 (vervolg)												
Vito-nr	Locatie		MTBE	Benzeen	Tolueen	Tetrachloro- etheen	Ethyl- benzeen	m- + p- Xyleen	o-Xyleen	1,2,4-Trimethyl- benzeen	tVOC	
BIBA 20090109		S18	Klas 1	0,22	2,05	2,64	0,20	1,06	4,72	0,92	0,89	278
BIBA 20090111			Klas 2	0,21	2,17	5,19	0,20	0,97	4,29	0,83	0,91	307
BIBA 20090113			Klas 3	0,20	3,51	3,26	0,16	1,07	4,77	0,97	1,15	230
BIBA 20090107			Speelplaats	0,18	1,69	2,30	0,16	0,95	4,17	0,76	0,79	171
BIBA 20090115			Straat	0,20	1,80	2,49	0,16	0,82	3,50	0,66	0,71	192
BIBA 20081584	Vlaams Brabant	S1	Klas 1	0,75	2,42	6,76	1,36	1,24	3,94	1,31	2,03	182
BIBA 20081586			Klas 2	0,79	2,70	9,05	1,59	1,88	6,02	2,09	3,40	235
BIBA 20081588			Klas 3	0,70	3,42	14,0	1,92	3,55	11,1	4,22	10,7	569
BIBA 20081590			Speelplaats	0,80	2,51	6,31	0,76	0,90	2,70	0,79	0,95	157
BIBA 20081592			Straat	0,76	2,27	6,15	0,53	0,85	2,58	0,76	0,94	141
BIBA 20081594		S2	Klas 1	1,33	2,64	9,21	0,72	1,95	4,61	1,47	1,67	233
BIBA 20081596			Klas 2	1,32	2,70	8,73	0,71	2,29	4,76	1,56	2,57	144
BIBA 20081598			Klas 3	1,17	2,46	8,36	0,63	1,36	3,85	1,22	1,72	150
BIBA 20081600			Speelplaats	1,20	2,73	8,42	0,62	1,05	3,24	1,01	1,57	216
BIBA 20081602			Straat	1,14	2,62	8,10	0,54	1,00	3,07	0,97	1,66	171
BIBA 20081751		S11	Klas 1	0,29	1,78	3,55	0,30	0,64	1,77	0,57	0,70	83
BIBA 20081753			Klas 2	0,27	1,59	3,01	0,25	0,68	2,00	0,64	0,73	115
BIBA 20081755			Klas 3	0,30	1,83	2,95	0,26	0,56	1,75	0,59	0,95	104
BIBA 20081757			Speelplaats	0,23	1,83	2,66	0,25	0,49	1,57	0,45	0,54	109
BIBA 20081759			Straat	0,22	1,63	2,60	0,21	0,47	1,52	0,43	0,54	103
BIBA 20090314		S26	Klas 1	0,22	0,69	2,71	0,09	0,91	2,72	0,79	1,28	369
BIBA 20090316			Klas 2	0,23	0,60	2,62	0,09	0,93	2,52	0,72	1,52	378
BIBA 20090318			Klas 3	0,20	0,78	3,27	0,09	1,04	2,82	0,88	1,67	365
BIBA 20090320			Speelplaats	< 0,04	0,67	1,39	0,09	0,23	0,94	0,24	0,35	264
BIBA 20090322			Straat	0,13	0,92	2,35	0,09	0,36	1,41	0,34	0,61	225
BIBA 20090521		S27	Klas 1	0,23	1,01	4,56	0,19	2,14	5,21	0,95	1,40	193
BIBA 20090523			Klas 2	0,37	1,16	3,11	0,19	5,27	19,6	5,20	0,82	158
BIBA 20090525			Klas 3	0,23	1,04	4,13	0,18	3,59	7,98	1,37	2,30	179

BIBA 20090527			Speelplaats	0,32	1,16	2,35	0,19	0,35	0,92	0,28	0,51	166
<i>Bijlage 3 (vervolg)</i>												
Vito-nr	Locatie		MTBE	Benzeen	Tolueen	Tetrachloro-ethen	Ethylbenzeen	m- + p-Xyleen	o-Xyleen	1,2,4-Trimethylbenzeen	tVOC	
BIBA 20090529	S28	Straat	0,37	1,36	3,07	0,20	0,43	1,16	0,36	0,78	158	
BIBA 20090356		Klas 1	0,35	1,07	2,89	0,14	0,55	2,11	0,53	0,77	262	
BIBA 20090358		Klas 2	0,32	0,95	2,67	0,13	0,60	2,18	0,59	0,90	162	
BIBA 20090360		Klas 3	0,40	1,10	3,34	0,15	0,69	2,44	0,68	0,95	233	
BIBA 20090362		Speelplaats	0,45	1,16	2,57	0,13	0,46	1,55	0,43	0,70	174	
BIBA 20090364		Straat	0,74	1,41	3,56	0,12	0,60	1,95	0,54	0,95	184	
BIBA 20090047	Limburg	S15	Klas 1	0,10	0,66	5,67	0,13	0,83	2,22	0,79	8,78	341
BIBA 20090049			Klas 2	0,11	0,67	4,28	1,56	1,18	5,09	2,00	22,4	515
BIBA 20090051			Klas 3	0,10	0,68	5,39	0,56	0,54	1,99	0,85	42,7	342
BIBA 20090043			Speelplaats	< 0,04	0,65	0,88	0,10	0,13	0,36	0,12	0,27	180
BIBA 20090045		Straat	< 0,04	0,68	0,76	0,10	0,12	0,33	0,11	0,17	70	
BIBA 20090035		S16	Klas 1	0,07	0,63	1,55	0,91	0,35	0,68	0,22	0,39	179
BIBA 20090039			Klas 2	0,10	0,77	1,87	1,70	3,38	3,59	1,06	0,78	161
BIBA 20090037			Klas 3	0,14	0,77	3,40	1,04	11,47	10,7	2,98	1,42	253
BIBA 20090033			Speelplaats	0,06	0,78	1,08	0,64	0,17	0,51	0,16	0,24	160
BIBA 20090041		Straat	< 0,04	0,76	1,11	0,80	0,20	0,59	0,17	0,30	159	
BIBA 20090058		S21	Klas 1	0,79	2,70	5,47	0,60	1,64	6,60	1,40	1,67	239
BIBA 20090060			Klas 2	0,96	2,76	5,52	0,62	1,38	4,74	1,20	1,50	252
BIBA 20090062			Klas 3	0,63	2,55	4,54	0,56	1,11	3,75	0,90	1,09	230
BIBA 20090064			Speelplaats	0,40	2,90	4,33	0,64	1,10	3,57	0,86	0,84	232
BIBA 20090064		Straat	0,40	2,90	4,33	0,64	1,10	3,57	0,86	0,84	235	
BIBA 20090070		S22	Klas 1	0,33	3,13	5,98	0,32	1,34	4,77	1,07	1,42	664
BIBA 20090072			Klas 2	0,33	3,13	5,19	0,28	1,31	4,70	1,10	1,68	323
BIBA 20090074			Klas 3	0,29	2,90	14,9	0,29	1,17	4,22	0,99	1,15	273
BIBA 20090068	Speelplaats		0,34	3,57	4,88	0,23	1,19	4,04	0,92	0,84	220	
BIBA 20090066	Straat	0,37	3,63	4,86	0,23	1,32	5,18	1,16	1,24	259		

Bijlage 3 (vervolg)												
Vito-nr	Locatie		MTBE	Benzeen	Tolueen	Tetrachloro- etheen	Ethyl- benzeen	m- + p- Xyleen	o-Xyleen	1,2,4-Trimethyl- benzeen	tVOC	
BIBA 20090173	Limburg	S23	Klas 1	0,13	1,17	1,84	0,08	0,51	1,75	0,61	3,64	246
BIBA 20090175			Klas 2	0,14	1,10	1,70	0,08	0,48	1,70	0,58	3,35	311
BIBA 20090177			Klas 3	0,11	0,82	1,40	0,06	0,37	1,25	0,33	1,08	154
BIBA 20090179			Speelplaats	0,09	0,86	1,07	0,06	0,18	0,64	0,18	0,27	153
BIBA 20090181			Straat	0,10	0,82	1,17	0,06	0,18	0,64	0,17	0,31	189
BIBA 20090281		S24	Klas 1	0,06	0,47	0,91	0,08	0,26	0,98	0,25	0,58	140
BIBA 20090283			Klas 2	0,11	0,48	1,41	0,14	0,36	1,41	0,36	1,38	240
BIBA 20090285			Klas 3	0,11	0,57	1,48	0,17	0,37	1,19	0,34	0,99	206
BIBA 20090287			Speelplaats	0,06	0,48	0,72	0,08	0,14	0,46	0,14	0,20	85
BIBA 20090289			Straat	0,08	0,53	0,83	0,08	0,16	0,59	0,16	0,33	128
BIBA 20090291		S25	Klas 1	0,16	0,58	3,81	0,10	0,53	1,61	0,44	1,99	255
BIBA 20090293			Klas 2	0,06	0,48	1,12	0,10	0,21	0,76	0,22	0,52	177
BIBA 20090295			Klas 3	0,06	0,44	3,57	0,08	0,19	0,75	0,25	0,93	147
BIBA 20090297			Speelplaats	0,06	0,55	0,68	0,07	0,14	0,44	0,14	0,19	97
BIBA 20090299			Straat	0,14	0,63	0,92	0,08	0,18	0,64	0,17	0,36	103
BIBA 20090407		S29	Klas 1	0,16	0,74	2,22	0,11	0,47	1,52	0,41	0,89	141
BIBA 20090409			Klas 2	0,11	0,58	4,86	0,08	0,58	1,25	0,36	0,61	116
BIBA 20090411			Klas 3	0,11	0,59	1,10	0,08	0,27	1,02	0,27	0,79	86
BIBA 20090413			Speelplaats	0,07	0,64	0,87	0,09	0,15	0,55	0,16	0,23	122
BIBA 20090415			Straat	0,08	0,70	0,91	0,10	0,18	0,75	0,20	0,32	102
BIBA 20090397	S30	Klas 1	0,08	0,59	2,36	0,15	0,27	0,96	0,34	1,53	187	
BIBA 20090399		Klas 2	0,09	0,51	1,07	0,08	0,17	0,61	0,20	0,49	99	
BIBA 20090401		Klas 3	0,08	0,52	40,5	0,07	0,21	0,87	0,25	0,36	191	
BIBA 20090403		Speelplaats	0,07	0,56	0,99	0,06	0,14	0,53	0,16	0,21	105	
BIBA 20090405		Straat	0,08	0,56	1,07	0,05	0,15	0,58	0,17	0,35	81	

BIJLAGE 5 RESULTATEN ALDEHYDEN

<i>Gemiddelde concentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) per locatie en per component</i>						
Vito-nr	Locatie		Formaldehyde	Acetaldehyde	Totaal andere aldehyde	
S20081649	West-Vlaanderen	S3	Klas 1	20,4	7,49	26,5
S20081651			Klas 2	14,0	4,47	17,6
S20081647			Klas 3	25,8	2,60	27,9
S20081653			Speelplaats	3,68	1,14	4,61
S20081655			Straat	3,48	1,05	4,33
S20081659		S4	Klas 1	8,43	2,20	10,2
S20081663			Klas 2	16,1	2,62	18,2
S20081661			Klas 3	34,9	3,89	38,1
S20081657			Speelplaats	3,85	1,17	4,80
S20081665			Straat	3,83	0,98	4,62
S20081669		S5	Klas 1	13,8	3,54	16,7
S20081671			Klas 2	12,0	3,41	14,7
S20081673			Klas 3	20,7	4,20	24,1
S20081667			Speelplaats	3,68	1,20	4,65
S20081675			Straat	3,25	1,18	4,20
S20081679		Oost-Vlaanderen	S6	Klas 1	27,8	5,82
S20081681	Klas 2			20,2	5,48	24,6
S20081683	Klas 3			33,4	4,85	37,3
S20081677	Speelplaats			3,84	1,19	4,80
S20081685	Straat			3,51	1,21	4,49
S20090266	S19		Klas 1	19,9	8,95	27,2
S20090268			Klas 2	19,8	11,7	29,2
S20090270			Klas 3	22,7	7,62	28,8
S20090272			Speelplaats	4,36	1,79	5,80
S20090274			Straat	4,49	1,48	5,69
S20090256	S20		Klas 1	48,0	7,10	53,7
S20090258			Klas 2	45,9	6,66	51,3
S20090260			Klas 3	35,8	5,69	40,4
S20090262			Speelplaats	4,92	1,40	6,05
S20090264			Straat	5,41	1,92	6,96
S20081696	Antwerpen		S7	Klas 1	22,8	3,82
S20081698		Klas 2		22,6	3,48	25,4
S20081700		Klas 3		31,4	3,91	34,6
S20081702		Speelplaats		0,93	1,33	2,00
S20081704		Straat		3,16	1,69	4,52

Bijlage 4 (vervolg)						
Vito-nr	Locatie		Formaldehyde	Acetaldehyde	Totaal andere aldehyde	
S20081706	Antwerpen	Klas 1	14,3	3,21	16,9	
S20081708		Klas 2	12,4	2,57	14,5	
S20081710		Klas 3	10,4	2,97	12,8	
S20081712		Speelplaats	2,45	1,38	3,57	
S20081714		Straat	3,27	0,92	4,01	
S20081729		S9	Klas 1	9,86	2,93	12,2
S20081731			Klas 2	9,15	2,95	11,5
S20081733			Klas 3	30,6	5,85	35,3
S20081735			Speelplaats	3,34	1,35	4,43
S20081737			Straat	3,60	1,18	4,55
S20081719		S10	Klas 1	6,32	2,93	8,69
S20081721			Klas 2	13,3	2,87	15,6
S20081723			Klas 3	18,6	5,53	23,0
S20081725			Speelplaats	3,27	1,44	4,43
S20081727			Straat	3,96	1,67	5,31
S20081762		S12	Klas 1	26,9	4,56	30,6
S20081764			Klas 2	51,0	4,90	55,0
S20081766			Klas 3	22,9	5,95	27,7
S20081768			Speelplaats	5,17	3,42	7,93
S20081770			Straat	6,26	1,91	7,80
S20090008	S13	Klas 1	26,8	3,75	29,8	
S20090010		Klas 2	31,8	4,38	35,4	
S20090012		Klas 3	29,9	5,08	34,0	
S20090014		Speelplaats	4,17	1,65	5,50	
S20090016		Straat	5,25	2,08	6,93	
S20090018	S14	Klas 1	30,2	8,01	36,7	
S20090020		Klas 2	31,3	7,62	37,5	
S20090022		Klas 3	17,5	7,77	23,7	
S20090024		Speelplaats	4,02	2,07	5,69	
S20090026		Straat	4,82	2,50	6,84	
S20090120	S17	Klas 1	32,0	6,93	49,4	
S20090122		Klas 2	25,5	6,92	44,1	
S20090124		Klas 3	30,2	7,62	49,1	
S20090118		Speelplaats	8,11	2,93	15,5	
S20090126		Straat	8,45	2,79	15,6	
S20090110	S18	Klas 1	14,7	4,34	26,8	
S20090112		Klas 2	20,6	5,86	34,7	
S20090114		Klas 3	10,1	3,30	19,6	
S20090108		Speelplaats	7,42	1,51	13,8	
S20090116		Straat	6,79	1,33	11,0	

Bijlage 4 (vervolg)						
Vito-nr	Locatie		Formaldehyde	Acetaldehyde	Totaal andere aldehyde	
S20081585	Vlaams Brabant	S1	Klas 1	19,5	6,24	24,6
S20081587			Klas 2	22,2	5,11	26,3
S20081589			Klas 3	20,6	4,48	24,2
S20081591			Speelplaats	5,00	2,26	6,83
S20081593			Straat	4,93	2,12	6,64
S20081595		S2	Klas 1	25,7	5,16	29,9
S20081597			Klas 2	29,8	5,49	34,3
S20081599			Klas 3	23,2	4,41	26,7
S20081601			Speelplaats	4,33	1,99	5,94
S20081603			Straat	4,99	2,09	6,68
S20081752		S11	Klas 1	27,5	4,83	31,4
S20081754			Klas 2	27,5	6,79	32,9
S20081756			Klas 3	20,2	5,76	24,9
S20081758			Speelplaats	4,27	1,96	5,85
S20081760			Straat	5,48	2,09	7,16
S20090315		S26	Klas 1	37,1	7,30	56,0
S20090317			Klas 2	38,5	6,89	70,1
S20090319			Klas 3	56,8	7,96	78,2
S20090321			Speelplaats	12,7	1,37	19,8
S20090323			Straat	12,8	0,92	18,0
S20090522	S27	Klas 1	30,0	9,21	55,2	
S20090524		Klas 2	16,8	5,98	32,9	
S20090526		Klas 3	30,0	8,56	53,0	
S20090528		Speelplaats	8,75	2,69	19,1	
S20090530		Straat	8,58	2,44	18,5	
S20090357	S28	Klas 1	23,8	5,49	38,0	
S20090359		Klas 2	25,9	6,89	42,7	
S20090361		Klas 3	28,6	8,15	51,1	
S20090363		Speelplaats	11,0	2,73	18,5	
S20090365		Straat	10,9	4,56	21,7	
S20090048	Limburg	S15	Klas 1	20,5	8,35	27,3
S20090050			Klas 2	24,0	6,61	29,3
S20090052			Klas 3	14,8	4,82	18,7
S20090044			Speelplaats	5,35	2,00	6,96
S20090046			Straat	4,90	1,74	6,31
S20090036		S16	Klas 1	11,1	2,75	13,3
S20090040			Klas 2	31,0	4,90	34,9
S20090038			Klas 3	30,6	4,22	34,0
S20090034			Speelplaats	4,29	2,03	5,93
S20090042			Straat	3,80	1,63	5,12
S20090059		S21	Klas 1	19,2	4,85	23,1
S20090061			Klas 2	18,1	4,80	21,9
S20090063			Klas 3	9,85	2,91	12,2
S20090057			Speelplaats	4,46	2,67	6,62
S20090065			Straat	3,86	2,18	5,61

Bijlage 4 (vervolg)						
Vito-nr	Locatie		Formaldehyde	Acetaldehyde	Totaal andere aldehyde	
S20090071	Limburg	S22	Klas 1	25,5	6,47	30,7
S20090073			Klas 2	17,7	7,15	23,5
S20090075			Klas 3	16,6	7,07	22,3
S20090069			Speelplaats	5,63	3,04	8,09
S20090067			Straat	6,12	2,58	8,20
S20090174		S23	Klas 1	23,4	5,34	35,6
S20090176			Klas 2	23,1	5,27	35,9
S20090178			Klas 3	16,7	4,59	27,9
S20090180			Speelplaats	7,20	2,07	11,8
S20090182			Straat	7,96	1,55	13,2
S20090282		S24	Klas 1	47,2	4,21	50,6
S20090284			Klas 2	70,6	6,59	75,9
S20090286			Klas 3	58,4	6,58	63,7
S20090288			Speelplaats	30,9	1,49	32,1
S20090290			Straat	35,0	1,75	36,4
S20090292		S25	Klas 1	68,5	7,76	74,7
S20090294			Klas 2	44,2	4,81	48,1
S20090296			Klas 3	57,5	4,18	60,9
S20090298			Speelplaats	100	3,19	103
S20090300			Straat	41,6	2,01	43,2
S20090408	S29	Klas 1	25,1	6,39	40,0	
S20090410		Klas 2	21,3	4,52	32,7	
S20090412		Klas 3	13,4	3,15	23,9	
S20090414		Speelplaats	10,5	1,16	17,7	
S20090416		Straat	9,26	1,91	19,3	
S20090398	S30	Klas 1	18,8	5,88	35,1	
S20090400		Klas 2	19,8	4,51	34,5	
S20090402		Klas 3	13,8	3,90	31,0	
S20090404		Speelplaats	8,08	1,35	17,6	
S20090406		Straat	8,82	1,80	20,5	

BIJLAGE 6 RESULTATEN FIJN STOF (in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

School nummer	Locatie	Gemiddelde	PM 1	PM 2,5	PM 10	Grafiek					
						Opbouw PM 10 - 24h			Opbouw PM 10 - Lesuren		
S1	Klas 1	24h		60,3		15%	13%	72%	8%	13%	78%
		Lesuren		105							
	Klas 2	24h		68,9		12%	9%	79%	7%	9%	83%
		Lesuren		110							
	Klas 3	24h		80,1		22%	12%	67%	16%	12%	73%
Buiten	24h		37,2								
S2	Klas 1	24h		42,2		20%	9%	71%	10%	9%	81%
		Lesuren		70,7							
	Klas 2	24h		75,1		29%	12%	59%	19%	13%	69%
		Lesuren		136							
	Klas 3	24h		-							
Buiten	24h		52,1								
S3	Klas 1	24h		17,8		36%	12%	52%	22%	13%	65%
		Lesuren		27,7							
	Klas 2	24h		11,8		15%	10%	75%	7%	9%	84%
		Lesuren		21,6							
	Klas 3	24h		15,9		18%	10%	72%	9%	9%	82%
Buiten	24h		9,9								
S4	Klas 1	24h		16,8		14%	11%	75%	7%	9%	84%
		Lesuren		32,4							
	Klas 2	24h		25,6		26%	24%	50%	18%	25%	58%
		Lesuren		57,6							
	Klas 3	24h		21,4		24%	10%	65%	15%	11%	74%
Buiten	24h		10,9								
S5	Klas 1	24h		13,5		35%	14%	50%	18%	18%	64%
		Lesuren		15,7							
	Klas 2	24h		17,3		27%	8%	65%	13%	9%	78%
		Lesuren		24,7							
	Klas 3	24h		26,1		23%	10%	67%	13%	11%	75%
Buiten	24h		4,7								
S6	Klas 1	24h		13,1		16%	10%	74%	11%	10%	79%
		Lesuren		20,4							
	Klas 2	24h		18,9		11%	10%	78%	7%	10%	83%
		Lesuren		36,8							
	Klas 3	24h		17,8		14%	12%	74%	9%	11%	81%
Buiten	24h		-								
S7	Klas 1	24h		11,2		27%	12%	60%	16%	15%	69%
		Lesuren		16,7							
	Klas 2	24h		19,0		17%	9%	74%	13%	7%	80%
		Lesuren		25,8							
	Klas 3	24h		23,0		14%	9%	77%	15%	10%	76%
Buiten	24h		17,7								

Bijlage 6 Resultaten fijn stof

School nummer	Locatie	Gemiddelde	PM 1	PM 2,5	PM 10	Grafiek					
						Opbouw PM 10 - 24h		Opbouw PM 10 - Lesuren			
S8	Klas 1	24h		13,0	61%		8%	40%	24%	13%	63%
		Lesuren		15,8							
	Klas 2	24h		12,4	29%	9%	61%	17%	8%	75%	
		Lesuren		14,2							
Klas 3	24h		13,7	22%	10%	68%	10%	10%	80%		
	Lesuren		21,0								
	Buiten	24h									
S9	Klas 1	24h		17,7	62%		11%	28%	42%	13%	45%
		Lesuren		24,5							
	Klas 2	24h		25,8	38%	7%	55%	28%	8%	71%	
		Lesuren		39,5							
Klas 3	24h		25,1	28%	9%	63%	19%	9%	72%		
	Lesuren		52,9								
	Buiten	24h		-							
S10	Klas 1	24h		16,5	31%	11%	58%	16%	15%	68%	
		Lesuren		29,4							
	Klas 2	24h		24,7	12%	8%	80%	6%	8%	85%	
		Lesuren		44,0							
Klas 3	24h		19,5	12%	8%	79%	6%	7%	86%		
	Lesuren		35,5								
	Buiten	24h		22,3							
S11	Klas 1	24h		38,8	34%	11%	55%	25%	11%	64%	
		Lesuren		47,3							
	Klas 2	24h		54,3	54%	8%	38%	38%	8%	54%	
		Lesuren		75,0							
Klas 3	24h		54,6	53%	6%	41%	31%	7%	62%		
	Lesuren		64,5								
	Buiten	24h		32,7							
S12	Klas 1	24h		31,9	74%		7%	20%	50%	11%	39%
		Lesuren		39,8							
	Klas 2	24h		34,0	42%	11%	47%	23%	13%	64%	
		Lesuren		57,5							
Klas 3	24h		45,9	31%	9%	60%	13%	9%	78%		
	Lesuren		67,9								
	Buiten	24h		33,2							
S13	Klas 1	24h		16,9	31%	9%	60%	13%	9%	78%	
		Lesuren		24,3							
	Klas 2	24h		19,0	15%	8%	77%	6%	8%	86%	
		Lesuren		38,1							
Klas 3	24h		20,5	19%	7%	74%	7%	7%	86%		
	Lesuren		41,9								
	Buiten	24h		16,3							
S14	Klas 1	24h		17,7	23%	12%	65%	15%	11%	74%	
		Lesuren		29,4							
	Klas 2	24h		27,9	17%	9%	74%	11%	8%	83%	
		Lesuren		49,0							
Klas 3	24h		36,4	21%	8%	69%	16%	9%	75%		
	Lesuren		64,1								
	Buiten	24h		24,6							

School nummer	Locatie	Gemiddelde	PM 1	PM 2,5	PM 10	Grafiek					
						Opbouw PM 10 - 24h			Opbouw PM 10 - Lesuren		
S22	Klas 1	24h		26,8		2%	7%	5%	22%	7%	7%
		Lesuren		47,4							
	Klas 2	24h		42,6		3%	10%	5%	17%	1%	7%
		Lesuren		57,9							
	Klas 3	24h		43,0		3%	7%	5%	18%	8%	7%
Lesuren			56,1								
Buiten	24h		59,5								
S23	Klas 1	24h		43,3		12%	6%	7%	12%	6%	7%
		Lesuren		91,0							
	Klas 2	24h		32,3		11%	10%	7%	9%	3%	6%
		Lesuren		57,7							
	Klas 3	24h		38,9		13%	11%	7%	11%	11%	7%
Lesuren			83,3								
Buiten	24h		14,4								
S24	Klas 1	24h		17,4		24%	3%	6%	13%	3%	9%
		Lesuren		23,5							
	Klas 2	24h		13,0		13%	9%	7%	9%	9%	8%
		Lesuren		29,7							
	Klas 3	24h		13,2		11%	11%	7%	8%	10%	8%
Lesuren			27,6								
Buiten	24h		20,3								
S25	Klas 1	24h		63,7		7%	10%	8%	7%	5%	6%
		Lesuren		140,2							
	Klas 2	24h		32,1		2%	15%	5%	24%	6%	6%
		Lesuren		63,3							
	Klas 3	24h		19,7		2%	11%	6%	24%	11%	6%
Lesuren			42,0								
Buiten	24h		26,3								
S26	Klas 1	24h		23,3		9%	12%	7%	7%	18%	7%
		Lesuren		55,8							
	Klas 2	24h		38,3		2%	1%	9%	2%	1%	1%
		Lesuren		83,6							
	Klas 3	24h		25,6		2%	2%	6%	6%	12%	7%
Lesuren			56,4								
Buiten	24h		12,2								
S27	Klas 1	24h		23,3		19%	2%	7%	15%	8%	7%
		Lesuren		44,2							
	Klas 2	24h		33,5		3%	1%	4%	4%	3%	3%
		Lesuren		59,1							
	Klas 3	24h		27,0		2%	8%	7%	15%	8%	7%
Lesuren			51,1								
Buiten	24h		-								
S28	Klas 1	24h		21,9		14%	10%	8%	9%	10%	8%
		Lesuren		45,3							
	Klas 2	24h		30,2		15%	11%	7%	3%	3%	11%
		Lesuren		60,0							
	Klas 3	24h		24,4		8%	11%	7%	3%	10%	12%
Lesuren			49,6								
Buiten	24h		26,3								

School nummer	Locatie	Gemiddelde	PM 1	PM 2,5	PM 10	Grafiek						
						Opbouw PM 10 - 24h			Opbouw PM 10 - Lesuren			
S29	Klas 1	24h		28,3		9%	10%	8%		8%	9%	8%
		Lesuren		59,1								
	Klas 2	24h		19,4		12%	11%	3%		1%	10%	12%
		Lesuren		35,5								
	Klas 3	24h		18,7		12%	10%	7%		7%	9%	8%
Lesuren			35,3									
Buiten	24h		10,0									
S30	Klas 1	24h		18,9		6%	6%	7%		9%	14%	7%
		Lesuren		36,9								
	Klas 2	24h		15,9		14%	10%	2%		7%	1%	11%
		Lesuren		30,6								
	Klas 3	24h		6,6		37%	8%	5%		23%	10%	67%
Lesuren			12,5									
Buiten	24h		8,8									

BIJLAGE 7 RESULTATEN VERLUCHTING, VOCHTIGHEID EN TEMPERAATUUR

Locatie		Verluchtingsgegevens						Relatieve Vochtigheid				Temperatuur				
		gemid CO ₂ [ppm]	max CO ₂ [ppm]	> BiMi [%]	ventilatievoud [h ⁻¹]	luchtdebiet [m ³ .h ⁻¹]	open rooster	gemid RV [%]	max RV [%]	< BiMi [%]	> BiMi [%]	gemid T [°C]	max T [°C]	< BiMi [%]	> BiMi [%]	
West-Vlaanderen	S3	Klas 1	753	1903	85	0,20	31 - 35	-								
		Klas 2	685	1708	82	0,16 - 2,29	2,3 - 352	-								
		Klas 3	677	2101	67	0,17 - 0,35	23,5 - 49,2	-								
		Speelplaats	469		-	-	-	-					9,2			
	S4	Klas 1	665	1868	59	0,42 - 0,52	68,7 - 86,4		50	66	0	14,9	18	20	100	0
		Klas 2	730	1933	79	0,35 - 0,48	72,6 - 98,7		53	65	0	52	18	20	95	0
		Klas 3	949	2536	94	0,15 - 0,16	29,7 - 30,7	ja	53	83	0	21	20	22	68	0
		Speelplaats	445	550									8,7			
	S5	Klas 1	665	1605	59	0,23 - 0,25	42,4 - 44,2		42	54	0	0	21	24	32	0
		Klas 2	657	1478	85	0,33 - 0,43	58,9 - 76,8		37	56	0	0	22	25	21	10
		Klas 3	935	3235	74	0,34 - 0,40	34,5 - 40,0		45	61	0	1	20	23	48	0
		Speelplaats	347	380									6,9			

Vervolg bijlage 6			Verluchtingsgegevens					Relatieve Vochtigheid				Temperatuur				
Locatie			gemid CO ₂	max CO ₂	> BiMi	ventilatievoud	luchtdebiet	open rooster	gemid RV	max RV	< BiMi	> BiMi	gemid T	max T	< BiMi	> BiMi
			[ppm]	[ppm]	[%]	[h ⁻¹]	[m ³ .h ⁻¹]		[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]	[%]
Oost-Vlaanderen	S6	Klas 1	2345	4352	100	0,045 - 0,055	8,90 - 11,1		56	82	0	70	18	20	96	0
		Klas 2	2683	4707	100	0,03 - 0,034	8,42 - 8,53		60	77	0	84	18	21	86	0
		Klas 3	2156	4013	100	0,06	10,1 - 10,7		58	75	0	92	20	21	72	0
		Speelplaats	472										4,8			
	S19	Klas 1	934	2109	100	0,41	74,0						18	22	84	0
		Klas 2	876	2200	100	0,19 - 0,25	27,8 - 38,1		48	76	0	1	17	21	100	0
		Klas 3	1010	2777	100	0,23 - 0,24	64,2 - 67,7		47	70	0	5	18	22	83	0
		Speelplaats											4,4			
	S20	Klas 1	933	3141	96	0,73 - 0,74	131 - 133		47	69	0	8	18	22	85	0
		Klas 2	1150	3343	100	0,05 - 4,73	9,7 - 852		50	76	0	22	17	20	100	0
		Klas 3	929	2352	100	0,64 - 0,72	115 - 129	ja	42	64	0	1	19	23	66	0
		Speelplaats	484										4,4			
Antwerpen	S7	Klas 1	735	3384	82	1,67 - 2,12	251 - 318	ja	46	63	0	2	18	20	100	0
		Klas 2	664	2156	84	0,95 - 1,73	143 - 259	ja	41	54	0	0	18	20	100	0
		Klas 3	925	4572	90	1,56 - 2,11	234 - 316		47	68	0	9	18	23	81	0
		Speelplaats	353										7,5			
	S8	Klas 1	645	2384	86	0,43 - 1,02	78 - 184		41	85	1	2	19	23	70	0
		Klas 2	755	1904	99	0,40 - 0,45	72,1 - 81,3		48	71	0	4	18	20	100	0
		Klas 3	777	2202	100	0,32 - 0,45	61,1 - 85,0		44	74	0	0	19	22	80	0
		Speelplaats	472										3			
	S9	Klas 1	615	1403	52	0,65 - 0,85	137 - 179		32	55	28	0	20	22	51	0
		Klas 2	633	2455	36	0,86 - 0,90	186 - 194		32	73	33	0	22	23	1	0
		Klas 3	1164	4703	80	0,86 - 0,17	41,4 - 214		43	66	11	0	20	25	54	2
		Speelplaats	298										1,9			
	S10	Klas 1	628	1754	59	1,31 - 1,92	236 - 345		33	56	14	0	20	21	96	0
		Klas 2	697	1885	79	1,23 - 1,53	197 - 244	ja	39	56	0	0	17	20	100	0
		Klas 3	806	2650	100	0,25 - 0,39	44,8 - 70,8		38	57	0	2	20	23	67	0
		Speelplaats	491										2,7			
	S12	Klas 1	746	2015	100	0,22 - 1,60	38,8 - 288		37	59	3	0	20	25	50	4
		Klas 2	1013	2484	100	0,11 - 0,15	18,3 - 24,9		44	66	0	1	18	22	83	0
		Klas 3	1019	3478	100	0,16 - 0,16	19,3 - 19,8		42	54	78	0	19	22	78	0
		Speelplaats	491										3,7			

Vervolg bijlage 6			Verluchtingsgegevens					Relatieve Vochtigheid				Temperatuur				
Locatie			gemid CO ₂	max CO ₂	> BiMi	ventilatievoud	luchtdebiet	open rooster	gemid RV	max RV	< BiMi	> BiMi	gemid T	max T	< BiMi	> BiMi
			[ppm]	[ppm]	[%]	[h ⁻¹]	[m ³ .h ⁻¹]		[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]	[%]
	S13	Klas 1	801	1505	97	0,03 - 2,14	5,6 - 385		32	41	30	0	22	24	1	1
		Klas 2	992	1747,0	100	0,07 - 2,40	12,5 - 431		33	43	24	0	21	22	35	0
		Klas 3	878	2495	100	0,11 - 0,46	20,4 - 83,3		37	50	7	0	19	21	90	0
		Speelplaats	457										3,0			
	S14	Klas 1	804	2936	100	0,51 - 0,52	91,8 - 93,3		47	62	0	5	16	19	100	0
		Klas 2	911	3065	100	0,19 - 0,42	31,8 - 70,5		45	73	0	3	16	21	96	0
		Klas 3	870	3087	100	0,44 - 0,52	97,8 - 115		46	63	0	9	16	21	81	0
		Speelplaats	443										4,7			
	S17	Klas 1	1032	3841	100	1,55 - 1,92	279 - 346	ja					20	24	60	0
		Klas 2	1324	3783	100	0,15 - 0,24	22,2 - 35,9		50	79	0	6	16	19	100	0
		Klas 3	1239	3887	100	0,33 - 0,87	59,4 - 156		45	81	0	44	18	21	96	0
		Speelplaats	488										3,0			
	S18	Klas 1	635	1853	49	0,830	149		34	45	14	0	18	20	100	0
		Klas 2	1024	2408	100	0,19 - 0,36	28,1 - 54,7		39	50	0	0	18	22	93	0
		Klas 3	765	2620	100	1,52 - 1,57	425 - 440		40	56	0	2	15	17	100	0
		Speelplaats	383										2,2			
Viaams Brabant	S1	Klas 1	1454	4580	100	0,12 - 0,2			79	92	0	100	15	19	100	0
		Klas 2	1777	4751	100	0,23 - 0,26	43		82	92	0	100	14	18	100	0
		Klas 3	2217	5075	100	0,10	17		87	100	0	100	15	19	100	0
		Speelplaats														
	S2	Klas 1	902	1933	100	0,18	33		52	63	0	2	20	24	66	1
		Klas 2	858	2727	100				53	69	0	24	20	26	50	3
		Klas 3	983	2721	100				54	70	0	33	21	26	26	8
		Speelplaats														
	S11	Klas 1	993	1953	100	0,07 - 0,07	11,0 - 11,9		50	58	0	39	16	23	88	0
		Klas 2	1103	2525	100	0,10 - 0,21	15,7 - 32,9		49	55	0	1	16	25	89	0
		Klas 3	870,00	3003	99	0,31 - 0,38	49,9 - 129	ja	45	52	0	0	17	22	85	0
		Speelplaats	272										3,5			
	S26	Klas 1	1061	3205	94	0,16 - 0,23	20,2 - 29,1		46	60	0	0	21	22	33	0
		Klas 2	991	2805	93	0,21 - 0,29	37,3 - 52,2		41	49	0	0	21	24	11	0
		Klas 3	996	3223	100	0,36 - 0,41	61,8 - 70,2		41	53	0	0	21	24	7	0
		Speelplaats	467										7,0			

Vervolg bijlage 6			Verluchtingsgegevens					Relatieve Vochtigheid				Temperatuur					
Locatie			gemid CO ₂	max CO ₂	> BiMi	ventilatievoud	luchtdebiet	open rooster	gemid RV	max RV	< BiMi	> BiMi	gemid T	max T	< BiMi	> BiMi	
			[ppm]	[ppm]	[%]	[h ⁻¹]	[m ³ .h ⁻¹]		[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]	[%]	
Vlaams Brabant	S27	Klas 1	480	1341	22	2,72 - 2,94	440 - 476	ja	31	49	43	0	24	26	1	26	
		Klas 2	575	1596	95	0,50 - 0,38	62,4 - 81,3	ja	29	50	63	0	22	24	1	0	
		Klas 3	577	1922	93	1,26 - 1,37	188 - 206		30	41	38	0	23	37	25	27	
		Speelplaats	460										10,4				
	S28	Klas 1	792	2248	100	0,32 - 0,45	58,2 - 81,5		40	77	0	0	20	23	45	0	
		Klas 2	910	1725	100	0,14 - 3,11	25,9 - 560		39	67	2	0	22	24	10	0	
		Klas 3	1009	3881	100	0,80 - 2,33	144 - 419		39	75	4	1	22	25	4	3	
		Speelplaats	472										6,7				
Limburg	S15	Klas 1	1105	2287	100	0,02 - 1,26	3,4 - 227		42	65	0	2	18	23	72	0	
		Klas 2	787	3421	94	3,04 - 3,45	426 - 483		41	71	0	1	19	22	92	0	
		Klas 3	933	3547	100	0,06 - 1,94	8,6 - 291		47	79	0	5	17	22	95	0	
		Speelplaats											3,8				
	S16	Klas 1	845	3320	42	1,09 - 1,90	196 - 341		36	78	5	0	19	24	73	0	
		Klas 2	782	4244	100	1,34 - 3,80	241 - 685		37	74	2	0	19	25	71	1	
		Klas 3	426										3,7				
		Speelplaats	426														
	S21	Klas 1	800	2579	100	0,31 - 7,3	61,5 - 1422		31	86	49	1	20	22	28	0	
		Klas 2	900	3186	96	0,52	88,2						20	22	5	0	
		Klas 3	710	2083	100	0,40 - 0,42	85,9 - 89,4	ja	28	89	78	0	19	25	87	0	
		Speelplaats	383										0,0				
	S22	Klas 1	679	1901	79	0,18 - 0,31	32,7 - 56,3		30	71	68	0	22	24	3	0	
		Klas 2	788	1998	100	0,29 - 0,35	52,1 - 63,7		30	58	61	0	20	22	20	0	
		Klas 3															
		Speelplaats	457										-0,4				
	S23	Klas 1	904	2624	73	0,20	38,5		35	48	2	0	22	26	8	3	
		Klas 2	822	1797	100	0,11 - 0,13	22,6 - 26,9		30	40	53	0	23	26	0	5	
		Klas 3	657	2149	76	0,25	46,6		33	45	21	0	21	24	28	0	
		Speelplaats	441										3,1				
	S24	Klas 1	572	1432	92	1,15 - 1,85	260 - 415		36	57	0	0	19	22	80	0	
		Klas 2	883	2378	100			ja	37	69	1	1	21	23	19	0	
		Klas 3	948	2599	100	0,14 - 6,67	26,9 - 1261		41	64	0	1	20	21	5	0	
		Speelplaats	439										5,9				

Vervolg bijlage 6			Verluchtingsgegevens					Relatieve Vochtigheid				Temperatuur				
Locatie			gemid CO ₂	max CO ₂	> BiMi	ventilatievoud	luchtdebiet	open rooster	gemid RV	max RV	< BiMi	> BiMi	gemid T	max T	< BiMi	> BiMi
			[ppm]	[ppm]	[%]	[h ⁻¹]	[m ³ .h ⁻¹]		[%]	[%]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[%]	[%]
S25	Klas 1		1553	4329	100	0,10 - 3,76	14,3 - 563	ja	47	73	0	4	21	23	1	0
	Klas 2		760	1629	100	0,20 - 2,85	30,3 - 427	ja	34	72	7	1	21	24	40	0
	Klas 3		675	1701	84	0,31 - 0,42	47,2 - 63,5	ja	37	70	0	0	20	22	77	0
	Speelplaats												5,9			
S29	Klas 1		1438	4363	100	0,78 - 1,22	146 - 228		48	80	0	12	20	24	44	0
	Klas 2		927	2081	100	0,32 - 1,70	69,6 - 374		41	72	0	1	20	24	45	0
	Klas 3		795	3381	95	0,69 - 1,25	136 - 245		42	87	0	1	20	22	68	0
	Speelplaats		433										5,4			
S30	Klas 1		840	2254	72	0,38 - 0,41	94,6 - 102	ja	45	54	0	0	18	22	86	0
	Klas 2		820	3175	57	0,71 - 0,85	200 - 239	ja	37	62	0	0	21	24	16	0
	Klas 3		634	2018	42	0,46 - 0,65	83,2 - 117		36	50	4	0	21	24	45	0
	Speelplaats		420										6,5			

(Contract 071571)

Rapportering WP 3: Interpretatie, Beleidsaanbevelingen en
Remediërvorstellen.

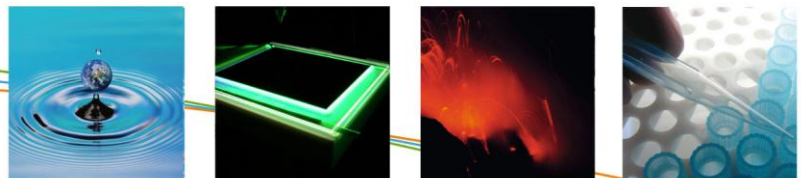
Onderzoek naar de luchtkwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting

K. De Brouwere, M. Stranger, E. Govarts, G. Koppen, H. Willems, R. Torfs, K. Desager, E. Goelen

Studie uitgevoerd in opdracht van:
dienst Milieu & Gezondheid van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie, en
team Milieugezondheidszorg van het agentschap Zorg en Gezondheid

2009/MRG/R/372

November 2009



VITO NV

Boeretang 200 – 2400 MOL – BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 – Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be – www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 435-4508191-02 KBC (Brussel)
BE32 4354 5081 9102 (IBAN) KREDBEBB (BIC)



SAMENVATTING

In dit rapport wordt de analyse van de meetcampagne en vragenlijsten van de 30 BiBa-scholen (met telkens 3 klaslokalen) verder beschreven. In de hoofdstudie werd onderzocht welke de invloed is van de buitenlucht, van ventilatie, van binnenbronnen en van klasinrichting op de binnenluchtkwaliteit in klaslokalen.

Vervolgens werd in de 4 nevenstudies een aantal aspecten in detail bestudeerd: een studie naar het voorkomen van schimmelvorming in klaslokalen, studies naar methoden om de luchtkwaliteit in klaslokalen te verbeteren: door sensibilisatie (Lekker Fris) of door de lucht te zuiveren, en een analyse van de samenstelling van TVOS in klaslokalen.

Hoofdstudie

Er was een heel grote spreiding in weekgemiddelde binnenluchtkwaliteit tussen de 90 BiBa-klaslokalen. Voor sommige pollutanten (MTBE, ethylbenzeen, xylenen en 1,2,4-trimethylbenzeen) bedroeg het verschil tussen de laagste en hoogste concentratie van de 90 klaslokalen een factor 100.

De toetsing van de weekgemiddelde binnenluchtconcentraties in de BiBa-klaslokalen aan de richt- en interventiewaarden van het Vlaams BinnenMilieuBesluit, en aan internationale blootstellingscriteria bracht een aantal 'knelpunt chemische factoren' in de BiBa-klassen aan het licht: PM, formaldehyde, totaal andere aldehydes, benzeen, TVOS en CO₂. Concentraties van deze pollutanten overschreden in een substantieel deel van de 90 klaslokalen de *richtwaarden* van het Vlaams BinnenMilieuBesluit en/of internationale richtwaarden, limieten of blootstellingscriteria. In geen enkele klas werd de *interventiewaarde* voor formaldehyde of benzeen overschreden. Voor PM, TVOS, totaal andere aldehydes en CO₂ geeft het Vlaams BinnenMilieuBesluit geen interventiewaarden.

Voor de volgende pollutanten lagen de concentraties in alle 90 klaslokalen beneden de *richtwaarden* van het Vlaams BinnenMilieuBesluit, en/of beneden internationale richtwaarden, limieten of blootstellingscriteria: MTBE, toluen, tetrachlooretheen, ethylbenzeen en 1,2,4-trimethylbenzeen. Acetaldehyde concentraties in alle 90 klassen lagen beneden de richtwaarden van het Vlaams BinnenMilieuBesluit; in 2 klassen werd wel de strengste internationale blootstellingslimiet overschreden. In 1 klas werd de blootstellingsgrens van US-EPA voor xylenen overschreden.

De weekgemiddelde luchtkwaliteit in de klaslokalen was voor de meeste pollutanten in de meeste scholen slechter dan de weekgemiddelde buitenluchtkwaliteit op de speelplaats. De luchtkwaliteit op de speelplaats was in de meeste gevallen gelijkaardig aan de luchtkwaliteit aan de straatkant.

Invloed van buitenlucht op luchtkwaliteit in de klaslokalen

Voor verkeersgerelateerde pollutanten (MTBE, benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen en PM) was er een sterke invloed van de buitenluchtkwaliteit en van de verkeersdrukke op de luchtkwaliteit in de klaslokalen. Voor MTBE en benzeen werd een sterke 1-1 relatie gevonden tussen concentraties in de binnenlucht en buitenlucht (speelplaats), hetgeen suggereert dat infiltratie van deze stoffen van de buitenlucht naar de binnenomgeving de meest dominante, al dan niet de enige, bron is voor binnenluchtkwaliteit voor deze pollutanten.

Voor toluen, ethylbenzeen, xylenen, TVOS en PM was er ook een sterke invloed van de buitenlucht op de binnenluchtkwaliteit in de klaslokalen te merken. Echter voor deze pollutanten lag de binnen/buiten (I/O) ratio in veel klaslokalen sterk boven één. Dit konden we verklaren door de bijkomende bijdrage van binnenbronnen, en/of door een hogere residentietijd van de geïnfiltreerde pollutanten in de binnenlucht in vergelijking

met de buitenlucht. Op basis van de meetcampagne kon geen onderscheid gemaakt worden tussen beide effecten.

Er werden geen significante verschillen gevonden in binnenluchtkwaliteit tussen scholen gelegen in landelijke en stedelijke omgeving. In beide groepen was er een heel grote spreiding in binnenluchtkwaliteit. Mogelijks was het verschil tussen landelijke en stedelijke omgeving niet zichtbaar doordat de totale meetcampagne over 5 maanden liep (begin november – begin april), met aldus sterke variaties in weersomstandigheden over de verschillende meetperiodes (in elke school werd gedurende 1 week gemeten).

Invloed van ventilatie op de luchtkwaliteit in de klaslokalen

Geen enkel BiBa-klaslokaal was voorzien van een mechanisch ventilatiesysteem. Alle klassen werden manueel verlucht. De luchtverversing was in de meeste BiBa-klaslokalen ondermaats. In op één na alle klassen lag de weekgemiddelde CO₂-concentratie boven de richtwaarde van 900 mg.m⁻³ (492 ppm) van het Vlaams BinnenMilieuBesluit, en tijdens de aanwezigheid van de kinderen in de klaslokalen liepen de CO₂-concentraties in de klaslokalen op tot boven de limietwaarde van 1000 ppm (1829 mg/m³) (ASHRAE).

Er was geen verband tussen het gebruik van ventilatieroosters of zelfgerapporteerd ventilatiegedrag en weekgemiddelde CO₂-concentraties in de klaslokalen. Deze laatste parameter werd gebruikt als maat voor de luchtverversing in de klaslokalen.

Er bleek voor alle pollutanten (behalve TVOS) een positief effect te zijn van luchtverversing op de binnenluchtconcentraties. Dit was zowel het geval voor pollutanten die voornamelijk door binnenbronnen in het binnenmilieu terechtkomen (bvb. aldehydes), maar ook voor pollutanten die voornamelijk buitenbronnen hebben (MBTE, benzeen). Niet ventileren beschermt immers niet tegen infiltratie van buiten naar binnen. Omgekeerd, het binnenmilieu fungeert als een verzamelplaats voor pollutanten die van buitenaf komen, vermits ze minder snel verwijderd worden in het binnenmilieu dan in de buitenlucht.

Invloed van klasinrichting en binnenbronnen op luchtkwaliteit in de klaslokalen

In tegenstelling tot de duidelijke, significante effecten van buitenluchtkwaliteit en ventilatie op binnenluchtconcentraties in de BiBa-klaslokalen, is de invloed van binnenbronnen op de binnenluchtkwaliteit veel minder uitgesproken in de BiBa-dataset. Er was een zwak verband tussen het aantal leerlingen aanwezig per klasvolume en PM_{2.5}-concentraties in de klaslokalen. Dit kon verklaard worden door resuspensie van fijn stof door fysieke activiteit van de kinderen. Voor formaldehyde en totaal andere aldehydes was er een zwakke relatie met het type vloerbekleding, en voor TVOS was er een zwakke relatie met het gebruik van schoonmaakmiddelen.

Waarschijnlijk is de invloed van binnenbronnen op de binnenluchtkwaliteit effectief aanwezig, maar niet zichtbaar in de database omwille van de grote verscheidenheid aan binnenbronnen in de klaslokalen, en omdat het effect van deze emissiebronnen gemaskeerd wordt door andere beïnvloedende factoren zoals de invloed van de buitenlucht, luchtverversing, de aanwezigheid van andere (niet-geïdentificeerde) binnenbronnen,...

Dat binnenbronnen waarschijnlijk voor sommige pollutanten geen onbelangrijke rol spelen werd ook indirect aangetoond doordat invloed van de buitenluchtkwaliteit en de luchtverversing slechts gedeeltelijk de variatie in de binnenluchtkwaliteit tussen de BiBa-klaslokalen konden verklaren. Voor benzeen (en MTBE) kon een groot deel (tot 80 %) van de variatie in de dataset verklaard worden door ventilatie en buitenluchtkwaliteit. Voor andere pollutanten (bvb. xylenen, ethylbenzeen, TVOS) kon slechts 15 % van de variatie in de dataset verklaard worden door ventilatie en buitenluchtkwaliteit. Dit suggereerde dat voor deze stoffen andere factoren zoals binnenbronnen, adsorptie op materialen,.. een dominante rol kunnen spelen voor de binnenluchtkwaliteit.

Nevenstudies

Nevenstudie schimmelvorming

In 7 van de BiBa-klaslokalen werd zichtbare schimmelvorming gerapporteerd. In deze klaslokalen was eveneens vochtschade zichtbaar. Er werd echter geen relatie gevonden tussen schimmelvorming en weekgemiddelde relatieve vochtigheid, temperatuur en luchtverversing. Waarschijnlijk was het aantal klassen met schimmelvorming te klein t.o.v. de totale dataset om statistisch significante effecten waar te nemen. Evenmin werd er een statistisch verband gevonden tussen schimmelvorming en ouderdom van de klaslokalen, type beglazing en type verwarming.

Nevenstudie Lekker Fris

Bij het beschouwen van het CO₂-gehalte in de klaslokalen tijdens de lessen (van 8u tot 16u, met uitzondering van woensdag: 8u tot 12u), was een effect van de sensibiliseringscampagne merkbaar 2 tot 3 weken na het uitvoeren van het lessenpakket. Gemiddeld daalde het CO₂-gehalte tot 73 ± 12 % van de concentraties voor de sensibilisatie, met een grootste daling tot 61% en een kleinste daling tot 90%. De grote spreiding in deze verbering van het CO₂-gehalte schreven we toe aan de opvolging door de leerkracht. De juiste opvolging door de klastitularis, ook na de uitvoering van het lessenpakket, is waarschijnlijk een erg belangrijke parameter, die het succes van Lekker Fris bepaalt. Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat de ventilatiemogelijkheden van het klaslokaal ook een belangrijke rol spelen.

Nevenstudie Zuiveren van binnenlucht en elementconcentraties in PM_{2.5}

De interventie Lucht Zuiveren had een meetbaar effect op de I/O ratio in de klaslokalen. Gemiddeld over een ganse week, werd de I/O ratio van PM_{2.5} in de klaslokalen gereduceerd tot 58 ± 19 % van de I/O ratio voor de interventie. In deze beperkte steekproef was ook te zien dat het effect van het gebruik van een luchtzuiveraar meer uitgesproken is in klaslokalen die initieel een hogere I/O ratio hadden. Het effect van de interventie bleek in deze gevalstudie ook duidelijker voor de kleinere PM-fracties dan voor de grotere PM₁₀-fractie. Luchtzuiveraars, met een capaciteit aangepast aan het volume van een gemiddeld klaslokaal, werden geselecteerd voor deze nevenstudie. Hierbij dient opgemerkt te worden dat geen informatie ter beschikking is over een eventuele verzadiging van de filter.

Bodemstofelementen kwamen telkens in hogere (absolute) concentraties voor in PM_{2.5} in de klaslokalen dan in PM_{2.5} op de speelplaats. Zo kwamen de elementen aluminium, barium, ijzer, mangaan en titaan telkens in hogere concentraties in de klaslokalen voor ten opzichte van buiten. We schreven dit effect toe aan resuspensie van stof in de klaslokalen, ten gevolge van de aanwezigheid van leerlingen in de klas. De zware metalen daarentegen, zoals arseen, cadmium, chroom, cobalt of vanadium kwamen zowel in de binnen- als in de buitenlucht voor in concentraties lager dan de detectielimiet.

De ademhalingsgezondheid van leerlingen in BiBa

Zowel voor de nevenstudie 'Lekker Fris' als bij de studie naar het effect van het luchtzuiveren werd geen significant verschil waargenomen in eNO-waarden voor en na de campagne. In deze dataset stegen de uitgeademde NO-niveaus in beperkte mate met toenemende concentratie van PM_{2.5}, tetrachlooretheen en TVOS in de klasruimte.

De samenstelling van TVOS

Onderzoek naar de samenstelling van TVOS wees uit dat in de binnenlucht componenten voorkomen die niet in de buitenlucht aangetroffen worden, of daar slechts in erg lage concentraties voorkomen. Voorbeelden zijn onder meer d-limoneen, cyclohexeen of hexaan. Andersom, werden weinig tot geen componenten in de buitenlucht aangetroffen die niet voorkwamen in de binnenlucht. De variatie aan TVOS-componenten in de binnenlucht is aanzienlijk, sommige componenten komen slechts voor in één of enkele klaslokalen, zoals α -pineen, menthol of eucaliptol. d-Limoneen levert de hoogste gemiddelde procentuele bijdrage tot TVOS in de onderzochte stalen.

Beleidsaanbevelingen

Gezien de invloed van ventilatie op de algemene binnenluchtkwaliteit in de klaslokalen, en de ondermaatse luchtverversing in de meeste BiBa-klassen, zijn een aantal aanbevelingen m.b.t. ventilatie aan de orde. Voor nieuwbouwscholen is de installatie van een mechanisch ventilatiesysteem een goede maatregel voor het bekomen van een gezonde binnenluchtomgeving. Bijzondere aandacht voor het onderhoud en de correcte werking is hierbij evenwel essentieel. Bij renovatie van oude schoolgebouwen is de plaatsing van ventilatieroosters in de raamprofielen een goede en relatief goedkope maatregel. Tevens is sensibilisatie m.b.t. het belang van ventilatie bij leerlingen, leerkrachten en directie een effectief beleidsinstrument.

De reductie van binnenbronnen die bijdragen tot binnenluchtverontreiniging is een tweede speerpunt in de beleidsmaatregelen. Concrete maatregelen zijn bvb. correcte dosering en keuze van onderhoudsproducten, keuze voor laag-emitterend meubilair en bouwmaterialen bij nieuwbouw of renovatie,...

Het opnemen van binnenluchtkwaliteit in beleidsplannen van scholen en/of inspectierapporten is tevens een maatregel die kan genomen worden voor het verbeteren van de binnenluchtkwaliteit in klaslokalen.

INHOUD

Samenvatting	I
Inhoud	V
Lijst van afkortingen	VII
Hoofdstuk 1 Inleiding	1
Hoofdstuk 2 Invloed van buitenmilieu, ventilatie en binnenbronnen op binnenmilieu in scholen	2
2.1 Voorkomen van pollutanten in binnen-en buitenlucht in de 90 BiBa-scholen	2
2.2 Identificeren beïnvloedende factoren	4
2.3 Invloed van het buitenmilieu op de luchtkwaliteit in het binnenmilieu in de klassen	4
2.3.1 Welke is de bijdrage van het buitenmilieu op totale binnenluchtconcentraties?	4
2.3.2 Welke is de invloed van nabije verkeerswegen op binnenluchtkwaliteit	11
2.3.3 Is er een verschil tussen de binnenluchtkwaliteit in landelijke en stedelijke omgeving?	12
2.4 Invloed van ventilatie op de luchtkwaliteit in het binnenmilieu in de klassen	14
2.4.1 Toetsing aan wettelijke eisen, bestaande normen en richtwaardes.	14
2.4.2 Worden de beschikbare ventilatievoorzieningen gebruikt?	18
2.4.3 gebruik van ventilatievoorzieningen: invloed op ventilatievoud en CO ₂ concentraties in klaslokalen	19
2.4.4 Is er een overeenstemming tussen de subjectieve beleving van de klasomgeving en de meetwaarden?	26
2.4.5 Welke is de invloed van (het type) ventilatie op binnenluchtkwaliteit.	27
2.5 Invloed van klasinrichting en binnenbronnen op de luchtkwaliteit in het binnenmilieu in de klassen	29
2.5.1 PM2.5	29
2.5.2 Aldehydes	29
2.5.3 MTBE, benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen	30
2.5.4 Tetrachlooretheen en 1,2,4-trimethylbenzeen	30
2.5.5 TVOS	31
2.5.6 Conclusie	31
2.6 Verklaring van de variatie van binnenluchtkwaliteit in de BiBa-klaslokalen aan de hand van geïdentificeerde factoren	32
Hoofdstuk 3 Data-Interpretatie: toetsing concentraties aan normen en blootstellingscriteria	34
3.1 Toetsing aan bestaande normen, richtlijnen en blootstellingscriteria	34
3.1.1 Toetsing t.o.v. Vlaams BinnenMilieuBesluit	34
3.1.2 Toetsing aan internationale normen en blootstellingscriteria	37
3.1.3 Besluit	42

3.2	<i>Aandeel blootstelling in school t.o.v. totale blootstelling</i>	43
3.3	<i>Risicoprofiel</i>	45
Hoofdstuk 4	Nevenstudies: schimmelvorming, "Lekker Fris" campagne en effect van Luchtzuiveraar, en samenstelling TVOS	47
4.1	<i>Nevenstudie 1: Schimmelvorming</i>	47
4.1.1	<i>Relatie tussen aanwezigheid van schimmel, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtverversing</i>	47
4.1.2	<i>Relatie tussen schimmelvorming en ouderdom school, beglazing en verwarming</i>	49
4.2	<i>Nevenstudie 2: Effect van interventie 'Lekker Fris'</i>	51
4.3	<i>Nevenstudie 3: Effect van interventie 'lucht zuiveren'</i>	52
4.3.1	<i>Effect van 'Lucht Zuiveren' PM_{2,5} in klaslokalen</i>	52
4.3.2	<i>Effect van 'Lucht Zuiveren' op de samenstelling van PM in klaslokalen</i>	55
4.4	<i>Nevenstudies 2 en 3: De biomerker uitgedemde NO (eNO)</i>	57
4.5	<i>Nevenstudie 4: Onderzoek naar de samenstelling van TVOS in een beperkt aantal scholen</i>	60
4.5.1	<i>Werkpakket A</i>	60
4.6	<i>Werkpakket B: Identificatieanalyse</i>	61
Hoofdstuk 5	Beleidsaanbevelingen	66
5.1	<i>Algemene aanbevelingen binnenluchtkwaliteit in scholen</i>	66
5.2	<i>Beleidsaanbevelingen m.b.t. ventilatie</i>	67
5.2.1	<i>Algemeen:</i>	67
5.3	<i>Beleidsaanbevelingen m.b.t. buitenlucht</i>	68
5.4	<i>Praktische tips m.b.t. binnenbronnen</i>	68
5.5	<i>Beleidsaanbevelingen m.b.t. schimmels in klaslokalen</i>	69
5.6	<i>Aanbevelingen tot verder onderzoek</i>	69
Literatuurlijst		71
Bijlage A: Samenstelling tVOS in een selectie van 10 scholen		73

LIJST VAN AFKORTINGEN

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BiBa	Binnenlucht in Basisscholen
BTEX	Benzeen, toluen, ethylbenzeen xylenen
eNO	Uitgeademde NO
I	Binnenluchtconcentratie (indoor)
IAQ	Indoor Air Quality
I/O	Indoor/outdoor ratio
LA	Landelijke achtergrond
LCI	Lowest Concentration of Interest
MBTE	Methyl-tert-butyl-ether
O	Buitenluchtconcentratie (outdoor)
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment
OEL	Occupational Exposure Limit
ppb	Parts per billion
ppm	Parts per million
RfC	Reference Concentration for inhalation
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Nederland)
SA	Stedelijke achtergrond
SC	Stedelijk centrum
STDEV	Standaarddeviatie
(T)VOS	(Totale) Vluchtige organische stoffen
US-EPA	United States – Environmental Protection Agency
WGO (WHO)	Wereldgezondheidsorganisatie (World Health Organization)

HOOFDSTUK 1 INLEIDING

Deze rapportering beschrijft **WP3: Interpretatie, Beleidsaanbevelingen en Remediëringsvoorstellen**. Hierbij worden de resultaten van de meetcampagne geïnterpreteerd in functie van bestaande normen en blootstellingscriteria en verder vertaald naar beleidsaanbevelingen, concrete tips, voorstellen voor sensibilisatie en remediëring.

We onderscheiden enerzijds de hoofdstudie, gebaseerd op de dataset van 30 scholen, met metingen telkens in 3 klaslokalen. De hoofdstudie stelt ons in staat om de hoofddoelstellingen te realiseren, namelijk bepalen van de invloed van de buitenlucht, de ventilatie en de klasinrichting op de binnenluchtconcentratie in scholen.

Anderzijds zijn er 4 nevenstudies uitgevoerd, die ons meer inzicht kunnen verschaffen in een aantal onderzoeksvragen:

- nevenstudie 1: inventarisatie van schimmelvorming in de klassen
- nevenstudie 2: effect van de sensibilisatiecampagne "Lekker Fris" (4 scholen met telkens 1 klas)
- nevenstudie 3: effect van luchtzuiveraar (3 scholen met telkens 3 klassen)
- nevenstudie 4: samenstelling TVOS in een beperkt aantal scholen

HOOFDSTUK 2 INVLOED VAN BUITENMILIEU, VENTILATIE EN BINNENBRONNEN OP BINNENMILIEU IN SCHOLEN

2.1 Voorkomen van pollutanten in binnen- en buitenlucht in de 90 BiBa-scholen

Een overzicht van de binnen- en buitenluchtconcentraties van vluchtige organische stoffen, aldehydes en fijn stof voor de 30 BiBa-scholen wordt weergegeven in Tabel 1. De concentraties zijn weekgemiddelde concentraties, gemeten over 5 opeenvolgende schooldagen (van maandag tot vrijdag). In de tekst verder in dit rapport wordt met de benaming 'weekgemiddelde' steeds de gemiddelde concentraties van de 5-daagse meetperiode bedoeld. Voor de uitgebreide analyserapporten van alle individuele scholen en klaslokalen verwijzen we naar WP 2 van deze studie.

Tabel 1: concentraties vluchtige organische stoffen, aldehydes en fijn stof (PM_{2.5}) in de binnenlucht (3 klaslokalen) en buitenlucht (straatkant en speelplaats) van de 30 BiBa-scholen. Concentraties zijn week(nl. 5-daags) gemiddelde concentraties.

eenheden	N	Mediaan µg/m ³	gemiddeld µg/m ³	Stdev µg/m ³	min µg/m ³	max µg/m ³
binnenlucht in klaslokalen						
MTBE	90	0.23	0.36	0.46	0.02	3.2
Benzeen	90	1.12	1.41	0.88	0.44	4.0
Tolueen	90	3.25	4.49	4.82	0.91	40.5
Tetrachlooretheen	90	0.20	0.37	0.44	0.06	2.2
Ethylbenzeen	90	0.75	1.74	4.36	0.17	36
Xylenen	90	3.18	7.67	22.3	0.81	193
1,2,4-Trimethylbenzeen	90	1.21	5.30	19.9	0.34	178
TVOS	90	201	238	164	18	1126
Formaldehyde	90	23	26	13	6.3	71
Acetaldehyde	90	5.14	5.40	1.84	2.2	12
Total andere aldehydes	90	31	33	15	8.7	78
PM 2.5	88	25	29	15	6.6	80
buitenlucht straatkant						
MTBE	30	0.20	0.29	0.25	0.02	1.14
Benzeen	30	1.35	1.39	0.73	0.53	3.63
Tolueen	30	2.42	2.67	1.66	0.76	8.10
Tetrachlooretheen	30	0.16	0.24	0.21	0.05	0.80
Ethylbenzeen	30	0.45	0.50	0.31	0.12	1.32
Xylenen	30	1.91	2.28	1.59	0.44	6.77
1,2,4-Trimethylbenzeen	30	0.61	0.67	0.35	0.17	1.66
TVOS	30	153	145	56	22	259
Formaldehyde	30	5.1	7.9	8.5	3.2	41.6
Acetaldehyde	30	1.8	1.8	0.7	0.9	4.6
Total andere aldehydes	30	6.9	11.1	9.5	4.0	43.2
buitenlucht speelplaats						
MTBE	30	0.17	0.25	0.26	0.02	1.20
Benzeen	30	1.16	1.31	0.76	0.48	3.57
Tolueen	30	2.11	2.36	1.67	0.68	8.42
Tetrachlooretheen	30	0.17	0.24	0.21	0.06	0.76
Ethylbenzeen	30	0.35	0.45	0.32	0.13	1.19

Xylenen	30	1.33	1.97	1.52	0.48	6.36
1,2,4-Trimethylbenzeen	30	0.43	0.51	0.30	0.19	1.57
TVOS	30	149	148	52	21	264
Formaldehyde	30	4.7	9.5	17.8	0.9	100
Acetaldehyde	30	1.7	1.9	0.7	1.1	3.4
totaal andere aldehydes	30	6.3	12.6	18.2	2.0	103
PM 2.5*	26	23.5	23.2	13.9	4.1	59.5

* fijn stof in de buitenlucht werd enkel gemeten op de speelplaats, er werden geen fijn stof metingen uitgevoerd aan de straatkant

Voor sommige pollutanten is er een enorme spreiding in binnenluchtconcentraties tussen de 90 BiBa-klaslokalen. Voor MTBE, ethylbenzeen, xylenen en 1,2,4-trimethylbenzeen bedraagt het verschil tussen de laagste en hoogste concentratie meer dan een factor 100. Voor benzeen, formaldehyde, acetaldehyde, totaal andere aldehydes is de spreiding tussen de verschillende klaslokalen beperkter: het verschil tussen de hoogste en laagste concentratie bedraagt ongeveer factor 10.

De spreiding in buitenluchtconcentraties tussen de 30 BiBa-scholen is minder uitgesproken dan de spreiding in binnenluchtconcentraties. Met uitzondering van MTBE, ligt de variatie tussen hoogste en laagste buitenluchtconcentratie in de grootte-orde van 10.

De grotere spreiding in binnenluchtconcentraties in vergelijking met buitenluchtconcentraties is waarschijnlijk te verklaren door de bijkomende variatie in karakteristieken van de klaslokalen (verschillen in emissiebronnen en -sterktes, ventilatiegedrag, adsorptiecapaciteit,...). De invloed van deze factoren op binnenluchtconcentraties in klaslokalen wordt onderzocht in 2.4 en 2.5.

De oorzaak van de hoge formaldehyde- en totaal aldehydeconcentraties in de buitenlucht in een aantal scholen (tot 100 µg/m³) kon niet met zekerheid achterhaald worden. Op basis van literatuurbedata vermoeden we wel dat secundaire fotochemische reacties, tengevolge van oxidatieve degradatie van reactieve VOS onder invloed van OH-radicalen of ozon, een belangrijke rol kunnen spelen in deze hoge formaldehydeconcentraties (Possanzini *et al.*, 2002). Formaldehyde in buitenlucht kan ook het gevolg zijn van emissies uit verkeer. Dit zou echter ook weerspiegeld moeten worden in hoge concentraties van andere verkeersgerelateerde pollutanten (MTBE en BTEX). Dit was niet het geval, bijgevolg kunnen we besluiten dat de bijdrage uit emissies van verkeer beperkt is voor deze hoge formaldehydeconcentraties. Industriële bronnen of de invloed van binnenomgeving op de buitenomgeving kunnen ook bijdragen tot hoge formaldehyde concentraties, hoewel in een Nederlandse studie deze factoren minder belangrijk bleken te zijn dan primaire emissies uit verkeer en secundaire fotochemische reacties (Mennen *et al.*, 1997).

Concentraties op de speelplaats waren voor de meeste scholen heel gelijkaardig aan concentraties aan de straatkant. Voor de verkeersgerelateerde pollutanten (MTBE, benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen) lag de concentratie aan de straatkant typisch (d.w.z. mediane waarde) 10 % hoger dan de concentratie op de speelplaats. Er zijn evenwel een aantal uitschieters waarbij de concentratie aan de straatkant lager was dan op de speelplaats, of waar de concentratie aan de straatkant meer dan 50 % hoger lag dan de speelplaats. Een exacte oorzaak voor deze uitschieters kon op basis van de verzamelde informatie niet gevonden worden. In sommige van deze scholen kunnen de relatief grote afstand tussen de speelplaats en de straatkant, en het feit dat de speelplaats sterk afgesloten was van de straatkant, de verschillen in concentraties op de speelplaats versus aan de straatkant verklaren. Evenwel is er een aantal scholen waarbij vrij grote verschillen in concentraties aan de straatkant in vergelijking met de speelplaats gemeten zijn, ondanks de kleine afstand tussen de speelplaats en de straatkant. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn het verschil in oriëntatie en windrichting van de speelplaats ten opzichte van verkeer (straatkant en/of verder

afgelegen drukker verkeer). Op basis van de verzamelde gegevens kon deze hypothese echter niet geverifieerd worden. Om deze verklaring te verifiëren zou een meer gedetailleerde meetopzet met meerdere meetpunten in functie van afstand t.o.v. straatkant nodig zijn, alsook waarnemingen m.b.t. overheersende windrichting tijdens de meetcampagne en achtergrondconcentraties.

Voor de niet-verkeersgerelateerde pollutanten bedraagt de concentratieverhouding tussen straatkant en de speelplaats ongeveer 1.0 (met uitzondering van 1,2,4-trimethylbenzeen). Ook hier zijn er in de dataset evenwel uitschieters naar onder en naar boven.

2.2 Identificeren beïnvloedende factoren

Om de invloedsfactoren van elk van de pollutanten te bepalen werd de methodologie van regressiebomen toegepast. Met deze niet-parametrische methode is het mogelijk een stapsgewijze classificatie te doen om relaties, structuren en interacties te ontdekken tussen de invloedsfactoren onderling en met de verschillende pollutanten. Voor elke pollutant werd een regressieboom ontwikkeld. Deze techniek werd in deze studie gebruikt als een soort van explorerende methode om mogelijke confounders (beïnvloedende factoren) voor de pollutantconcentratie uit de algemene kenmerken van het klaslokaal te identificeren.

De bedoeling van de regressiebomenanalyse was om in latere stappen (zie 2.3 - 2.5) de geïdentificeerde confounders in een multivariaat regressiemodel mee te nemen, zodat de variatie verklaarbaar door confounder niet foutief zou toegewezen worden aan de te onderzoeken variabele. Bijvoorbeeld, indien uit de regressieboom blijkt dat het gebruik van vloerreiniging een invloed heeft op TVOS-concentraties, dan dient daar rekening mee gehouden te worden indien de hoofdvraag naar de invloed van ventilatie op TVOS-concentratie onderzocht wordt.

Aan de hand van de regressiebomen werden er confounders gevonden. Het gebruik van de confounders resulteerde echter in multivariate modellen die niet significant waren. Dit is logisch gezien de grootte van de dataset, het aantal confounders en hun variabiliteit in de dataset. Bijgevolg werden toch de resultaten van de univariate modellen gebruikt.

2.3 Invloed van het buitenmilieu op de luchtkwaliteit in het binnenmilieu in de klassen

2.3.1 Welke is de bijdrage van het buitenmilieu op totale binnenluchtconcentraties?

Univariate gemengde regressie met weekgemiddelde binnenluchtconcentratie als responsfactor en weekgemiddelde buitenluchtconcentraties (speelplaats) als verklarende factor toonden aan dat er voor pollutanten die doorgaans belangrijke buitenbronnen hebben (MTBE, benzeen, toluen, ethylbenzeen, xyleen, $PM_{2.5}$, TVOS) een significante ($P < 0.05$) relatie is tussen binnen- en buitenluchtconcentraties (Tabel 2). De univariate regressies werden uitgevoerd aan de hand van het softwarepakket SAS. Data werden logaritmisch (\ln) getransformeerd om een normale verdeling van de dataset te bekomen.

Ook voor een aantal pollutanten waarvan gekend is dat ze vooral geëmitteerd worden door binnenbronnen (formaldehyde, acetaldehydes, totaal aldehydes, en

tetrachlooretheen) vinden we een relatie tussen weekgemiddelde binnen- en buitenluchtconcentraties in de BiBa-scholen. Een verklaring hiervoor is dat er naast binnenbronnen ook buitenbronnen voor deze stoffen zijn. Verkeer en fotochemische reacties zijn gekende bronnen voor aldehydes in buitenlucht (Mennen *et al.*, 1997; Possanzini *et al.*, 2002). Bijgevolg is het logisch dat de infiltratie van buiten naar binnen zorgt voor een bijdrage van het buitenmilieu naar binnenmilieu. Voor tetrachlooretheen zijn emissies uit industrie (gebruik als ontvetter in metaalindustrie en in chemische textielreiniging) de belangrijkste bronnen voor buitenlucht (Guo *et al.*, 2004).

Tabel 2: univariate regressiemodellen met weekgemiddelde binnenluchtconcentratie als responsfactor en weekgemiddelde buitenluchtconcentraties (speelplaats) als verklarende factor.

	significantie model ?	intercept	helling van ln binnenlucht concentratie
ln PM2.5 binnenlucht	P<0.0001	2.03	0.43
ln MTBE	P<0.0001	-0.31	0.62
ln benzeen	P<0.0001	0.035	1.02
ln toluen	P<0.0001	0.86	0.59
ln ethylbenzeen	P<0.05	0.36	0.49
ln xylenen	P<0.01	1.08	0.51
ln TVOS	P<0.05	3.32	0.4
ln formaldehyde	P<0.0001	2.60	0.29
ln acetaldehyde	P<0.01	1.38	0.41
ln total aldehydes	P<0.0001	2.60	0.37
ln tetrachlooretheen	P<0.0001	0.29	1.02
ln trimethylbenzeen	N.S. (P>0.05)	-	-

BTEX en MTBE

In onderstaande figuur (Figuur 12) zijn de weekgemiddelde binnenluchtconcentraties (I) van MBTE, benzeen, toluen, ethylbenzeen en xylenen in de 90 klassen uitgezet ten opzichte van de respectievelijke weekgemiddelde buitenluchtconcentratie (O) op de speelplaats. Deze pollutanten hebben immers een belangrijke buitenbron (verkeer). Merk op dat in deze figuren enkele outliers zijn weggelaten ter verduidelijking van de figuren. Voor MTBE zijn er sterk verhoogde MTBE-concentraties in 3 klassen van éénzelfde school weggelaten (10 x hogere MTBE-concentratie in klaslokalen dan MTBE concentratie op de speelplaats en straat). Een verklaring voor deze veel hogere concentraties MBTE in de klaslokalen ten opzichte van de buitenlucht kon niet gevonden worden. Een meetfout is weinig waarschijnlijk als verklaring, vermits er systematisch in de drie klassen van dezelfde school hoge MBTE-concentraties gevonden werden (1.42 – 3.22 µg/m³). Meetfouten op buitenluchtconcentraties (0.19 – 0.20 µg/m²) in deze school zijn ook weinig waarschijnlijk aangezien er een goede overeenkomst was tussen concentraties op de speelplaats en aan de straatkant, en de concentraties in buitenlucht van de school gelijkaardig waren aan de buitenluchtconcentraties van de meeste andere scholen.

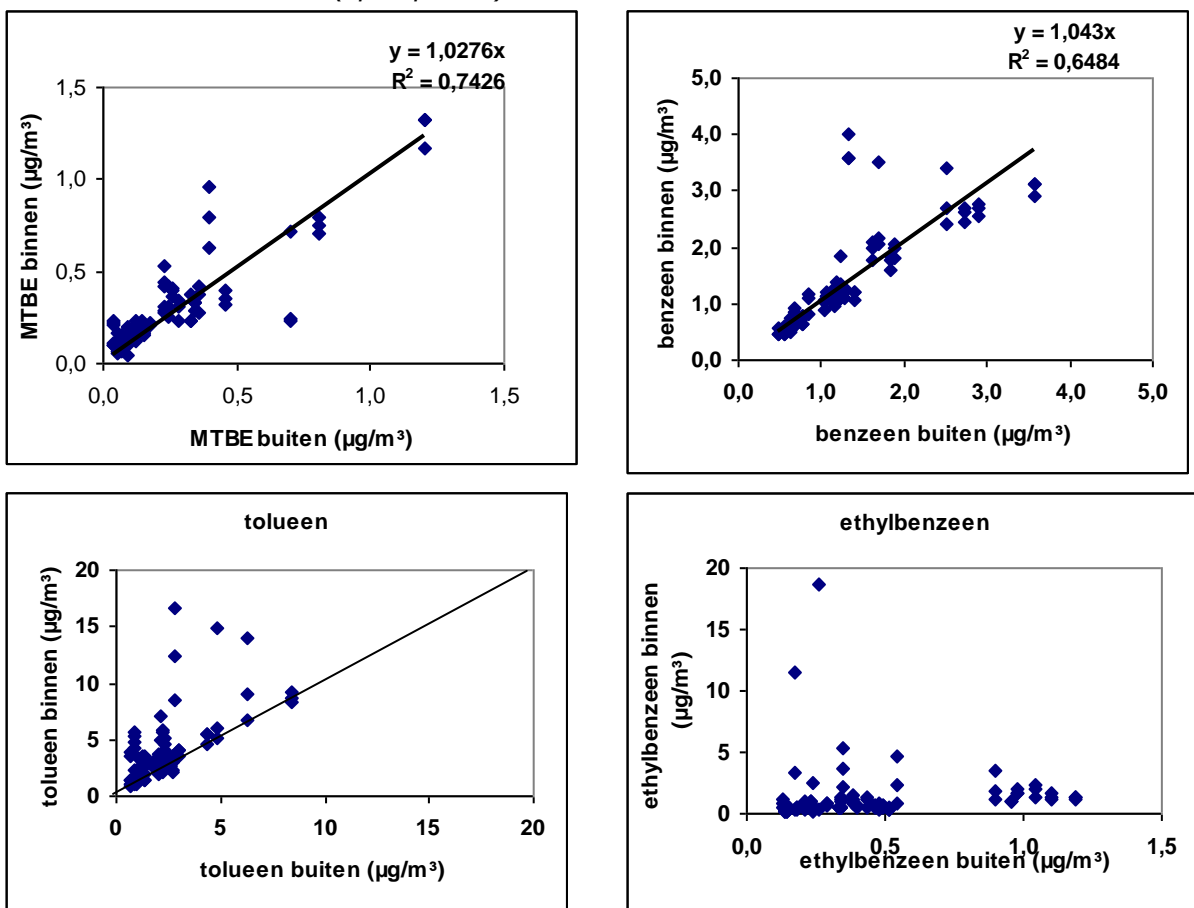
Voor toluen en ethylbenzeen werd telkens een outlier uit 1 klas weggelaten (toluen: 45 µg/m³ en ethylbenzeen: 35 µg/m³) om andere datapunten in de grafieken duidelijk te houden.

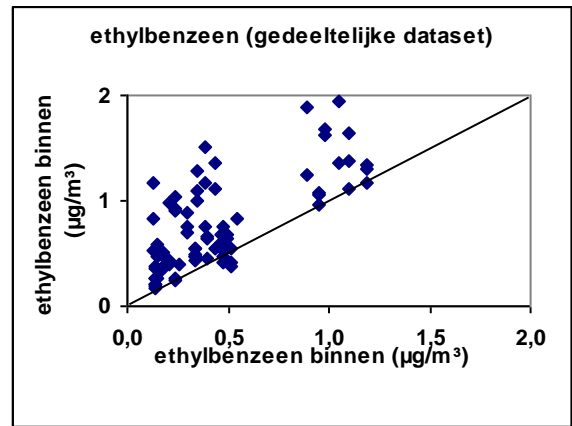
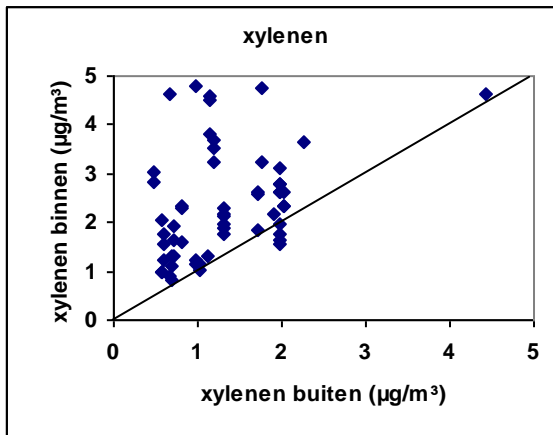
Opvallend zijn de sterke relaties tussen binnen- en buitenluchtconcentraties voor MBTE en benzeen. Deze 1-1 relaties tussen binnen- en buitenluchtconcentraties bevestigen dat voor benzeen en MTBE het buitenmilieu de belangrijkste bron is voor binnenluchtconcentraties in klaslokalen. Er kon geen verklaring gevonden worden voor de 4 punten afwijkend van de 1-1 lijn voor MTBE, noch voor de 3 punten afwijkend van de 1-1 lijn voor benzeen.

De aanwezigheid van deze 1-1 relatie bevestigt dat de gebouwschil geen barrière of bescherming vormt tegen infiltratie van pollutanten in de buitenlucht naar de binnenlucht.

Merk op dat er een aantal klassen boven deze 1-1 lijn vallen. In deze enkele klassen zijn er mogelijks wel binnenbronnen van benzeen, al kan ook een hogere verblijfstijd in de binnenlucht van benzeen afkomstig uit het buitenmilieu niet volledig uitgesloten worden als verklaring van deze hoge I/O ratio's. Andere factoren dan binnenbronnen beïnvloeden immers ook de I/O ratio: bvb. het verschil in gedrag van stoffen binnenshuis in vergelijking met gedrag van stoffen buitenshuis, verwijderingsprocessen als adsorptie of depositie op materialen binnenshuis, andere omgevingscondities buitenshuis versus binnenshuis (windsnelheden, temperatuur,...) (Bertoni *et al.*, 2002).

Figuur 12: binnen - buitenrelaties (I/O) voor MTBE, benzeen, toluen, ethylbenzeen* en xylenen, gebaseerd op binnenluchtconcentraties in 30 scholen x 3 klassen en buitenluchtconcentraties (speelplaats).





* Voor ethylbenzeen wordt enerzijds de volledige dataset weergegeven voor de volledigheid van de data, en anderzijds een gedeeltelijke dataset waarbij de binnenwaardes hoger dan $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ weggelaten zijn, en dit om de aanwezigheid van de 1-1 lijn als ondergrens in de dataset visueel zichtbaar te maken.

De binnen-buitenlucht relaties voor toluene, ethylbenzeen en xylenen zijn minder éénduidig. Twee aspecten vallen hier op: 1) de 1-1 lijn vormt de ondergrens van de puntenwolk en 2) een groot deel van data liggen sterk boven de 1-1 lijn.

Het feit dat deze 1-1 lijn de ondergrens vormt, suggereert dat net als voor benzeen en MTBE ook deze pollutanten efficiënt, vrij volledig van het buitenmilieu naar binnenmilieu migreren, m.a.w. er is geen filter of barrière-effect van de gebouwschil voor deze pollutanten. Dit toont het belang van buitenluchtconcentraties voor binnenluchtkwaliteit voor deze pollutanten, hoewel het belang van buiten voor de binnenluchtkwaliteit kleiner kan worden naarmate binnenbronnen een belangrijkere rol spelen. Voor de punten boven de 1-1 lijn ($I/O > 1$) zijn er immers waarschijnlijk wel belangrijke binnenbronnen van toluene, ethylbenzeen en xylenen, al kan ook hier een hogere verblijfstijd in de binnenlucht van deze stoffen afkomstig uit het buitenmilieu niet volledig uitgesloten worden als verklaring van deze hoge I/O ratio's (zie hoger). Deze reden werd ook aangehaald voor benzeen, maar de mate waarin deze processen een invloed hebben op de I/O ratio kan verschillen van pollutant tot pollutant (Bertoni *et al.*, 2002).

Samengevat, voor benzeen en MTBE zijn buitenbronnen dus meer dan waarschijnlijk de belangrijkste bron van binnenluchtverontreiniging in de BiBa-klaslokalen. Voor toluene, ethylbenzeen en xylenen is er ook een invloed van de buitenluchtkwaliteit voor de binnenluchtkwaliteit, maar spelen in veel klaslokalen waarschijnlijk binnenbronnen een grotere rol dan de buitenluchtkwaliteit en/of is de I/O ratio hoger dan één door tragere verwijderingsmechanismen in binnenlucht dan in buitenlucht. Louter op basis van de I/O ratio's kan geen onderscheid gemaakt worden tussen deze 2 factoren. In literatuur wordt voornamelijk het belang van de buitenlucht voor de binnenluchtconcentratie van BTEX beschreven (Baek *et al.*, 1997, Kingham *et al.*, 2000, Fischer *et al.*, 2000; Skov *et al.*, 2001) en wordt er volgens Bertoni *et al.* (2002) te weinig aandacht besteed aan binnenbronnen. Kim *et al.* (2001) hebben wel het belang van binnenbronnen voor benzeen, toluene, ethylbenzeen en xylenen aangetoond, maar in hun studie lagen de I/O verhoudingen veel hoger dan in de BiBa-studie, en was er geen relatie tussen binnen- en buitenluchtconcentraties. Kim *et al.* (2001) besloten dat in slecht geventileerde woningen, emissies uit binnenbronnen een belangrijkere invloed kunnen hebben op de binnenluchtkwaliteit dan concentraties in de buitenlucht. De besluiten van de studie van Kim *et al.* (2001) zijn niet zonder meer extrapolbaar naar andere condities en omgevingen zoals scholen. Andere studies hebben enkel voor toluene het groter belang van binnenbronnen t.o.v. buitenbronnen aangetoond (Ilgen *et al.*, 2001b en 2001c).

De I/O ratio's voor MTBE in de scholen zijn gelijkaardig aan de I/O ratio's in de woningen van de FLIES-studie (mediane I/O = 1.27; P25 - P75: 1.05-1.77), hoewel er in de scholen minder hoge uitschieters zijn. Deze uitschieters in woningen waren te verklaren door woningen waarin wagens binnenshuis geparkeerd in een garage een bron van MTBE zijn. In een Amerikaanse studie (Dodson *et al.*, 2007) bedroeg de mediane MTBE-concentratie in de binnenlucht in scholen $0.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de mediane MTBE-concentratie in de binnenlucht in woningen $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en de mediane MTBE-concentratie in de buitenlucht (residentieel) $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hieruit schatten we dat de I/O ratio voor MTBE in de scholen in de studie van Dodson *et al.* (2007) iets lager dan 1 lag. In een studie uitgevoerd in Korea in 120 woningen en 56 appartementen was er geen significant verschil tussen MTBE in de binnenlucht in vergelijking met de buitenlucht. Voor andere VOS in de studie van Jo *et al.* (2003) lag de binnenluchtconcentratie daarentegen wel hoger dan in de buitenlucht.

In de studies van Dodson *et al.* (2007) en Jo *et al.* (2003) was de I/O ratio van MBTE iets lager dan in de BiBa-studie. Verschillende condities m.b.t. klimatologische omstandigheden, gebouwconstructie en ventilatie en/of aircovoorzieningen spelen waarschijnlijk een rol in de verschillen tussen de resultaten van de BiBa-studie en de verschillende studies uit de literatuur. Bijvoorbeeld de studie van Dodson *et al.* (2007) liep over het winter-en zomer seizoen, terwijl de BiBa-studie enkel gedurende de winterperiode liep.

De I/O ratio's voor benzeen, toluen, ethylbenzeen en xylenen liggen iets lager in de BiBa-scholen dan in de woningen van de FLIES studie. In de woningen bedroegen de mediane I/O ratio's 1.30 (benzeen), 2.7 (tolueen), 2.0 (ethylbenzeen) en 2.0 (xylenen). Bertoni *et al.* (2002) vond dezelfde trend van hogere I/O ratio's voor deze pollutanten in woningen t.o.v. scholen, en verklaarde dit door het feit dat in woningen meer binnenbronnen van deze pollutanten aanwezig zijn dan in scholen. In woningen is de oppervlakte/volume ratio immers groter dan in scholen door de grotere aanwezigheid van meubilair, tapijten, gordijnen,... en dus indien enkel het adsorptie-effect een rol zou spelen in woningen (geen binnenbronnen) zou de I/O ratio zelfs lager liggen in woningen dan in scholen, hetgeen niet uit de vergelijking van de FLIES- en BiBa-studie blijkt.

Hoewel de invloed van binnenbronnen op de binnenluchtkwaliteit moeilijk te onderscheiden is van andere beïnvloedende factoren (adsorptie op materialen, hogere verblijfstijd van pollutanten in het binnenmilieu i.v.m. buiten), wijst deze laatste vergelijking er toch op dat ook in de meeste scholen voor xylenen, ethylbenzeen en toluen binnenbronnen minder belangrijk zijn dan buitenbronnen voor binnenluchtkwaliteit in scholen. Er kan echter niet uitgesloten worden dat in een aantal scholen (punten sterk boven de 1-1 lijn in Figuur 12) er ook belangrijke binnenbronnen kunnen zijn voor toluen, xylenen en methylbenzeen.

TVOS

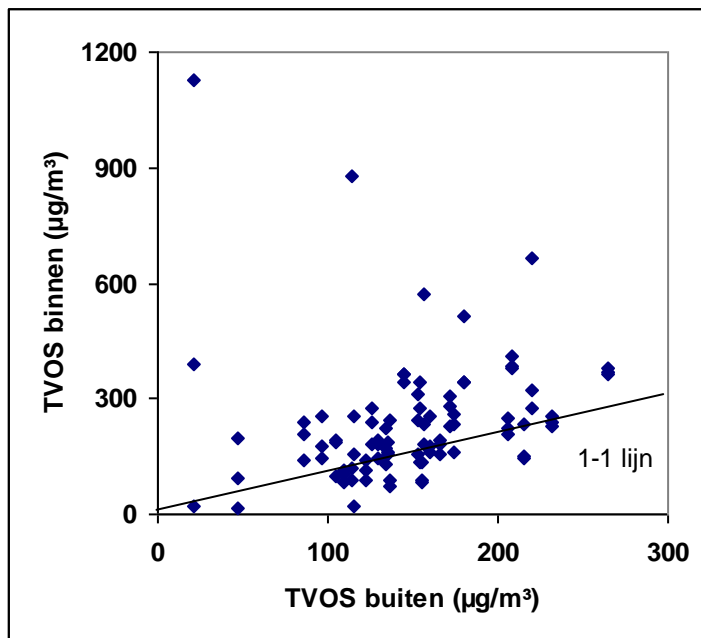
TVOS-concentraties in binnenlucht in de klaslokalen liggen gemiddeld ongeveer 2 keer hoger dan de concentraties in de buitenlucht (speelplaats). De spreiding in TVOS-binnenluchtconcentraties in de klaslokalen is veel groter (min -max: 18 - 1126 mg/m^3) dan de spreiding in de buitenluchtconcentraties (min - max: 20 -264 mg/m^3).

Merkwaardig genoeg is het klaslokaal met de hoogste TVOS-concentratie ($1126 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in de binnenlucht net in de school met de laagste TVOS-buitenluchtconcentratie (21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en I/O: 53). In dezelfde school was er in een andere klaslokaal, gelegen in een ander gebouw, daarentegen wel een heel lage TVOS-concentratie (23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). De identificatie van de samenstelling van TVOS in deze school verschaftte een gedeeltelijk inzicht in de mogelijke bron(nen) van TVOS in 2 van deze 3 klaslokalen van school 4 (zie nevenstudie 4 in hoofdstuk 4.5) Een combinatie van één of meerdere niet-gerapporteerde of niet-geïdentificeerde binnenbron(nen), en verkeersemisseries aan de

verluchtingskant van deze klaslokalen, is de meest plausible verklaring voor het grotere verschil tussen de TVOS-concentraties in de klaslokalen van school 4.

Desalniettemin is er een lichte trend te merken van stijgende TVOS-binnenluchtconcentraties bij stijgende TVOS-buitenluchtconcentraties (zie ook Tabel 2). Met andere woorden, ook voor TVOS speelt de buitenluchtconcentratie een zekere rol voor binnenluchtconcentraties, hoewel de rol van buitenlucht kan overschaduwd worden door binnenbronnen.

Figuur 13: binnen – buitenrelaties (I/O) voor TVOS, gebaseerd op binnenluchtconcentraties in 30 scholen x 3 klassen en buitenluchtconcentraties (speelplaats)



PM_{2.5}

De referentiemethode voor meten van PM_{2.5} (gravimetrische bepaling) werd zowel binnen in de klaslokalen (Harvard-type impactoren) als buiten (Partisol) gebruikt, om de vergelijking tussen binnen- en buitenlucht mogelijk te maken. Deze metingen resulteerden in 5 achtereenvolgende metingen van telkens 24-h gemiddelde PM_{2.5}-concentraties voor buiten, en weekgemiddelde metingen tijdens de lesuren (8u-16u) in de klaslokalen. Bijkomend werd in de klaslokalen de Grimm-monitor gebruikt om fijn stof profielen te meten in functie van de tijd; zo werden PM₁, PM_{2.5} en PM₁₀-profielen bepaald. De combinatie van de twee meettechnieken in klaslokalen, bood de mogelijkheid om de resultaten van de optische fijn stofmetingen met de Grimm-monitor om te rekenen naar absolute luchtconcentraties, en zodoende ook 24-h gemiddelde absolute PM_{2.5}-concentraties in de klaslokalen te berekenen.

Er is geen éénduidige relatie tussen 24-h gemiddelde PM_{2.5} in binnenlucht en 24-h gemiddelde PM_{2.5} in buitenlucht (zie Figuur 14).

Voor driekwart van de klassen ligt de 24-h PM_{2.5}-concentratie in binnenlucht hoger dan de 24-h gemiddelde PM_{2.5}-concentratie in buitenlucht. De mediane I/O PM_{2.5} ratio bedraagt 1.36, en de laagste en hoogste waardes respectievelijk 0.45 en 7.5. Deze hoogste I/O ratio komt voor bij een klas waar de buitenlucht PM_{2.5}-concentratie heel laag is (5.5 µg/m³). Dit betekent dat een goede buitenlucht kwaliteit m.b.t. PM_{2.5} geen garantie biedt voor een goede binnenlucht kwaliteit.

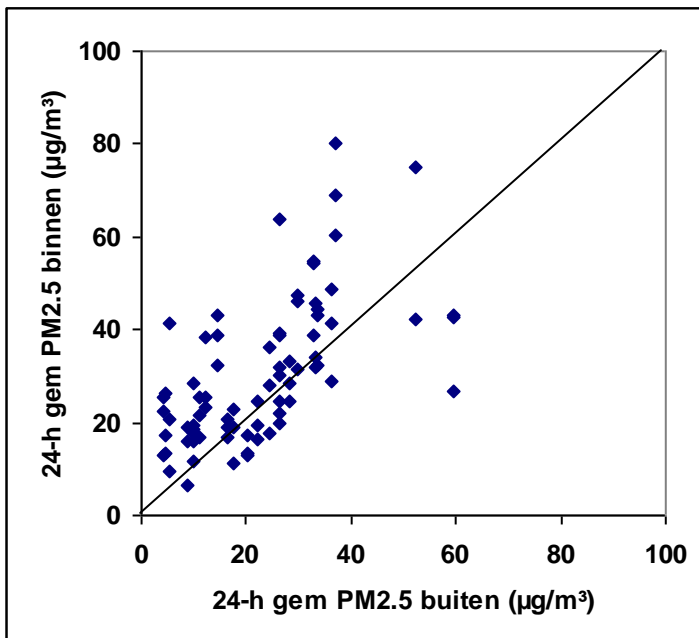
Ondanks de grote spreiding in de puntenwolk, valt op dat er weinig punten sterk onder de 1-1 lijn vallen. Het feit dat de ondergrens van de puntenwolk min of meer de 1 - 1 lijn volgt, betekent dat er wel degelijk een invloed is van buitenlucht PM_{2.5} op binnenlucht PM_{2.5}. Het feit dat de gebouwschil geen barrière vormt voor infiltratie van PM van buiten naar binnen werd ook in de literatuur beschreven (Thatcher et al., 1995).

De punten die sterk boven de 1-1 lijn liggen zijn waarschijnlijk te verklaren door de aanwezigheid van binnenbronnen voor PM_{2.5}, bovenop de bijdrage uit de buitenlucht. Het is zelfs waarschijnlijk dat de punten boven de 1-1 lijn niet van klassieke binnenbronnen voor PM (roken, verbrandingsprocessen) afkomstig zijn maar ten gevolge van resuspensie van neergezet stof (deels ook afkomstig van buiten) door fysieke activiteit van de kinderen in de klassen (Stranger et al., 2008; Thatcher et al., 1995).

Naast ventilatie zijn coagulatie tot grovere deeltjes en depositie op oppervlaktes verwijderingsmechanismen voor PM. Bovendien speelt de deeltjesgrootte een sterke rol in de verwijderingssnelheid van PM. Verschil in condities tussen binnen- en buitenomgeving spelen ook een rol in het verschil in concentraties PM in binnenlucht in vergelijking met buitenlucht.

Er dient opgemerkt te worden dat er tijdens de 24h of 8h sterkte variaties in PM_{2.5}-concentraties in klaslokalen optreden (zie WP2, figuur 13). Er kan echter niet nagegaan worden of deze pieken overeenstemmen met PM_{2.5}-pieken in buitenlucht vermits we voor PM_{2.5} in buitenlucht geen tijdsprofielen hebben gemeten.

Figuur 14: binnen-buitenrelatie (I/O) voor PM_{2.5} in 30 scholen (24-h gemiddelde PM_{2.5} concentraties – de volle lijn is de 1-1 lijn)



De I/O ratio's voor PM_{2.5} van de BiBa-scholen zijn in overeenstemming met een vorige studie in Antwerpse scholen (Stranger et al., 2007). In 27 Antwerpse scholen lagen de 12-h gemiddelde I/O PM_{2.5} ratio tussen 0.3 en 5.5, met gemiddelde waarden van 1.03 (vloerbekleding: tegels of linoleum) en 2.63 (vloerbekleding: tapijt) (Stranger et al., 2007). Sawant et al. (2004) rapporteerde daarentegen lagere I/O ratio's voor PM_{2.5} in scholen in Californië, nl. een mediane I/O ratio van 0.38. In de studie van Lui et al. (2004) bedroeg de mediane I/O PM_{2.5} ratio voor 7 klaslokalen 0.84.

De invloed van buitenlucht $PM_{2.5}$ op binnenlucht $PM_{2.5}$ werd ook bestudeerd in een aantal scholen in Duitsland (Fromme *et al.*, 2008). Op basis van de elementaire samenstelling van $PM_{2.5}$ in de binnen-en buitenlucht concludeerden Fromme *et al.* (2008) dat gemiddeld 43 % van de $PM_{2.5}$ -concentratie in de binnenlucht afkomstig is uit de buitenlucht.

Samengevat, voor $PM_{2.5}$ is de buitenlucht ook een belangrijke bron voor binnenlucht $PM_{2.5}$. Echter, in sommige scholen kunnen binnenbronnen (bvb. resuspensie door fysieke activiteit) dominant zijn in de binnenlucht $PM_{2.5}$.

2.3.2 Welke is de invloed van nabije verkeerswegen op binnenluchtkwaliteit

De invloed van de nabije verkeerswegen op binnenluchtconcentraties van typische verkeersgerelateerde pollutanten, nl. fijn stof, MTBE, benzeen, toluen, ethylbenzeen en xylenen werd onderzocht door de relatie te zoeken met een maat voor verkeersdrukke. Tevens werd nagegaan of de verkeersdrukke een effect had op de verdeling van deeltjesgrootte van fijn stof (ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ en ratio $PM_1/PM_{2.5}$). Verkeersgerelateerd fijn stof bestaat immers doorgaans uit deeltjes met een kleinere diameter dan stof ontstaan in de binnenomgeving. Stof ontstaan in de binnenomgeving in klaslokalen bestaat meestal uit resuspensie van grotere deeltjes.

MTBE heeft geen binnenbronnen en wordt zo goed als uitsluitend gebruikt als antiklop middel in benzine. Daarom kan de MTBE-concentratie in buitenlucht gebruikt worden als een merker voor verkeer. Nadeel evenwel is dat verkeersdrukke door dieselloertuigen niet gereflecteerd wordt in deze parameter voor verkeersdrukke. Er wordt dus aangenomen dat de totale verkeersdrukke (diesel + benzine voertuigen) evenredig is met verkeerdrukke op basis van benzinevoertuigen.

Tabel 3: resultaten van univariate regressiemodel voor de binnenlucht concentraties, en ratio's $PM_{2.5}/PM_{10}$ en $PM_1/PM_{2.5}$ voor de binnenlucht in klaslokalen (responsfactoren) met MTBE in buitenlucht als maat voor verkeersdrukke (verklarende factor)

Polluent	MTBE buitenlucht
$PM_{2.5}$	P = 0.018 (positief verband)
Ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$	N.S.
Ratio $PM_1/PM_{2.5}$	P = 0.12
Benzeen	P < 0.0001 (positief verband)
Tolueen	P < 0.0001 (positief verband)
Ethylbenzeen	P = 0.082 (positief verband)
Xylenen	P = 0.065 (positief verband)

De buitenluchtconcentratie MTBE als maat voor verkeersdrukke vertoonde een significant, positief verband met binnenluchtconcentraties van $PM_{2.5}$, benzeen, toluen, ethylbenzeen en xylenen (Tabel 3).

Dit toont aan dat de buitenbron van verkeer een invloed heeft op de binnenluchtkwaliteit m.b.t. benzeen, toluen, ethylbenzeen en xylenen in de BiBa-klaslokalen.

Het feit dat er een relatie gevonden werd tussen MTBE en $PM_{2.5}$ suggereert dat de indirecte veronderstelling dat er een evenredige relatie is tussen verkeersdrukke ten gevolge van benzinevoertuigen en dieselloertuigen plausibel is.

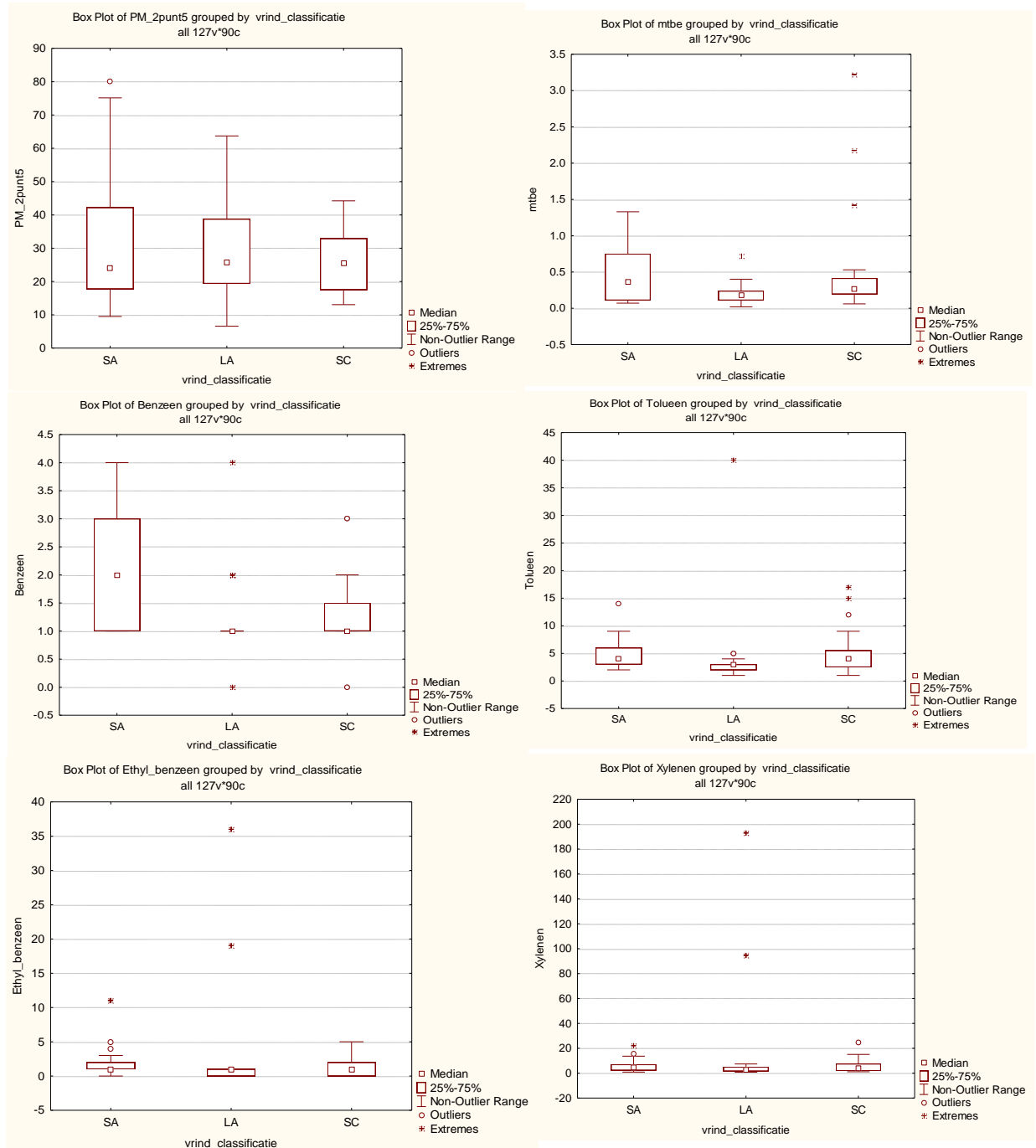
Verkeersdrukke bleek geen invloed te hebben op de ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ in de klaslokalen. Er was een lichte indicatie dat verkeersdrukke wel een invloed heeft op de ratio $PM_1/PM_{2.5}$. Het feit dat verkeersdrukke niet weerspiegeld wordt in de ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ en slechts heel licht in de ratio $PM_1/PM_{2.5}$ is deels te verklaren doordat ratio's van weekgemiddelde concentraties gehanteerd zijn. De invloed van verkeer is sterk variabel

in functie van de tijd. Verder worden deze fijn stoffracties tijdens de lesuren ook beïnvloed door resuspensie. Ten gevolge van resuspensie verhogen de concentraties van elk van deze stoffracties, met de sterkste toenames voor de grootste fracties. Ook hierdoor gaat een mogelijk logisch verband tussen de fracties, als gevolg van verkeer, verloren.

2.3.3 Is er een verschil tussen de binnenluchtkwaliteit in landelijke en stedelijke omgeving?

De boxplots tonen aan dat er meestal een vrij grote spreiding is in binnenluchtconcentraties tussen verschillende scholen in dezelfde VRIND-categorie (Figuur 15). De mediane concentraties van $PM_{2.5}$, MTBE, toluen, ethylbenzeen, xylenen in landelijk achtergrond gebied (LA), liggen dicht in de buurt van de mediane concentraties in stedelijk achtergrond gebied (SA) en stedelijk centrum gebied (SC), en er zijn geen duidelijke trends dat binnenluchtconcentraties lager zijn in scholen gelegen in LA-gebied in vergelijking met SA- of SC-gebied. Enkel voor MTBE en toluen ligt de mediane binnenluchtconcentratie heel lichtjes lager in LA-gebied dan in SA- en SC-gebied. De mediane benzeen concentratie in de binnenlucht van scholen gelegen in SA-gebied ligt daarentegen hoger dan in SC-gebied, en ook hoger dan in LA-gebied.

Figuur 15: boxplots voor binnenluchtconcentraties (weekgemiddelde) in de 90 BiBa-klaslokalen voor $PM_{2.5}$, MTBE, benzeen, toluen, benzeen ethylbenzeen en xylenen, opgesplitst per VRIND-klasse (SA: stedelijke achtergrond; LA: landelijke achtergrond; SC: stedelijk centrum). Eenheden op de Y-as zijn $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Univariate regressie-analyse (softwarepakket SAS) werd toegepast om na te gaan of er significante verschillen zijn tussen de binnenlucht kwaliteit in scholen gelegen in landelijke achtergrond omgeving (LA, 13 scholen), in scholen gelegen in stedelijke achtergrond omgeving (SA, 9 scholen) en in scholen gelegen in een stedelijke centrum (SC, 8 scholen) omgeving. Het effect van de VRIND-classificatie (LA, SA, SC) werd

getest voor de binnenluchtparameters waarvan we een effect van de buitenlucht vermoeden: PM_{2.5}, MTBE, benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen en TVOS. Voor geen enkele van deze polluenten was er een statistisch significant verschil ($P > 0.05$) tussen de binnenluchtconcentraties in scholen gelegen in landelijke achtergrond, in stedelijke achtergrond of stedelijk centrum.

De afwezigheid van significante verschillen tussen stedelijke en landelijke achtergrond is waarschijnlijk deels te wijten aan de grote spreiding in de binnenluchtconcentraties tussen de verschillende scholen binnen één VRIND-klasse. Een bijkomende factor is dat de BiBa-meetcampagne liep van november 2008 tot april 2009. Verschillen in weersomstandigheden tussen de verschillende meetperiodes dragen waarschijnlijk bij tot de variatie in buiten- en binnenluchtconcentratie in elke van de VRIND-classes.

2.4 Invloed van ventilatie op de luchtkwaliteit in het binnenmilieu in de klassen

2.4.1 Toetsing aan wettelijke eisen, bestaande normen en richtwaardes.

→ *Vlaams BinnenMilieuBesluit*

richtwaardes

In de helft van de klassen lag het ventilatievoud systematisch onder de richtwaarde van 1/uur van het Vlaams BinnenMilieuBesluit (Besluit van de Vlaamse Regering van 11 juni 2004 houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu (B.S.19.X.2004)). In slechts een klein aantal klassen (12/85) wordt op elk moment voldaan aan deze richtwaarde. Voor 30 van de 85 klassen wordt op sommige momenten wel voldaan aan deze richtwaarde, doch niet constant.

In 87 van de 88 klassen lag de gemiddelde CO₂-concentratie (gemiddeld over 1 schoolweek) hoger dan de richtwaarde van 900 mg/m³ van het Vlaams BinnenMilieuBesluit. In alle klassen waren er piekmomenten waarop de CO₂-concentratie deze richtwaarde overschrijdt.

limietwaardes

Het Vlaams BinnenMilieuBesluit bevat enkel een richtwaarde, en geen limietwaarde voor CO₂.

In 4 van 88 klassen ligt het gemiddeld CO₂ niveau hoger dan de limietwaarde 1829 mg CO₂/m³ voor binnenruimtes aanbevolen door ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and conditioning Engineers). De ASHRAE limietwaarde van 1000 ppm CO₂ voor binnenruimtes is niet gebaseerd op het feit dat CO₂ op zich een nefast gezondheidseffect veroorzaakt, maar wel op het gegeven dat het CO₂-niveau een surrogaat is voor andere bio-effluenten die geur kunnen veroorzaken, en als onaangenaam wordt ervaren door personen aanwezig in de binnenruimte.

→ **wettelijke eisen**

EPB regelgeving

In november 2004 gaf het Belgisch Instituut voor Normalisatie (BIN) een norm uit met betrekking tot de ventilatie voor niet-residentiële gebouwen (NBN EN 13779). Sinds 1 januari 2006 is in Vlaanderen de EnergiePrestatie Regelgeving (EPB-regelgeving) van kracht. De EPB-regelgeving bevat vereisten i.v.m. ventilatiesystemen. Voor niet residentiële gebouwen (waaronder scholen) is het vanaf 2006 verplicht om een ventilatievoorziening te installeren conform deze norm NBN EN 13779.

Enkel scholen die gebouwd werden na 1 januari 2006 of die een renovatie ondergingen waarvoor een EPB-dossier vereist was, dienen te voldoen aan de norm NBN EN 13779. Vóór 2006 waren er geen wettelijke vereisten voor niet-residentiële gebouwen m.b.t. ventilatievoorzieningen. Voor nieuwbouw zijn er wettelijke vereisten i.v.m. minimale ventilatie, terwijl er voor renovatie vereisten zijn m.b.t. minimale toevoeropeningen (bij vervanging ramen).

Voor het merendeel van de BiBa-scholen is de norm NBN EN 13779 dus niet van toepassing: 79 van de klaslokalen zijn meer dan 2 jaar oud, 8 klaslokalen zijn minder dan 2 jaar oud, en voor 3 klaslokalen werd geen ouderdom gerapporteerd.

De norm NBN EN 13779 onderscheidt vier klassen van binnenluchtkwaliteit (IDA1–IDA4). Er zijn 2 methodes om de binnenluchtkwaliteit m.b.t. pollutie door menselijke activiteit te evalueren. Enerzijds is er de directe methode op basis van CO₂-metingen, en anderzijds is er de indirecte classificatie volgens het ventilatievoud met buitenlucht in ruimten bestemd voor menselijke bezetting. Aangezien we voor de BiBa-classes beschikken over CO₂-metingen in binnen- en buitenlucht kunnen we de directe methode op basis van CO₂-metingen toepassen.

Tabel 4: klassen van binnenluchtkwaliteit volgens de norm NBN EN 13779

klasse	Beschrijving	directe classificatie	indirecte classificatie
		verschil in CO ₂ concentratie tussen binnen en buitenlucht	ventilatievoud met buitenlucht in ruimten bestemd voor menselijke bezetting (niet-rokerszone)
IDA1	Hoge luchtkwaliteit	< 400 ppm	> 54 m ³ /h.persoon
IDA2	middelmatige luchtkwaliteit	tussen 400 en 600 ppm	36 - 54 m ³ /h.persoon
IDA3	aanvaardbare luchtkwaliteit	tussen 600 en 1000 ppm	22 - 36 m ³ /h.persoon
IDA4	Lage luchtkwaliteit	> 1000 ppm	< 22 m ³ /h.persoon

Acht klaslokalen van de BiBa-dataset zijn jonger dan 2 jaar oud, en dienen dus in principe te voldoen aan de norm NBN EN 13779, indien de bouwaanvraag niet dateerde van voor 1 januari 2006.

De CO₂-concentraties in de klaslokalen, die gemeten werden gedurende 1 schoolweek (maandag tot vrijdag; dag en nacht) met een 1-minuut tijdsinterval werden gecorrigeerd met de CO₂-buitenluchtconcentraties gemeten op hetzelfde tijdstip op de speelplaats. Enerzijds werd berekend in hoeveel procent van de tijd gedurende de week (dag en nacht) er voldaan wordt aan de CO₂-kwaliteitseisen voor elk van de IDA-classes (Tabel 5). Anderzijds werd berekend in hoeveel procent van de tijd dat kinderen effectief aanwezig zijn in de klaslokalen gedurende de schoolweek er voldaan wordt aan de CO₂-kwaliteitseisen voor elk van de IDA-classes. Hierbij werd rekening gehouden

met aanwezigheid van de kinderen in klaslokalen op alle weekdays van 8h30 tot 12h en van 13h15 tot 16h (behalve op woensdag, enkel 8h30 – 12h00). Dit uurrooster werd voor alle klassen gehanteerd, hoewel de meeste scholen hier licht van zullen afwijken omdat het exacte uurrooster van school tot school kan verschillen.

Tabel 5: toetsing van klaslokalen jonger dan 2 jaar (EBP-plichting) aan de norm NBN EN 13779. Fractie van de metingen (continu, dag en nacht, gedurende 1 schoolweek) die voldeden aan elke IDA-klasse

	school 27			school 4		school 30		school 10
	klas 1	klas 2	klas 3	klas 2	klas 3	klas 2	klas 3	klas 3
IDA 1	98%	96%	96%	74%	59%	72%	83%	73%
IDA 2	0.8%	1.7%	1.8%	10.0%	10.9%	5.4%	5.5%	10.0%
IDA 3	1.4%	1.2%	1.3%	11.0%	13.6%	7.5%	7.0%	10.3%
IDA 4	0.0%	0.7%	0.7%	5.3%	17.0%	15.3%	4.5%	6.6%

Tabel 6: toetsing van klaslokalen jonger dan 2 jaar (EBP-plichting) aan de norm NBN EN 13779. Fractie van de metingen gedurende aanwezigheid kinderen in klaslokalen die voldeden aan elke IDA-klasse

	school 27			school 4		school 30		school 10
	klas 1	klas 2	klas 3	klas 2	klas 3	klas 2	klas 3	klas 3
IDA 1	90%	86%	83%	18%	19%	18%	43%	22%
IDA 2	6.0%	6.3%	8.5%	20.2%	7.6%	10.5%	13.5%	24.8%
IDA 3	4.1%	5.2%	5.6%	38.7%	26.3%	16.9%	23.1%	30.3%
IDA 4	0.0%	2.3%	3.3%	22.6%	47.6%	54.9%	20.0%	22.5%

De nieuwste school, school 27 (jonger dan 6 maand), presteert duidelijk het best op vlak van CO₂-luchtkwaliteit. In alle 3 klassen wordt in meer dan 95 % van de volledige tijd voldaan aan de eisen van klasse IDA1 'hoge luchtkwaliteit'. Indien enkel de momenten dat kinderen in klaslokalen aanwezig zijn in beschouwing worden genomen, dan is er in meer dan 80 % van deze tijd een uitstekende luchtkwaliteit.

In klas 1 is volgens het classificatiesysteem van de norm NBN EN 13779 de luchtkwaliteit voortdurend minstens van aanvaardbaar. In minder dan 1% van de volledige tijd en minder dan 5 % van de tijd gedurende de aanwezigheid van kinderen is de luchtkwaliteit in klas 2 en klas 3 van lage kwaliteit volgens het systeem van de norm EN 13779.

In scholen 4, 10 en 30 (jonger dan 2 jaar maar ouder dan 6 maand) is de luchtkwaliteit in het merendeel van de tijd ook hoog, indien we de volledige tijdspanne in rekening brengen. De momenten van hoge luchtkwaliteit (IDA 1) stemmen evenwel grotendeels overeen met momenten dat geen kinderen in de klaslokalen aanwezig zijn (voor en na schooltijd). Behalve voor klas 3 (school 30) beantwoordt de luchtkwaliteit in de klassen van scholen 4, 10 en 30 in slechts 20 % van tijd dat kinderen in klaslokalen aanwezig zijn aan IDA1 vereisten.

De betere luchtkwaliteit in de klassen van school 27 in vergelijking met school 4, 10 en 30 kan mogelijks ook beïnvloed zijn doordat in het vorig schooljaar de Lekker Fris campagne gevoerd werd in school 27, maar niet in scholen 4,10 en 30. Betere weersomstandigheden kunnen een rol spelen in betere verluchting, vermits doorgaans ramen meer geopend worden bij beter weer. De verklaring van betere weersomstandigheden voor de goede luchtkwaliteit in school 27 in vergelijking met school 30 gaat echter niet op, vermits de meetcampagne in deze scholen in dezelfde periode viel (school 27 en 30: tweede helft maart), maar er toch een duidelijk verschil was in luchtkwaliteit m.b.t. CO₂-concentraties.

Niettegenstaande dat bij de dimensionering van ventilatiesystemen conform de norm NBN EN 13779 het ontwerpdebiet niet kleiner zijn mag zijn dan het minimum debiet overeenkomende met binnenluchtklasse IDA3, merken we toch dat voor scholen 4, 10 en 30 er in 5 tot 17 % van de totale tijd niet voldaan wordt aan een luchtkwaliteit

volgens klasse IDA 3 of hoger. Indien enkel de tijd dat kinderen aanwezig zijn in het klaslokaal in rekening wordt gebracht, merken we zelfs dat in 20–55 % van de tijd de luchtkwaliteit in deze nieuwe scholen laag is (IDA 4).

Een veel voorkomend probleem bij ventilatiesystemen is dat werkelijk gerealiseerde debieten in praktijk vaak lager liggen dan de ontwerpdebieten, en dit kan veroorzaakt worden doordat de gebruiker het debiet regelt tot een bepaald niveau (lager dan het ontwerpdebiet), maar ook een slechte plaatsing of slecht onderhoud van de ventilatiesysteem kan de oorzaak zijn. De norm NBN EN 13779 legt immers enkel eisen op i.v.m. dimensionering, maar houdt geen controles in van werkelijk gerealiseerde debieten.

Hoewel de norm NBN EN 13779 niet van toepassing is voor oudere schoolgebouwen die niet EPB-plichtig zijn, is het toch nuttig om dit toetsingskader te gebruiken voor oudere schoolgebouwen ter vergelijking van de CO₂-concentraties in nieuwe en oude klaslokalen.

Voor een steekproef van 10 oudere klaslokalen werd nagegaan in hoeveel procent van de tijd er voldaan werd aan de CO₂-eisen van de verschillende IDA-classes. Enkel cijfers voor momenten van aanwezigheid van kinderen in klaslokalen worden weergegeven in Tabel 7 . Deze zijn relevanter dan de toetsing van 24-h gemiddelde CO₂-concentraties.

Tabel 7: toetsing van een steekproef van 10 klaslokalen ouder dan 2 jaar (niet EBP-plichtig) aan de norm NBN EN 13779. Fractie van de metingen gedurende aanwezigheid kinderen in klaslokalen die voldeden aan elke IDA klasse

	school 4	school 30	school 10	school 10
ouderdom klaslokaal	> 20j	> 20j	< 10j	< 10j
IDA klasse	klas 1	klas 1	klas 1	klas 2
IDA 1	25.0%	19%	49.7%	15.0%
IDA 2	29.1%	4.2%	19.3%	18.9%
IDA 3	33.9%	15.1%	27.1%	52.3%
IDA 4	12.0%	61.7%	7.9%	13.9%

	school 5	school 5	school 5	school 14	school 14	school 14
ouderdom klaslokaal	> 20j	> 20j	> 20j	> 20j	> 20j	> 20j
IDA klasse	klas 1	klas 2	klas 3	klas 1	klas 2	klas 3
IDA 1	17.8%	30.3%	14.1%	24.0%	10.6%	21.1%
IDA 2	27.8%	33.2%	1.7%	5.7%	13.2%	15.0%
IDA 3	44.8%	33.3%	9.1%	24.1%	19.8%	12.4%
IDA 4	9.5%	3.2%	75.1%	46.2%	56.4%	51.5%

In 9 van de 10 oudere klaslokalen uit de steekproef was de luchtkwaliteit tijdens de aanwezigheid van leerlingen in minder dan de helft van de tijd hoog (IDA1) of matig (IDA2). Dit was ook het geval in de helft van de nieuwe klassen (4/8). In geen enkele van de 10 oudere klaslokalen was de luchtkwaliteit permanent minstens aanvaardbaar (minstens IDA3). Binnen de steekproef van de oudere klaslokalen, zelfs binnen de verschillende klaslokalen van één school (bvb. school 5) was er een grote spreiding in CO₂-luchtkwaliteit te bemerken. Bijvoorbeeld, daar waar in klas 3 van school 5 in 75 % van de tijd de luchtkwaliteit laag was, was in klas 2 van dezelfde school in >95 % van de tijd de luchtkwaliteit aanvaardbaar of hoger

Er werd dus geen duidelijk verschil gevonden in CO₂-luchtkwaliteit tussen oude en nieuwe klassen omdat er in beide categorieën zowel klassen met goede CO₂-luchtkwaliteit als klassen met slechte CO₂-luchtkwaliteit waren.

ARAB Reglement

Hoewel het ARAB (Algemeen Reglement voor Arbeidsbescherming) enkel van toepassing is op de arbeidsomstandigheden van werknemers (leerkrachten, directie, administratief en logistiek personeel) en niet van leerlingen, wordt in deze paragraaf nagegaan of de ARAB-bepalingen m.b.t. luchtverversing gebruikt kunnen worden als toetsingskader.

Artikel 56 van het ARAB schrijft voor dat de toevoer van verse lucht en de afvoer van bevuilde lucht moet verzekerd worden naar ratio van 30 m³ lucht per uur en per in de lokalen aanwezige werknemers. Voor gesloten werkruimtes voorzien van natuurlijke luchtverversing dient – wanneer de omstandigheden het mogelijk maken – de lucht van de werklokalen natuurlijk en volledig verversd te worden tijdens de werkonderbrekingen door de vensters wijd open te zetten. De ARAB-bepalingen voor ruimtes met kunstmatige verluchting zijn niet van toepassing in de BiBa-scholen vermits in geen enkel BiBa-klaslokaal er een kunstmatig luchtverversingsmechanisme is.

Op basis van de CO₂-profielen van de klaslokalen werd op verschillende momenten het luchtdebiet geschat (zie WP2 bijlage 7). Voor sommige klaslokalen was er een sterke variatie in luchtdebiet op verschillende momenten (zie WP2 bijlage 7).

In 21 van de 90 klaslokalen was er niet op elk moment voldaan aan de ARAB vereiste van luchtdebiet van 30 m³/uur, indien we ervan uitgaan dat één leerkracht per klaslokaal aanwezig is. Ook al wordt in 63 andere klassen in strikte zin voor alle bepaalde ventilatievouden (i.e. op meerdere momenten) voldaan aan de ARAB reglementering, het is evident dat het ARAB toetsingskader niet geschikt is omdat het geen rekening houdt met de CO₂-productie door de kinderen. Deze laatste zullen in elk geval veel meer doorwegen op de binnenluchtkwaliteit dan enkel deze van de leerkracht. Indien we de leerlingen ook in rekening brengen in het vereiste luchtdebiet (bij de 30 m³ lucht per uur en per in de lokalen aanwezige werknemers + leerlingen), komt deze vereiste ongeveer overeen met de vereiste luchtverversingsgraad van IDA 3 klasse van de norm NBN EN 13779 (zie hoger).

Verder bepaalt het ARAB dat voor gesloten werkruimtes voorzien van natuurlijke luchtverversing – wanneer de omstandigheden het mogelijk maken – de lucht van de werklokalen natuurlijk en volledig verversd dient te worden tijdens de werkonderbrekingen door de vensters wijd open te zetten. In 11 van de 90 klaslokalen werd gerapporteerd dat er 1 maal per dag of < 1 maal per dag verlucht werd. Voor deze klassen wordt er niet voldaan aan de ARAB voorschriften. Voor de andere klassen werd wel gerapporteerd dat er meer dan 1 maal per dag verlucht werd. Er kon uit de antwoorden op de vragenlijsten echter niet opgemaakt worden of de ramen al dan niet wijd opengezet werden.

2.4.2 Worden de beschikbare ventilatievoorzieningen gebruikt?

Geen enkel van de 30 BiBa-scholen beschikt over een mechanisch ventilatiesysteem; alle klassen werden manueel verlucht. Drie factoren spelen een rol in de natuurlijke luchtverversing van de klassen: 1) actieve ventilatie door openen van ramen en deuren, 2) ventilatie door gebruik van ventilatieroosters en 3) infiltratie doorheen spleten en kieren in de gebouwschil (luchtdichtheid).

De beschikbare ventilatievoorzieningen die actief kunnen gestuurd worden door de gebruiker zijn enerzijds het openen van ramen en deuren, en anderzijds het gebruik van ventilatieroosters. Naast de actieve ventilatie, heeft ook de infiltratiegraad doorheen de gebouwschil invloed op de luchtverversing in de klaslokalen. Deze parameter werd niet gemeten in de BiBa-studie, en is bovendien niet afhankelijk van het ventilatiegedrag. De infiltratiegraad van de gebouwschil is net gelijk aan de

luchtverversing indien alle ventilatievoorzieningen gesloten worden gehouden. Bij natuurlijke ventilatiesystemen betekent dit wanneer alle deuren, ramen en ventilatieroosters gesloten worden gehouden.

Er viel een heel grote verscheidenheid te bemerken in ventilatiegedrag tussen de verschillende scholen en klassen, maar ook gedurende 1 week binnen dezelfde klas. Daar waar in 20 klassen gedurende één dag amper 30 minuten of minder de ramen open gezet werden om te verluchten, waren er ook 3 klassen waar de ramen voortdurend open stonden om te verluchten, en waren er nog 5 extra klassen waar gedurende ongeveer 8 uur verlucht werd.

De vraag betreffende de aanwezigheid van ventilatieroosters in klassen werd slechts voor 35 van de 90 klassen beantwoord. Indien we ervan uitgaan dat een blanco antwoord negatief is (geen ventilatieroosters aanwezig), dan kunnen we afleiden dat er in 28 % van de klassen ventilatieroosters aanwezig waren. Voor klassen waarin aanwezigheid van ventilatieroosters gerapporteerd is, werden in 64 % de ventilatieroosters effectief gebruikt. In de meeste van die klassen werden de roosters overdag tijdens de lessen gebruikt. In enkele klassen werden de roosters voortdurend (24h) gebruikt, terwijl in nog een aantal klassen de roosters veel beperkter (1.5 uur/dag) in de tijd gebruikt werden.

2.4.3 gebruik van ventilatievoorzieningen: invloed op ventilatievoud en CO₂ concentraties in klaslokalen

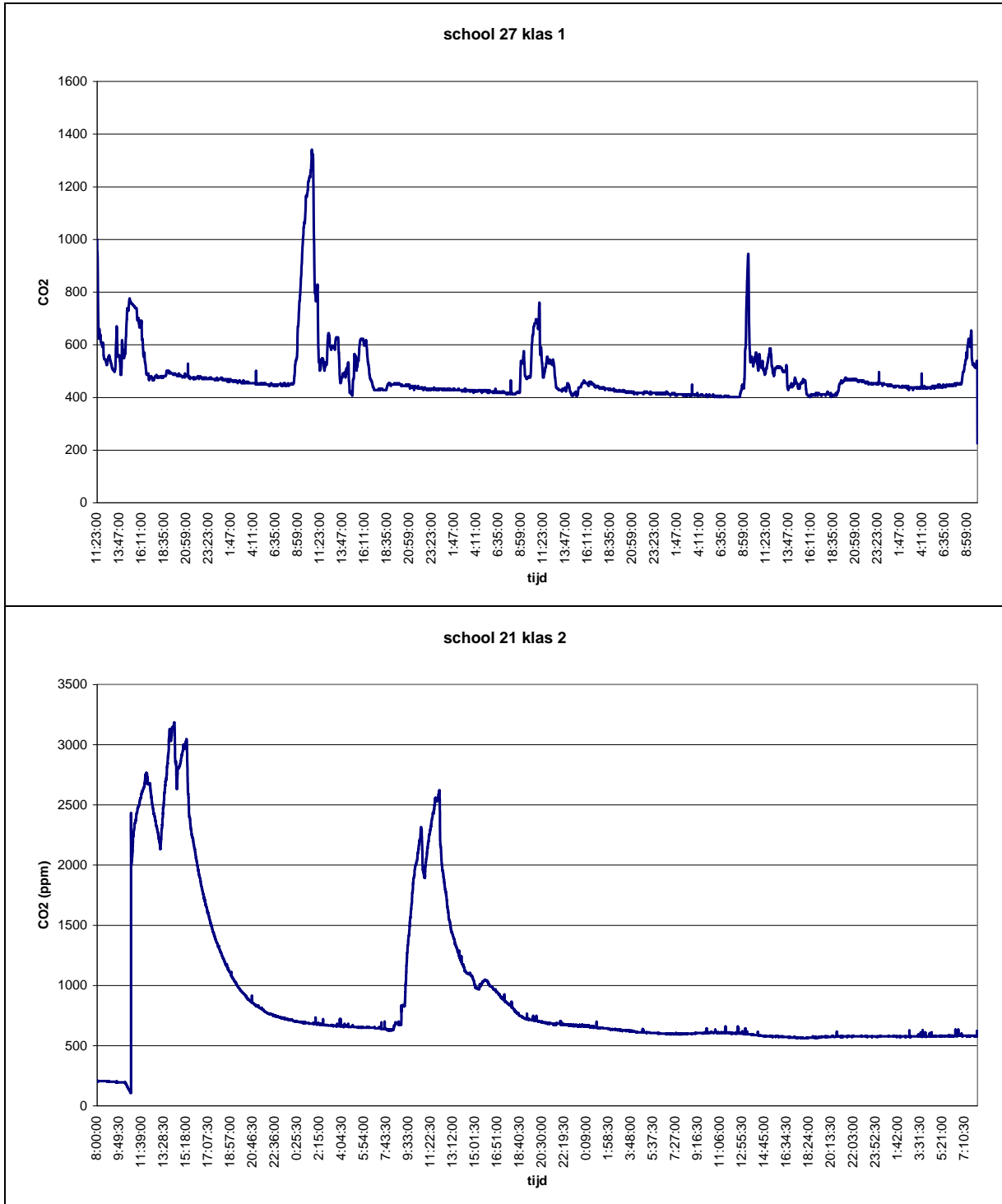
De individuele CO₂-tijdsprofielen van de klaslokalen zijn een duidelijke weerspiegeling van de aanwezigheid van de leerlingen en het ventilatiepatroon van de klassen (zie WP2). Een aantal typische patronen van CO₂-tijdsprofielen werden besproken in WP2 (hoofdstuk 5.5). In de profielen van elke klas was er duidelijk een opbouw van een CO₂-piek te zien vanaf het moment dat de kinderen de klas binnenkwamen tot de speeltijd of lunchpauze, gevolgd door een afname van de CO₂-concentratie.

Deze afname kon verklaard worden door het wegvallen van de CO₂-bron (nl. de kinderen) en het ventileren van de klaslokalen.

Zelfs in klassen waar voortdurend - ook tijdens de lessen - verlucht werd door openen van de ramen en gebruik van ventilatieroosters, was er steeds een opbouw in CO₂-concentratie te merken (bvb. school 27 klas 1, zie Figuur 16). Dit betekent dat, zelfs bij het meest optimaal gebruik van de ventilatievoorzieningen, de toevoer van de verse lucht niet voldoende is om het geproduceerde CO₂ onmiddellijk te evacueren.

In sommige klaslokalen slaagde men er evenwel in om door continu te verluchten de CO₂-pieken vrij laag te houden (bvb. school 27, klas 1: hoogste CO₂-piek gedurende de meetperiode van 1 week bedroeg 1335 ppm, de andere maxima lagen steeds lager dan 1000 ppm). In andere klassen waar ook continu verlucht werd (480 minuten per dag via ramen) konden de CO₂-pieken evenwel oplopen tot hoger dan 3000 ppm (bvb. school 21, klas 2) (Figuur 16). Het aantal leerlingen per volume van het klaslokaal was vrij gelijkaardig tussen deze 2 klassen. Een verschil in bronsterkte is dus geen verklaring. Andere factoren zoals het aantal ramen, de oppervlakte van de ramen, windsnelheid- en richting, luchtdichtheid van de gebouwschil spelen waarschijnlijk ook een rol in de luchtverversing van de klaslokalen, en dus in het niveau van de CO₂-pieken in de klaslokalen.

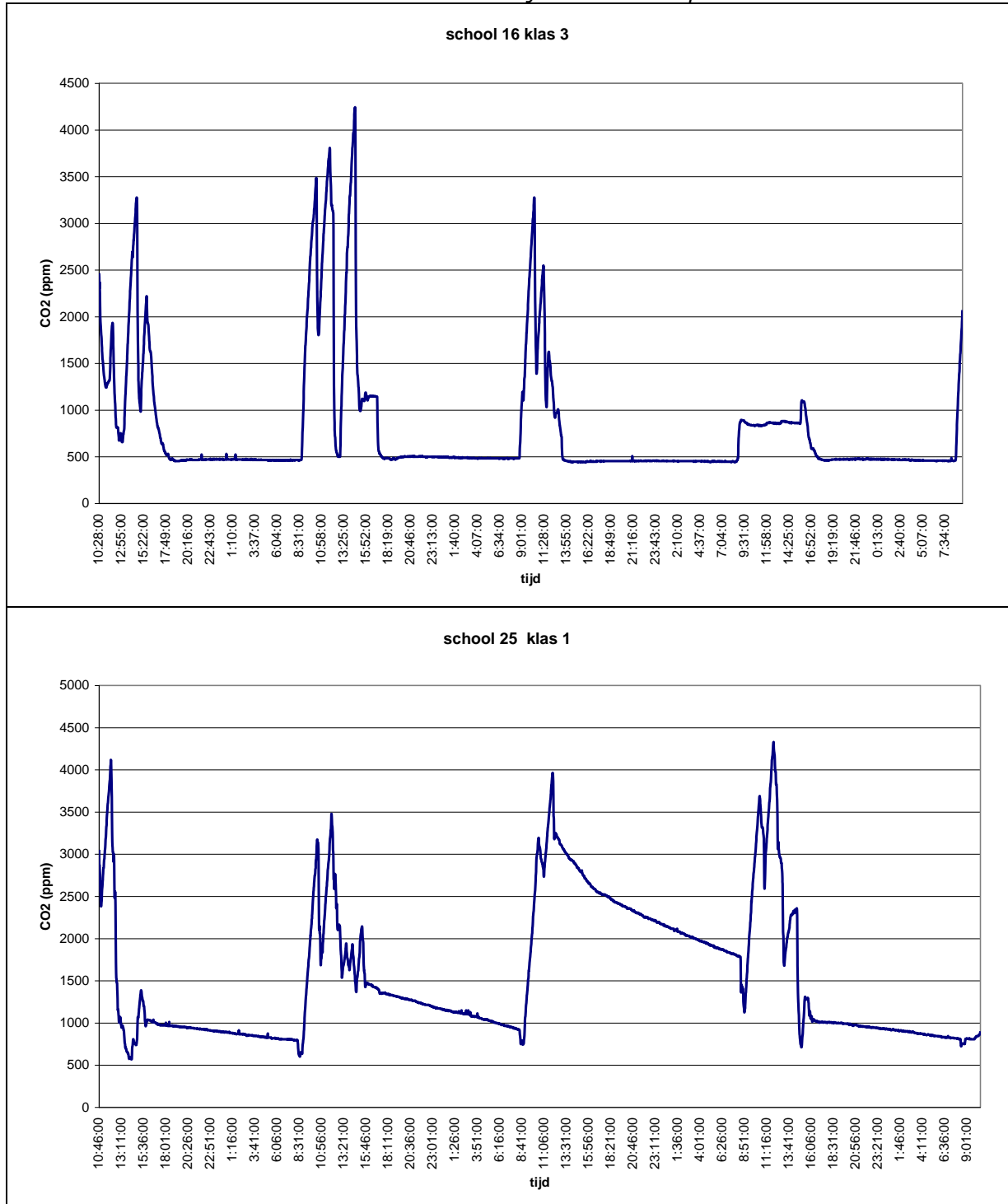
Figuur 16: CO₂-concentratie tijdprofielen gedurende 1 schoolweek voor een aantal BiBa-klaslokalen die volgens de leerkracht voortdurend verlucht werden



Verluchting tijdens de speeltijd of lunchpauze door openen van ramen is effectief voor de reductie van CO₂-niveaus. De luchtverversing tijdens de lunchpauze of speeltijd is echter in de meeste gevallen niet toereikend om het CO₂-niveau in het klaslokaal volledig te doen dalen tot buitenniveaus of binnenniveaus die bereikt worden 's morgens (na 16 h afwezigheid van kinderen en de tijd waarin geventileerd worden). In een aantal gevallen (bvb. school 16 klas 3, zie Figuur 17) werd gedurende de lunchpauze wel zodanig goed verlucht dat de CO₂-concentratie in de klas op amper 1 uur tijd terugviel van bijna 4000 ppm voor de lunchpauze tot achtergrondconcentratie van 500 ppm na de lunchpauze. Het groot aantal ramen in deze klas (6) kan mogelijks een rol gespeeld hebben in de snelle reductie van CO₂-pieken, hoewel we niet bevraagd

hebben hoeveel ramen effectief open gezet werden. In andere klassen waarvoor tevens aangegeven werd dat ze verlucht werden door openen van ramen was de reductie in CO₂-concentraties tijdens de lunchpauze soms veel minder spectaculair (bvb. school 25 klas 1: daling van 3500 ppm tot 1500 ppm gedurende de lunchpauze, Figuur 17). Dit klaslokaal had 2 ramen.

Figuur 17: CO₂ concentratie tijdprofielen gedurende een schoolweek voor een aantal BiBa-klaslokalen – efficiëntie van verluchten tijdens de lunchpauze

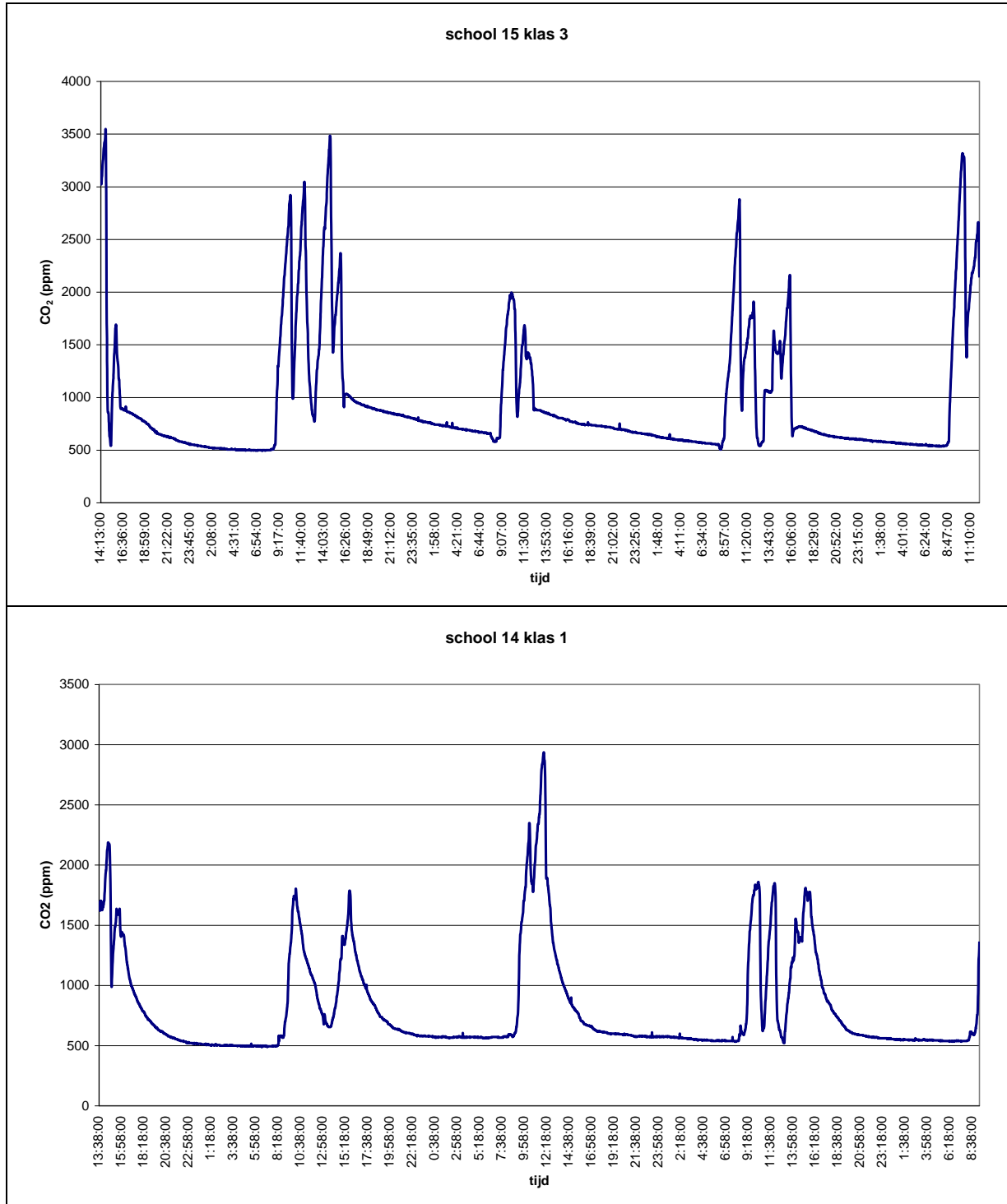


De mate waarin de CO₂-concentraties dalen tijdens de speeltijd of lunchpauze is sterk variabel tussen scholen en klaslokalen, zelfs bij vergelijking van klassen die eenzelfde

ventilatiegedrag rapporteerden, en zelfs tussen verschillende dagen voor éénzelfde school. Bijvoorbeeld, in klas 3 van school 15 was de CO₂-concentratie op dag 2 net na de speeltijd gedaald tot ongeveer 1/3 van de waarde vlak voor de speeltijd (van 2875 ppm tot 989 ppm) in 15 minuten (speeltijd 10h30 -10h45), terwijl op dag 3 in klas 1 van school 14 na de speeltijd de CO₂-concentratie nog 78 % bedroeg van de concentratie van vlak voor de speeltijd (10h30 -10h45) (Figuur 18). Voor beide klassen werd gerapporteerd dat er tijdens de speeltijd verlucht werd door openen van ramen, en in beide klassen waren geen ventilatieroosters aanwezig. In klas 1 van school 14 was er op dag 4 wel een heel snelle reductie van de CO₂-concentraties in het klaslokaal tijdens de speeltijd 's morgens.

De grote verschillen in luchtverversingsnelheid, zelfs bij een gelijkaardig ventilatiegedrag, tussen scholen, klassen en dagen zijn niet verwonderlijk vermits alle scholen natuurlijk (manueel) geventileerd werden. Natuurlijke ventilatie is immers sterk afhankelijk van weersomstandigheden. Windsnelheden en -richting zijn sterk bepalend voor ventilatiedebieten bij natuurlijke ventilatie, en dit in tegenstelling tot mechanische ventilatie, waar het ventilatievoud veel constanter kan gehouden worden, onafhankelijk van weersomstandigheden.

Figuur 18: CO₂-concentratie tijdprofielen gedurende 1 schoolweek voor een aantal BiBa-klaslokalen – efficiëntie van verluchten tijdens de speeltijd



In de meeste scholen daalt in alle klassen het CO₂-niveau gedurende de nacht in voldoende mate zodat bij aanvang van de volgende schooldag de CO₂ concentraties achtergrondwaardes in de buurt van buitenluchtconcentraties bereiken.

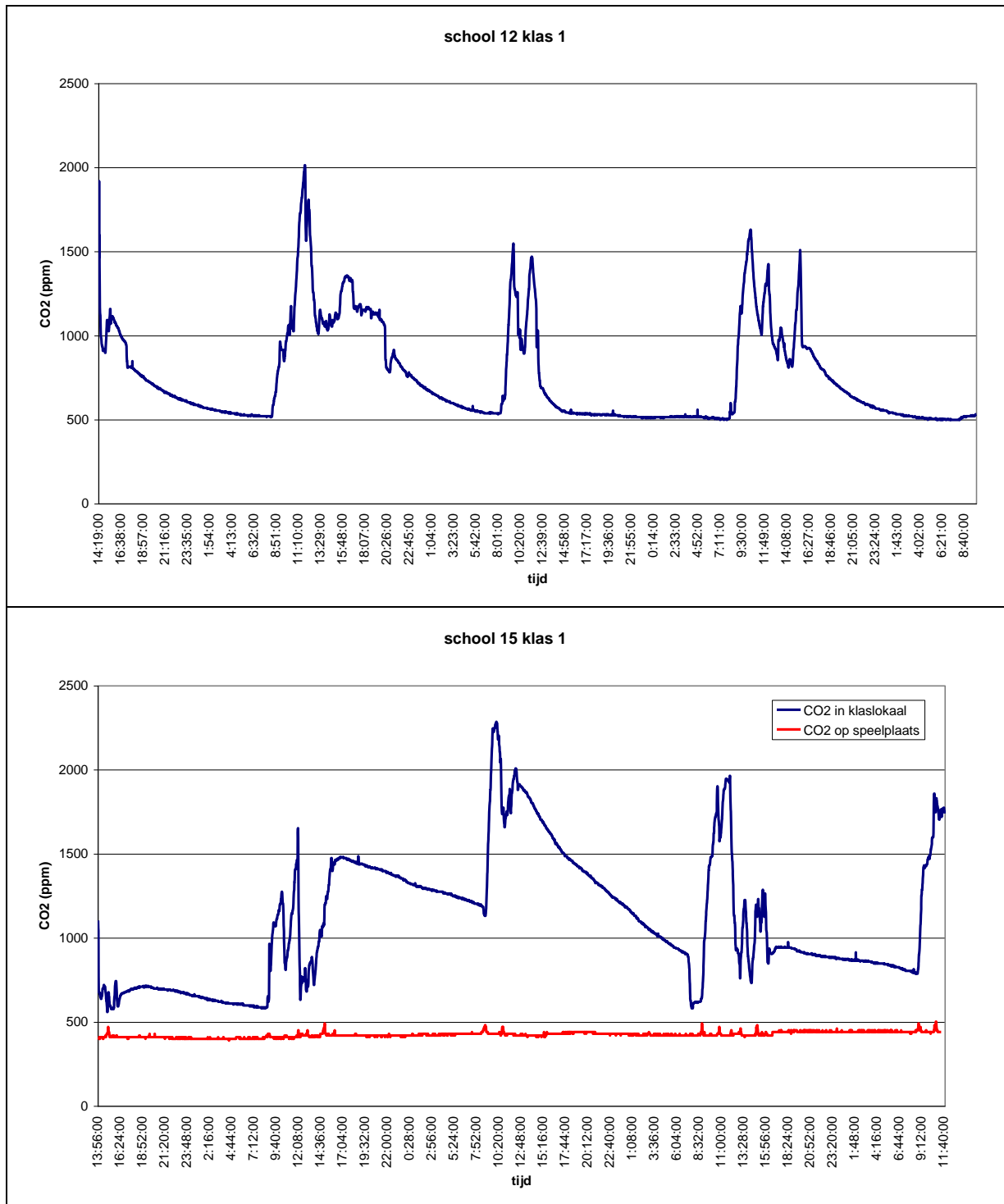
Er is echter wel een groot verschil in snelheid waarmee de CO₂-concentraties dalen tot achtergrondniveaus. Hier zijn opnieuw geen eenduidige trends af te leiden.

Voor de meeste klassen waarvoor gerapporteerd is dat ze voortdurend verlucht worden (ook na schooltijd) is er een snelle daling in CO₂-concentraties. Bijvoorbeeld, in klas 3 van school 16 (zie Figuur 17) is een zeer snelle afname van CO₂-concentraties: de piekwaardes boven 4000 ppm CO₂ op het einde van de schooldag (rond 16h) zijn reeds 2 uur na schooltijd gereduceerd tot het basaal niveau van 500 ppm. In klas 1 van

school 12 (zie figuur 8) daarentegen daalde op dag 1 het CO₂-niveau slechts heel geleidelijk, en viel de piekconcentratie van 1000 ppm slechts meer dan 12 h na schooltijd volledig terug tot het basaal niveau van 500 ppm. Op de derde dag van de metingen was er ook voor deze school een snelle terugval (binnen 3 h) tot basaal CO₂-niveau. Waarschijnlijk werd er voor deze school, in tegenstelling tot wat gerapporteerd werd, op dag 1 niet effectief verlucht door openen van de ramen na de schooluren.

Voor een aantal scholen waarin 's nachts niet verlucht werd, was het CO₂-niveau tegen de ochtend niet voldoende gedaald, en lag nog hoger dan het basaal niveau (bvb. school 15 klas 1, zie Figuur 19). In andere scholen waarin 's nachts ook niet verlucht werd, was er wel een voldoende snelle daling in CO₂. Bijvoorbeeld, in klas 1 van school 14 (Figuur 18) werd na schooltijd niet verlucht, en toch daalden de CO₂-pieken in deze klas vrij snel na schooltijd. Ongeveer 4 uur na schooltijd was de hoogste CO₂-piek van 3000 ppm volledig gereduceerd tot het basaal niveau van 500 ppm. Het verschil tussen de luchtverversing van beide scholen is wederom waarschijnlijk te verklaren door verschillende weersomstandigheden en/of het verschil in luchtdichtheid van de gebouwschil. De luchtdichtheid van de gebouwschil is afhankelijk van het aantal en de grootte van kieren en spleten in het gebouw. Deze parameter werd niet gemeten in de BiBa-meetcampagne.

Figuur 19: CO₂-concentratie tijdprofielen gedurende 1 schoolweek voor een aantal BiBa-klaslokalen – efficiëntie van verluchten tijdens de lunchpauze



Op basis van de individuele CO₂-patronen van de klassen kunnen we duidelijk het effect van aanwezigheid en ventilatiegedrag op CO₂-concentraties zien. Op basis van het CO₂-profiel is het ook duidelijk dat luchtverversing binnen één klaslokaal sterk varieert in functie van de tijd, en het aldus moeilijk is om een gemiddelde luchtverversingsgraad of ventilatievoud per klas te berekenen.

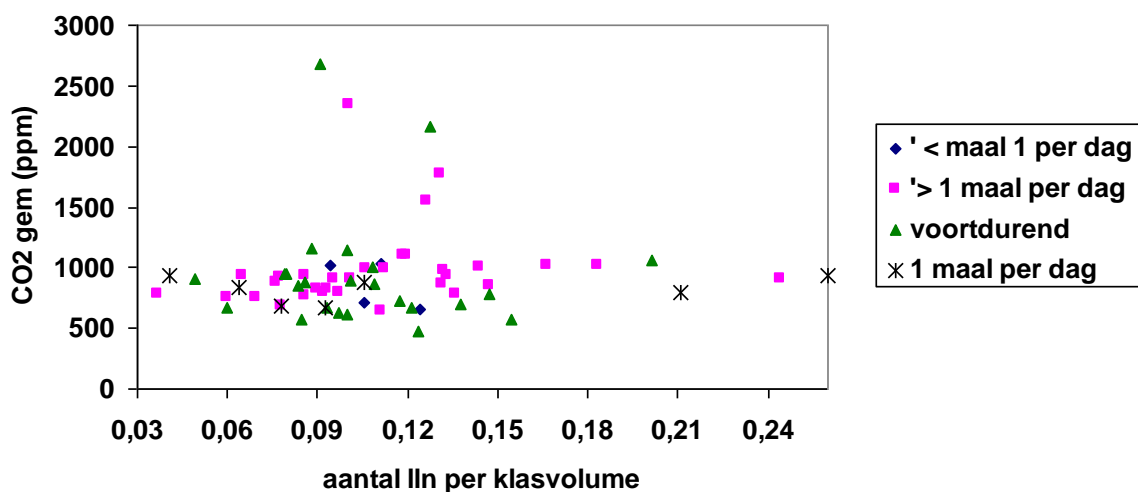
Om toch het effect van luchtverversing over alle klassen heen te analyseren, werd het gemiddeld CO₂-gehalte gekozen als objectieve parameter representatief voor luchtverversing. Daarnaast kunnen we ook het zelfgerapporteerde ventilatiegedrag gebruiken als subjectieve parameter voor ventilatie.

Uit Figuur 20 blijkt evenwel dat er nauwelijks een relatie is tussen de objectieve maat voor luchtverversing (weekgemiddelde CO₂-gehalte in de klaslokalen) en het zelfgerapporteerde ventilatiegedrag van de BiBa-klassen. Tevens komt de bronsterkte voor CO₂ (aantal leerlingen per klasvolume) niet naar voor als beïnvloedende factor voor het gemiddeld CO₂-gehalte in de klassen. Het belang van de bronsterkte is echter onmiskenbaar, maar komt in deze database waarschijnlijk niet tot uiting omdat andere factoren (luchtverversing) een veel grotere rol spelen en een grotere spreiding hebben in de dataset dan het aantal leerlingen per klasvolume.

Er zijn een aantal mogelijke verklaringen voor de afwezigheid van het verband tussen gemiddeld CO₂-gehalte in de klaslokalen en het zelfgerapporteerde ventilatiegedrag in de BiBa-klassen. Ten eerste, is het mogelijk dat het zelfgerapporteerde ventilatiegedrag te subjectief en niet voldoende nauwkeurig werd ingevuld. Hetgeen één leerkracht als 'voortdurend verlucht' beschouwt is bijvoorbeeld een raam of deur op een kier zetten gedurende heel de schooldag, maar niet na de schooluren, terwijl een andere leerkracht met 'voortdurend verlucht' ook openen van ramen na de schooluren en tijdens de nacht bedoelt.

Een tweede verklaring is dat niet enkel het ventilatiegedrag maar ook de luchtdichtheid van de klaslokalen een rol speelt in de luchtverversing en dus invloed heeft op het gemiddeld CO₂-gehalte in de klas.

Figuur 20: gemiddeld CO₂-gehalte in de BiBa-klassen versus het aantal leerlingen per klasvolume (bronsterkte) + verband met zelfgerapporteerde ventilatiegedrag



2.4.4 Is er een overeenstemming tussen de subjectieve beleving van de klasomgeving en de meetwaarden?

Om op deze vragen te antwoorden werden Kruskal-Wallis testen uitgevoerd. Dit is een niet-parametrische test waarmee getest wordt of er verschil is tussen de gemiddeldes waaruit 3 of meer steekproeven afkomstig zijn. De Kruskal-Wallis toets is te beschouwen als een oneway ANOVA gebaseerd op de rangnummers.

Subjectieve beleving vochtigheid klaslokaal

De subjectieve beleving van de vochtigheid van het klaslokaal (1: helemaal niet, 2: eerder niet; 3: eerder vochtig; 4: heel vochtig) stemde over de grote lijn overeen met de meetwaarden van gemiddelde relatieve vochtigheid van de klaslokalen (significantie niveau $P = 0.057$).

Subjectieve beleving stoffigheid klaslokaal

De subjectieve beleving van de stoffigheid van het klaslokaal (1: helemaal niet, 2: eerder niet, 3: eerder stoffig; 4: heel stoffig) stemde over de grote lijn overeen met de meetwaarden van gemiddelde PM2.5 concentraties in de klaslokalen (significantie niveau $P < 0.05$).

Subjectieve beleving luchtkwaliteit

Er was geen verband tussen de subjectieve beleving van de luchtkwaliteit en meetwaarden van gemiddelde CO₂-concentraties en gemiddelde temperatuur in de klaslokalen, noch bij leerkrachten, noch bij leerlingen (beiden $P > 0.05$). Er werd voor CO₂ en temperatuur gekozen als objectieve maat voor luchtkwaliteit, vermits we vermoedden dat deze parameters voor luchtkwaliteit (CO₂ en temperatuur) het meest waarneembaar zijn voor aanwezig in een ruimte. Dit blijkt dus niet het geval te zijn. Subjectieve beleving van de luchtkwaliteit is mogelijks afhankelijk van lawaai, lichtinval en geur. Deze parameters werden niet gemeten.

2.4.5 Welke is de invloed van (het type) ventilatie op binnenluchtkwaliteit.

Uit de Europese studie HESE (Health Effects of School Environments) bleek dat in klaslokalen met mechanische ventilatie veel lagere CO₂-concentraties voorkwamen dan in klaslokalen met natuurlijke ventilatie (HESE, 2006), en dat bovendien klaslokalen met mechanische ventilatie veel beter scoorden op vlak van fijn stof niveaus en aanwezigheid van allergenen in de klaslokalen dan klaslokalen met natuurlijke ventilatie.

Vermits in de BiBa-studie geen enkel klaslokaal mechanisch, maar allen manueel verlucht werden, is het niet mogelijk om op basis van de BiBa-dataset het effect van het type ventilatie op de binnenluchtkwaliteit na te gaan.

De invloed van ventilatie op de binnenluchtkwaliteit – binnen de randvoorwaarden van natuurlijke ventilatie - werd nagegaan door de invloed van een aantal parameters representatief voor luchtverversing op de binnenluchtkwaliteit na te gaan. De gekozen parameters zijn 1) gemiddelde CO₂-concentratie in de klaslokalen, 2) aan- of afwezigheid van ventilatieroosters en 3) zelfgerapporteerde ventilatie-intensiteit (categorieën: < 1 maal per dag; 1 maal per dag; > 1 maal per dag; voortdurend).

Univariate gemengde regressie modellen werden toegepast om de invloed van luchtverversing op de volgende parameters voor binnenluchtkwaliteit na te gaan: binnenluchtconcentraties PM2.5, benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen, formaldehyde, acetaldehyde, totale aldehydes, MTBE, tetrachlooretheen, 1,2,4-trimethylbenzeen, temperatuur en vochtigheid. De data werden logaritmisch (ln) getransformeerd om een normaal verdeelde dataset te bekomen.

De resultaten van deze statistische analyses zijn samengevat in Tabel 8.

Tabel 8: univariate regressiemodellen met als responsfactoren ln-getransformeerde binnenluchtconcentraties en als verklarende factor een parameter voor luchtverversing (gemiddelde CO₂ concentratie, (ln-getransformeerd), aanwezigheid verluchttingsroosters of intensiteit van verluchten)

	gemiddeld CO ₂ -concentratie (ln-getransformeerd) in klaslokalen			aanwezigheid verluchttingsroosters	zelf-gerapporteerde intensiteit van verluchten
	significantie model?	intercept	helling	significantie model?	significantie model?
ln PM2.5	P<0.01	0.08	0.47	N.S.	N.S.
ln formaldehyde	P<0.001	-1.39	0.67	N.S.	N.S.
ln acetaldehyde	P<0.001	-2.31	0.58	N.S.	N.S.
ln totaal aldehydes	P<0.001	-0.83	0.62	N.S.	N.S.
ln benzeen	P<0.001	-1.75	0.28	N.S.	N.S.
ln toluen	P<0.05	-2.76	0.59	N.S.	N.S.
ln ethylbenzeen	P<0.01	-6.8	0.98	N.S.	N.S.
ln xylenen	P<0.05	-4.71	0.89	N.S.	N.S.
ln MBTE	P<0.001	-6.21	0.703	N.S.	N.S.
ln tetrachlooretheen	P<0.01	-5.72	0.63	N.S.	N.S.
ln 1,2,4 trimethylbenzeen	P<0.05	-6.42	1.02	N.S.	N.S.
ln TVOS	N.S.			N.S.	N.S.
ln relatieve luchtvochtigheid	P<0.001	3.43	0.0003	N.S.	N.S.

* N.S: niet significant op niveau P = 0.05 of kleiner

Behalve voor TVOS was er voor alle pollutanten een significant positieve relatie tussen de gemiddelde CO₂-concentraties in de klaslokalen en de binnenlucht concentraties in de klaslokalen. Tevens is er een significant positieve relatie tussen de gemiddelde CO₂-concentraties en de relatieve luchtvochtigheid.

Hoe slechter de luchtverversing in de klaslokalen, hoe hoger ook de binnenluchtconcentraties van de pollutanten, en hoe hoger de luchtvochtigheid.

Dit positief effect van luchtverversing op de reductie van pollutanten in binnenmilieu is niet verwonderlijk voor pollutanten waarvan gekend is dat ze voornamelijk door binnenbronnen geëmitteerd worden (formaldehyde, acetaldehyde, totaal aldehydes, tetrachlooretheen, 1,2,4-trimethylbenzeen).

Voor pollutanten met voornamelijk buitenbronnen (benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen, MBTE) is de verklaring en interpretatie van de relatie tussen luchtverversing en binnenluchtconcentraties minder evident. Op het eerste zicht lijkt dit zelfs tegenstrijdig, vermits men zou verwachten dat luchtverversing door inbreng van buitenlucht een negatieve invloed zou hebben op de binnenluchtkwaliteit. De bron van de luchtvervuiling ligt immers voornamelijk in het buitenmilieu.

Echter, zoals reeds besproken in 2.3.1 is er voor de meeste vluchtige organische stoffen een efficiënte penetratie vanuit de buitenlucht naar de binnenlucht, of m.a.w. vormt de gebouwschil geen barrière tegen buitenluchtvervuiling. Een hogere concentratie in binnenlucht van deze pollutanten bij lagere luchtverversingsgraad kan veroorzaakt worden door het feit dat deze pollutanten in het binnenmilieu trager verwijderd worden (lagere luchtsnelheid) dan in het buitenmilieu. Slecht geventileerde binnenmilieus functioneren als het ware als een vangnet voor pollutanten die uit het buitenmilieu afkomstig zijn.

Er was voor geen enkele pollutant een statistisch significante relatie tussen de aanwezigheid van ventilatieroosters en binnenluchtconcentraties. Evenmin was er voor geen enkele pollutant een statistisch significante relatie tussen zelfgerapporteerde intensiteit van verluchten en binnenluchtconcentraties.

2.5 Invloed van klasinrichting en binnenbronnen op de luchtkwaliteit in het binnenmilieu in de klassen

Univariate gemengde regressie-analyse werd toegepast om verbanden te zoeken tussen binnenluchtconcentraties en mogelijke binnenbronnen, klasinrichting, activiteiten in de klas en karakteristieken van de school.

Per pollutent werden enkel deze factoren getest waarvan we een oorzakelijk verband vermoedden. Bijvoorbeeld, het effect van de verdieping op binnenluchtconcentraties achten we enkel relevant voor verkeersgerelateerde pollutenten. Naast deze algemene factor als benadering voor binnenbronnen, gaan we ook de relatie tussen meer specifieke binnenbronnen na (bvb. gebruik van verven voor plafond, muren, gordijnen, schoonmaakmiddelen).

2.5.1 PM_{2.5}

Tabel 9: resultaten van univariate regressie-analyse van PM_{2.5} en mogelijks beïnvloedende factoren

Factor	Significantie
verdieping	N.S.
schoolbord	N.S.
gordijnen	N.S.
aantal leerlingen per klasvolume	P = 0.07
schoonmaakmiddelen	N.S.

Er was een relatie (P= 0.07) tussen PM_{2.5}-concentraties in klassen en het aantal leerlingen aanwezig per eenheid klasvolume. Dit wijst erop dat kinderen zelf een bron van fijn stof zijn. Resuspensie van fijn stof door fysieke activiteit van kinderen wordt in de literatuur meermaals aangehaald als verklarende factor van relatief hoge fijn stof concentraties in scholen (Roorda-Knape *et al.*, 1998; Diapouli *et al.*, 2007, Stranger *et al.*, 2007). Dit effect is doorgaans meer uitgesproken voor grotere deeltjes (PM₁₀) dan voor kleinere deeltjes (PM_{2.5}) (Fromme *et al.*, 2008).

Er werd geen significante relatie gevonden tussen PM_{2.5} concentraties in de klassen en de verdieping van de klas, het gebruik van schoolbordkrijt (versus bordstiften of stofvrij bordkrijt), het type gordijnen en schoonmaakactiviteiten. In alle klassen werd immers schoolbordkrijt gebruikt, al dan niet in combinatie met stofvrij bordkrijt en/of bordstiften. Gordijnen worden in klaslokalen waarschijnlijk ook meestal niet effectief open- en dichtgedaan. Het open- en dichtdoen van gordijnen i.p.v. louter de aanwezigheid van gordijnen zou waarschijnlijk eerder effect hebben op PM. Schoonmaakactiviteiten geven doorgaans hoge kortstondige pieken van PM, waardoor dit effect niet zichtbaar is in de 24-h gemiddelde PM_{2.5}-concentraties.

2.5.2 Aldehydes

Tabel 10: Resultaten van univariate regressie-analyse van aldehydes en mogelijks beïnvloedende factoren

Factor	formaldehyde	acetaldehyde	totaal andere aldehydes
renovatie	N.S.	N.S.	N.S.
volume klas	N.S.	N.S.	N.S.
vloerbekleding	P = 0.12	N.S.	P = 0.09
plafond	N.S.	N.S.	N.S.
gordijnen	N.S.	N.S.	N.S.
schoonmaakmiddelen	N.S.	N.S.	N.S.

De invloed van renovatie op aldehydes in binnenlucht werd onderzocht omdat aldehyde-emissies doorgaans hoger zijn in nieuwe materialen in vergelijking met oude materialen. Er werd echter geen significant effect gevonden van renovatie op aldehydeconcentraties in de klaslokalen.

Er was een heel zwak significant effect van het type vloerbekleding op concentraties formaldehyde en andere aldehydes in de klaslokalen. Klaslokalen waarin linoleum gebruikt werd als vloerbekleding hadden licht verhoogde concentraties t.o.v. klaslokalen met vloertegels. Andere mogelijk aldehyde emitterende producten (plafondbekleding, gordijnen, schoonmaakmiddelen) kwamen niet tot uiting als significant beïnvloedende factoren voor aldehyde concentraties in de klaslokalen.

2.5.3 MTBE, benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen

Tabel 11: resultaten van univariate regressie-analyse van MTBE en BTEX en mogelijks beïnvloedende factoren

Factor	MTBE	benzeen	tolueen	ethylbenzeen	xylenen
verdieping	N.S.	P = 0.02	N.S.	P= 0.0014	P = 0.0088
renovatie	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Concentraties benzeen, ethylbenzeen en xylenen lagen hoger in klassen op de verdieping dan in gelijkvloerse klassen. Deze vaststelling is tegen de verwachtingen in. We verwachtten immers lagere concentraties in klassen op hogere verdiepingen dan gelijkvloerse klassen omdat deze laatste dicht bij de bron staan. Hogere binnenlucht concentraties MTBE, toluen en benzeen in gelijkvloerse vertrekken dan op hogere verdiepingen zijn tevens gerapporteerd in de literatuur (bvb. Jo *et al.*, 2003; Ilgen *et al.*, 2001a). Deze auteurs verklaarden de hogere concentraties in binnenlucht op het gelijkvloers in vergelijking met hogere verdiepingen door het feit dat ook in de buitenlucht deze gradiënt aanwezig was, en bijgevolg door infiltratie van buitenlucht naar binnenlucht deze gradiënt doorgetrokken wordt naar het binnenmilieu. Ilgen *et al.* (2001) rapporteert dat buitenluchtconcentratie met factor 1.4 lager was op het eerste verdieping (3.5m) ten opzichte van het gelijkvloers, en dat de buitenluchtconcentratie op het vijfde verdieping nog eens met een factor 1.4 lager lag dan op de eerste verdieping.

We kunnen de hogere benzeen, ethylbenzeen en xylenen concentraties bij de BiBa-klassen gelegen op hogere verdiepingen niet verklaren. Renovatie was geen verklarende factor voor binnenluchtconcentraties in klaslokalen.

2.5.4 Tetrachlooretheen en 1,2,4-trimethylbenzeen

Tabel 12: resultaten van univariate regressie-analyse van tetrachlooretheen en 1,2,4-trimethylbenzeen en mogelijks beïnvloedende factoren

Factor	Tetrachlooretheen	1,2,4-trimethylbenzeen
renovatie	N.S.	N.S.
gordijnen	N.S.	- (niet getest)

Chemische reiniging van textiel (o.a. gordijnen) is de voornaamste bron van tetrachlooretheen. Er werd geen relatie gevonden tussen tetrachlooretheenconcentraties in klassen en het type gordijnen (textiel vs. kunststof). Renovatie kwam niet naar voor als verklarende factor voor binnenluchtconcentraties tetrachlooretheen of 1,2,4-trimethylbenzeen.

2.5.5 TVOS

Gebruik van luchtverfrissers en lijmen, verf en vernis, gebruik van (nieuwere) bouwmaterialen zijn algemeen gekend als bronnen voor TVOS. Toch komen deze bronnen niet naar voor als statistisch significant beïnvloedende factoren in de BiBa-database. De verdieping van de klaslokalen komt naar voor als een beïnvloedende factor. Echter, net zoals voor benzeen, ethylbenzeen en xylenen is er een trend tegengesteld aan onze verwachtingen: er blijken hogere concentraties te zijn in klaslokalen gelegen op verdieping 1, 2 of 3 in vergelijking met gelijkvloerse klassen. Er is een heel zwak effect van het gebruik van schoonmaakmiddelen op de TVOS-binnenluchtconcentratie in de klassen. Deze trend is wel zoals verwacht: hogere TVOS-concentraties bij gebruik schoonmaakmiddelen.

Tabel 13: resultaten van univariate regressie-analyse van TVOS en mogelijks beïnvloedende factoren

Factor	TVOS
verdieping	P = 0.034
renovatie	N.S.
ouderdom klaslokaal	N.S.
volume klas	N.S.
vloerbekleding	N.S.
plafond	N.S.
schoolbord	N.S.
gordijnen	N.S.
schoonmaakmiddelen	P = 0.13
verf, lijm, vernis	N.S.
luchtverfrissers	N.S.

Het feit dat veel bronnen, waarvan nochtans gekend is dat ze TVOS emitteren, niet tot uiting komen als significante factor voor TVOS-concentraties is waarschijnlijk te wijten aan de grote verscheidenheid aan bronnen en hun variabiliteit in de dataset. Bovendien is er binnen één type bron ook een grote verscheidenheid in emissiesterktes tussen de verschillende materialen, merken,... Sommige beïnvloedende factoren (ventilatie, buitenluchtkwaliteit) maskeren waarschijnlijk ook het effect van de emissies uit binnenbronnen op het binnenmilieu.

Bepaalde binnenbronnen geven ook waarschijnlijk aanleiding tot een kortstondig verhogen van het TVOS-gehalte, bvb. de eerste uren na gebruik van lijmen of een vernis. Het is mogelijk dat deze kortstondige pieken uitgevlakt worden en daarom niet zichtbaar zijn in de weekgemiddelde TVOS-concentraties. Ook niet-geïdentificeerde bronnen kunnen een verklaring zijn voor de afwezigheid van het statistisch effect.

2.5.6 Conclusie

In tegenstelling tot de duidelijke, significante effecten van buitenluchtkwaliteit en ventilatie op binnenluchtconcentraties in de BiBa-klaslokalen, is de invloed van binnenbronnen op de binnenluchtkwaliteit veel minder uitgesproken in de BiBa-dataset.

Enkele zwakke statistische verbanden tussen binnenbronnen en binnenluchtconcentraties werden gevonden: voor PM blijken de kinderen zelf een bron te zijn voor binnenluchtconcentratie, voor formaldehyde en acetaldehyde was er een zwakke relatie met het type vloerbekleding, en voor TVOS was er een zwakke relatie met het gebruik van schoonmaakmiddelen.

Waarschijnlijk is de invloed van andere binnenbronnen op de binnenluchtkwaliteit effectief aanwezig, maar niet zichtbaar in de database omwille van de grote

verscheidenheid aan binnenbronnen in de klaslokalen, en omdat het effect van deze emissiebronnen gemaskeerd wordt door andere beïnvloedende factoren zoals de invloed van de buitenlucht, luchtverversing, de aanwezigheid van andere (niet-geïdentificeerde) binnenbronnen,... Om het effecten van specifieke bronnen op de binnenluchtkwaliteit in klaslokalen na te gaan, zou een andere studie-opzet vereist zijn, waarbij beïnvloedende factoren andere dan emissiebronnen constant worden gehouden over de hele dataset.

2.6 Verklaring van de variatie van binnenluchtkwaliteit in de BiBa-klaslokalen aan de hand van geïdentificeerde factoren

De invloed van ventilatie en buitenluchtkwaliteit op de binnenluchtkwaliteit in de BiBa-klaslokalen werd aangetoond in 2.3 en 2.4. De invloed van binnenbronnen op de binnenluchtkwaliteit kwam niet duidelijk naar voor in de BiBa-dataset (2.5).

De BiBa-dataset werd gebruikt om regressiemodellen te bouwen om de binnenluchtconcentratie te voorspellen op basis van de geïdentificeerde beïnvloedende factoren (nl. ventilatie, a.h.v. gemiddelde CO₂-concentratie in klaslokalen en buitenluchtkwaliteit). Er werd nagegaan in welke mate het model (= ventilatie en buitenluchtkwaliteit) de variatie in binnenluchtkwaliteit in de BiBa-dataset kan verklaren. Hoe hoger de R² van het model, hoe beter de variatie in de binnenluchtkwaliteit kan verklaard worden. Bij een R² van 1 is alle variatie in de dataset te verklaren door ventilatie en buitenluchtkwaliteit. Bij een R² van 0 is er 0 % van de variatie te verklaren door ventilatie en buitenlucht, en is alle variatie te wijten aan andere factoren. Bij een R² van 0 zijn de geïdentificeerde verklarende factoren trouwens niet significant voor de binnenluchtkwaliteit.

De R² van de regressiemodellen plaatsen dus de invloed van ventilatie en buitenluchtkwaliteit op de binnenluchtconcentraties in perspectief van de resterende variatie in de database.

De regressiemodellen kunnen als volgt beschreven worden:

$$\text{Ln binnenlucht klaslokaal} = \text{intercept} + A \cdot \text{Ln CO}_2 + B \cdot \text{Ln buitenlucht}$$

Tabel 14: regressiemodellen: voorspelling binnenluchtkwaliteit op basis van buitenluchtkwaliteit en luchtverversing (gemiddelde CO₂ concentraties in klaslokaal als maat voor luchtverversing)

Ln Binnenlucht	intercept	A	B	R ²
PM _{2.5}	-3.29	0.81	0.38	0.51
formaldehyde	-0.33	0.44	0.29	0.34
acetaldehyde	-0.90	0.34	0.45	0.29
Totaal aldehydes	0.054	0.38	0.37	0.47
MTBE	-6.07	0.84	0.59	0.58
benzeen	-0.98	0.15	1.01	0.83
tolueen	-2.23	0.46	0.54	0.35
ethylbenzeen	-2.24	0.38	0.47	0.14
xylenen	-1.67	0.41	0.46	0.15
tetrachlooretheen	-4.60	0.71	0.97	0.77
trimethylbenzeen	-4.67	0.75	-0.10	0.04
TVOS	1.71	0.25	0.38	0.10

Voor benzeen kan 83 % van de variatie in de binnenluchtconcentraties verklaard worden door benzeen in de buitenlucht en gemiddelde CO₂-concentratie in de klaslokalen. De resterende 17 % van de variatie is toe te schrijven aan andere factoren (bvb. binnenbronnen, klasinrichting, adsorptie op materialen, tijdpatroon in ventilatie,...).

Voor PM2.5 en MTBE is ongeveer 50 % van de variatie in de binnenluchtconcentraties in de dataset te verklaren door buitenluchtconcentraties en gemiddelde CO₂-concentratie in de klaslokalen.

Voor een aantal stoffen (nl. xylenen en ethylbenzeen) waarvoor ventilatie en luchtverversing als significant beïnvloedende factoren geïdentificeerd werden (2.3 en 2.4) blijkt echter slechts een klein deel van de variatie (15 %) verklaard te worden door deze factoren. Andere, niet geïdentificeerde factoren (binnenbronnen, klasinrichting, adsorptie op materialen, tijdpatroon in ventilatie) spelen dus een grotere rol in de variatie in binnenluchtconcentraties in de BiBa-dataset dan ventilatie en buitenluchtkwaliteit.

HOOFDSTUK 3 DATA-INTERPRETATIE: TOETSING CONCENTRATIES AAN NORMEN EN BLOOTSTELLINGSCRITEERIA

3.1 Toetsing aan bestaande normen, richtlijnen en blootstellingscriteria

De concentraties gemeten in de 30 BiBa-scholen worden in dit hoofdstuk getoetst aan de richt- en interventiewaarden van het Vlaams BinnenMilieuBesluit, en aan blootstellingscriteria aanbevolen door toxicologische instanties (WHO, US-EPA, RIVM, ATSDR, Health Canada en OEHHA). Deze blootstellingscriteria zijn ontwikkeld om de algemene bevolking, inclusief gevoelige groepen zoals schoolgaande kinderen, te beschermen.

De normen van het ARAB (Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming) gelden in schoolgebouwen. Echter, deze normen zijn van toepassing voor werknemers in schoolgebouwen (leerkrachten, directie, administratief en logistiek personeel), en zijn bedoeld om gezonde werknemers te beschermen. De ARAB normen voor chemische stoffen zijn echter niet voldoende beschermend voor gevoelige groepen zoals schoolgaande kinderen. Om deze reden zullen de ARAB normen voor chemische stoffen niet gehanteerd worden als toetsingskader in deze studie. De luchtdebieten in de klaslokalen werden in 2.4 getoetst ten opzichte van de ARAB normen voor ventilatie.

3.1.1 Toetsing t.o.v. Vlaams BinnenMilieuBesluit

Toetsing van de binnenluchtconcentraties in de 90 klassen ten opzichte van de richt-en interventiewaarden van het Vlaams BinnenMilieuBesluit (Besluit van de Vlaamse Regering van 11 juni 2004 houdende maatregelen tot bestrijding van de gezondheidsrisico's door verontreiniging van het binnenmilieu (B.S.19.X.2004)) is weergegeven in tabel 15.

Tabel 15: toetsing binnenluchtkwaliteit in 90 klassen aan de richt- en interventiewaarden van het Vlaams BinnenMilieuBesluit: richt- en interventiewaarde en aantal BiBa-klaslokalen waar deze waardes overschreden werden

Vlaams BinnenMilieuBesluit						
			richtwaarde		interventiewaarde	
Chemische factoren						
	Een-heden	Uitmiddelingstijd	richtwaarde	overschrijdingen richtwaarde in BiBa-klaslokalen	Interventie-waarde	overschrijding interventiewaarde in BiBa-klaslokalen
PM _{2.5}	µg/m ³	jaar	15	35/88* voor weekgem. PM _{2.5} en 63/88* voor lesuren PM _{2.5}	-	
PM ₁₀	µg/m ³	24 h	40	46/88* voor weekgem. PM ₁₀ en 65/88* voor lesuren PM ₁₀	-	
Benzeen	µg/m ³	30 min	2	20/90	10	0/90
Tolueen	µg/m ³		260	0/90	-	
tVOS	µg/m ³		200	45/90	-	
formaldehyde	µg/m ³	30 min	10	85/90	100	0/90
acetaldehyde	µg/m ³		4600	0/90	-	
totaal andere aldehydes	µg/m ³		20	74/90	-	
CO ₂	mg/m ³		900	87/88 voor gemiddeld CO ₂ : 88/88 voor piekwaardes CO ₂	-	
Fysische factoren						
temperatuur, winter			20°C ≤ T ≤ 24°C (winter) 22°C ≤ T ≤ 26°C (zomer)	53/85* gemiddeld te laag; 0/85 gemiddeld te hoog; 35/85 gemiddeld OK; 15/85 pieken hoger dan 24°C	-	
ventilatievoud			≥ 1/uur	48/85* voldoen nooit aan > 1/uur; 30/85 soms: 12/85 voldoen op elk moment	-	
relatieve vochtigheid			30 ≤ RV ≤ 55 (winter) 30 ≤ RV ≤ 80 (zomer)	4/82* gemiddeld te laag > 6/82* gemiddeld te hoog; 70/82 gemiddeld OK: 62/82 overschrijden op piekmomenten RV 55	-	
Biotische factoren						
schimmels			< 200 KVE/m ³			

* wegens technische problemen gedurende de meetcampagne ontbreken voor 2 van de 90 klassen meetgegevens voor PM 2.5, PM10 en CO₂; voor 5 van de 90 klassen ontbreken temperatuursgegevens en voor 8 van de 90 klassen ontbreken data over relatieve vochtigheid

→ **Chemische factoren**

In 76 van de 88 klaslokalen werd de jaargemiddelde richtwaarde voor $PM_{2.5}$ (nl. $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) overschreden. Exacte massaconcentraties voor PM_{10} in de klaslokalen zijn niet voorhanden, maar op basis van de gecorrigeerde PM_{10} -metingen door de Grimm monitor, schatten we dat in iets meer dan de helft van de klassen de 24-h gemiddelde richtwaarde voor PM_{10} (nl. $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) overschreden werd. Vermits de uitmiddelingstijd voor de richtwaarde voor $PM_{2.5}$ en PM_{10} respectievelijk 1 jaar en 24 uur bedragen, is de vergelijking met de 24-h gemiddelde $PM_{2.5}$ - en PM_{10} -concentraties het meest gepast. De $PM_{2.5}$ - en PM_{10} -concentraties tijdens de lesuren – welke relevanter zijn voor blootstelling dan de 24-h gemiddelde concentraties – overschreden nog vaker deze richtwaarden: in op één na alle klassen overschreed de 8-h gemiddelde $PM_{2.5}$ de jaargemiddelde richtwaarde van $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en we schatten dat in meer dan 70 % van de klassen de 24-h PM_{10} -richtwaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreden werd tijdens de lesuren.

Voor benzeen stellen we vast dat in 20 van de 90 klassen de richtwaarde ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) overschreden werd, en in geen enkele school werd de interventiewaarde ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) overschreden. Er dient wel op gewezen te worden dat de uitmiddelingstijd voor deze richt- en interventiewaardes 30 minuten bedraagt, terwijl in deze meetcampagne weekgemiddelde concentraties bemonsterd zijn. Voor klassen waar de weekgemiddelde concentraties lager liggen dan de interventie- of streefwaarde kunnen we aldus niet volledig uitsluiten dat er op geen enkel 30-minuten tijdsinterval geen overschrijding van de interventie-of streefwaarde plaatsvond.

Tolueen en acetaldehyde concentraties lagen in alle klassen beneden de richtwaarden voor tolueen ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en acetaldehyde ($4600 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

In meer dan 80 % van de klassen werd de richtwaarde voor totaal andere aldehydes (exclusief formaldehyde en acetaldehyde) overschreden.

In de helft van de klassen werd de richtwaarde voor TVOS ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) overschreden. Op enkele klassen na werd in alle klassen de richtwaarde voor formaldehyde overschreden. Formaldehydeconcentraties in alle klassen bleven echter beneden de interventiewaarde voor formaldehyde. Dezelfde opmerking als voor benzeen i.v.m. uitmiddelingstijd voor de streef- en grenswaarden versus de meetcampagne is ook van toepassing voor formaldehyde.

In op één na alle klassen lag de gemiddelde 24-h gemiddelde CO_2 -concentratie hoger dan de richtwaarde van $900 \text{mg}/\text{m}^3$. In alle klassen waren er piekmomenten waarop de CO_2 -concentratie deze richtwaarde overschrijdt.

→ **Fysische factoren**

De 24-h gemiddelde temperatuur lag in 53 van 85 klassen lichtjes onder de ondergrens van 20°C (voor de winter), voor 35 van de 85 klassen lag de gemiddelde temperatuur in de gewenste zone tussen 20°C en 24°C , en voor geen enkele school lag de gemiddelde temperatuur boven de bovengrens van 24°C . In 12 van de 85 klassen waren er wel piekmomenten waarin de temperatuur boven 24°C lag. Het feit dat in meer dan de helft van de klassen de 24-h gemiddelde temperatuur lager lag dan 20°C wordt veroorzaakt doordat de verwarming 's nachts uitstaat.

In de helft van de klassen lag het ventilatievoud systematisch onder de richtwaarde van 1/uur. In slechts een klein aantal klassen (12/85) werd op alle momenten, waarop op basis van het CO_2 -profiel een ventilatievoud kon berekend worden (methode berekening ventilatievoud: zie WP 1), voldaan aan deze richtwaarde. Voor 30 van de 85 klassen wordt op sommige momenten wel voldaan aan deze richtwaarde, doch niet constant.

De 24-h gemiddelde relatieve vochtigheid voldoet in de grote meerderheid van de klassen aan de richtwaarde (voor de winter). In enkele klassen (4/82) was de 24-h gemiddelde relatieve vochtigheid te laag, en in enkele klassen (6/82) te hoog. Voor de meerderheid van de klassen waren er evenwel piekmomenten waarop de relatieve vochtigheid de bovengrens van 55 % overschreed.

Naast de richtwaardes voor relatieve vochtigheid van het Vlaams BinnenMilieuBesluit kan ook de vergelijking met de ARAB norm voor luchtvochtigheid gemaakt worden. Art 57 (natuurlijke verluchting) en Art 58 (mechanische verluchting) van het ARAB bepalen dat schikkingen dienen genomen te worden om relatieve vochtigheid tussen 40 en 70 % te verzekeren. In 3 klassen was de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid hoger dan de bovengrens van 70 % van het ARAB. In 32 klassen lag de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid lager dan de ondergrens van 40 % van het ARAB.

→ **Biotische factoren**

Toetsing van de metingen i.v.m. schimmelvorming aan de richtwaarde van het Vlaams BinnenMilieuBesluit (< 200 KolonieVormendeEenheden (KVE)/m³) is niet mogelijk vermits in de BiBa-studie geen microbiële uitplating is gebeurd, maar enkel de aanwezigheid en een indicatie van de grootte van het schimmeloppervlak werd bepaald.

3.1.2 Toetsing aan internationale normen en blootstellingscriteria

→ **toetsingskader**

In tegenstelling tot voor buitenlucht, is er in Europa geen wettelijke kader dat limieten oplegt voor binnenluchtkwaliteit. Het Air Quality Framework (Council Directive 96/62/EC) voor buitenlucht, en de dochterdirectieven bevatten limietwaardes voor SO₂; NO₂ en NO_x, PM en Pb in buitenlucht (1999/EC/30/EC), voor benzeen en CO in buitenlucht (2000/69/EC), voor ozon in buitenlucht (2002/30/EC) en voor As, Cd, Hg, Ni en PAKs in buitenlucht (2004/107/EC). Bij het opstellen van deze limietwaardes werd ervoor gezorgd om voldoende bescherming te bieden voor carcinogene en niet carcinogene effecten (de laatste is van belang voor bvb. benzeen).

Evenwel zijn er door de Wereldsgezondheidsorganisatie (WGO) aanbevelingen gemaakt i.v.m. binnenluchtkwaliteit.

In 2009 publiceerde de WGO de eerste richtlijnen voor binnenluchtkwaliteit, namelijk m.b.t. vocht en schimmel (WGO, 2009). Deze aanbevelingen bieden echter geen kwantitatief toetsingskader voor binnenluchtkwaliteit. WGO-richtlijnen binnenluchtkwaliteit voor chemische pollutanten (o.a. voor formaldehyde, benzeen,...) zijn momenteel nog in ontwikkeling (WGO, 2006).

Hoewel niet specifiek opgesteld voor het binnenmilieu, zijn de blootstellingcriteria voor inhalatie van US-EPA, ATSDR, WGO, RIVM, Health Canada, OEHHA ook geschikt als toetsingskader voor binnenluchtkwaliteit. Deze instanties hebben doorgaans blootstellingscriteria voor niet-carcinogene effecten enerzijds en voor carcinogene genotoxische effecten anderzijds.

Tabel 16: toxicologische blootstellingscriteria voor inhalatie voor de chemische stoffen gemeten in 90 BiBa-klaslokalen

	toxicologische limietwaarden (RfC) en eenheidsrisico voor kanker voor inhalatie voor chronische blootstelling									overschrijdingen t.o.v. strengste norm (RfC)
	US-EPA		WGO		RIVM	ATSDR	Health Canada	OEHHA	ASHRAE *	
	RfC µg/m ³	eenheids- risico per µg/m ³	RfC µg/m ³	eenheidsrisico per µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	mg/m ³	
PM _{2.5}	15 (ambient. 24 h)		10 (ambient. 1 week)							57/88 voor 24 h PM 2.5
PM ₁₀			20 (ambient. 1 week)							66/88 voor 24 h PM 10
MTBE	3000				2600	3000	37			0/90
benzeen		2.2-7.8 10 ⁻⁶	30	4.4-7.5 10 ⁻⁶		9.8		60		0/90
tolueen	400				400	300	3750	300		0/90
tetrachloro- etheen			250		250	200	360			0/90
ethyl-benzeen	1000		22000		770	1300		2000		0/90
xylenen	100		870		870	200	180			1/90
1.2.4- Trimethyl- benzeen										
TVOS										
formaldehyde		1.3 10 ⁻⁵	100 µg/m ³ /week			10				85/90
acetaldehyde	9	2.2 10 ⁻⁶	300				390			2/90
totaal andere aldehydes										
CO ₂								1829		21/88 (gemiddeld CO ₂) 88/88 (max. CO ₂)

*de limietwaarde voor CO₂ in binnenlucht in scholen aanbevolen door ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and conditioning Engineers) is in tegenstelling tot waardes voor andere stoffen niet gebaseerd op toxicologische effecten van de stof (CO₂), maar kan gezien worden als de aanbevolen limietwaarde voor ventilatie.

Het gebruik van drempelwaardes als blootstellingscriteria is geschikt voor stoffen die geen carcinogene effecten veroorzaken: voor deze effecten bestaan er veilige concentraties waar beneden er geen risico te verwachten is. De risicotoetsing van deze stoffen gebeurt als volgt: beneden de drempelwaarde verwachten we geen gezondheidsrisico, en boven de drempelwaarde kunnen we het gezondheidsrisico niet uitsluiten.

Het gebruik van drempelwaardes is echter niet geschikt voor stoffen die carcinogene, genotoxische effecten veroorzaken. Voor deze stoffen bestaan er geen veilige drempelwaardes, en wordt het eenheidsrisico gebruikt om de risico's in te schatten. Het eenheidsrisico drukt uit hoeveel extra kankergevallen er te verwachten zijn in een hypothetische populatie die levenslang blootgesteld is aan een bepaalde concentratie. Bijvoorbeeld, het eenheidsrisico voor benzeen (US-EPA) EPA ligt tussen $2.2 \cdot 10^{-6}$ en $7.8 \cdot 10^{-6}$ per $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit betekent dat in een hypothetische populatie van 1 miljoen mensen die levenslang blootgesteld zijn aan $1 \mu\text{g}$ benzeen/ m^3 er 2.2 – 7.8 individuen extra kanker zullen ontwikkelen gedurende hun leven ten gevolge van deze blootstelling aan benzeen.

Er is geen algemeen aanvaarde vuistregel in Vlaanderen, België of Europa over welke waarde voor het extra kanker risico als aanvaardbaar beschouwd wordt voor de algemene bevolking. De maatstaven voor aanvaardbaar risico voor de algemene bevolking variëren van 10^{-5} tot 10^{-6} .

De REACH guidance geeft als richtwaarde dat een risico van 10^{-6} voor algemene bevolking aanvaardbaar is, en van 10^{-5} voor werknemers (ECHA, 2008). De WereldGezondheidsOrganisatie (WGO) beschouwt voor hun drinkwaterkwaliteitsrichtlijnen –in relatie tot genotoxische carcinogene stoffen- een extra risico op kanker van minder dan 10^{-5} (1/100000) bij levenslange blootstelling als een toelaatbaar risico. Bij het opstellen van EU-richtlijnen voor luchtkwaliteit en drinkwater werd vertrokken van een extra risico van 10^{-6} als limietwaarde voor genotoxische, carcinogene effecten, hoewel hiervoor afwijkingen zijn. De EU-limietwaarde voor buitenlucht voor benzeen bijvoorbeeld ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) komt, rekening houdend met een eenheidsrisico van $2.2 \cdot 10^{-6}$ en $7.8 \cdot 10^{-6}$ per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ neer op een extra kankerrisico van $1 - 4 \times 10^{-5}$.

Van de stoffen die gemeten zijn in de BiBa-meetcampagne zijn er drie stoffen geklasseerd als (mogelijk) kankerverwekkend: benzeen, formaldehyde en acetaldehyde. Voor deze stoffen zijn kanker eenheidsrisico's afgeleid.

Voor het toetsen van het risico op kanker gebruiken we de EU-limietwaarde voor benzeen voor buitenlucht, vermits bij de afleiding van deze limietwaarde rekening gehouden werd met het genotoxisch effect. Vermits dergelijke limietwaardes niet bestaan voor formaldehyde en acetaldehyde, berekenen we voor deze stoffen het extra risico op kanker, en kaderen we dit versus de 'aanvaardbare range' ($10^{-5} - 10^{-6}$) voor extra risico op kanker.

Zoals reeds aangehaald, zijn de blootstellingscriteria of normen niet specifiek voor binnenlucht, maar zijn deze wel toepasbaar voor binnenlucht. Een uitzondering hierop is misschien de geschiktheid van PM-normen voor buitenlucht PM als norm voor binnenlucht omwille van verschillen in samenstelling tussen PM in binnenlucht versus PM in buitenlucht (zie nevenstudie 3).

Een overzicht van deze criteria (drempelwaardes en eenheidsrisico voor kanker) voor stoffen gemeten in de BiBa-meetcampagne is weergegeven in Tabel 16. We voeren in eerste instantie een toetsing van de binnenluchtconcentraties uit aan de strengste van de bovenvernoemde normen of blootstellingscriteria, indien er verschillende referentiewaardes voor één pollutant bestaan.

→ **PM**

De richtwaardes voor PM in buitenlucht opgesteld door US-EPA en WGO zijn strenger dan het Vlaams BinnenMilieuBesluit, en in 57 van de 88 klassen lag de 24-h gemiddelde PM_{2.5} waarde hoger dan de WGO-richtwaarde voor PM_{2.5} en in 66 van de 88 klassen lag de 24-h gemiddelde PM₁₀ waarde hoger dan de WGO-richtwaarde voor PM₁₀. De richtwaardes voor PM (WGO, US-EPA) zijn opgesteld voor buitenlucht, waarin PM afkomstig uit verbrandingsprocessen (diesel) waarschijnlijk verantwoordelijk zijn voor de schadelijke effecten. Vermits de samenstelling van PM in klassen kan verschillen ten opzichte van buitenlucht PM (zie nevenstudie 3), kan ook de toxicologische respons van PM in klassen verschillend zijn als van buitenlucht PM. Hoe sterk deze verschillen in samenstelling en toxicologische effecten tussen buitenlucht PM en binnenlucht PM in klassen zijn, is echter op heden niet gekwantificeerd.

→ **MTBE**

In geen enkele klas werd de strengste drempelwaarde voor MTBE (37 µg/m³, Health Canada) overschreden. De hoogste concentratie van alle klassen lag 10 maal beneden deze norm.

→ **Benzeen**

In geen enkele klas werd de strengste drempelwaarde voor niet-carcinogene effecten (RfC) voor benzeen (9.8 µg/m³, ATSDR) overschreden. De hoogste benzeenconcentratie van alle klassen bedroeg 4.0 µg/m³. Deze concentratie lag ook lager dan de EU-limiet voor benzeen in buitenlucht (5 µg/m³). Bij afleiding van deze norm werd rekening gehouden met bescherming tegen carcinogene en niet-carcinogene effecten.

→ **Tolueen**

In geen enkele klas werd de strengste drempelwaarde voor tolueen (260 µg/m³ voor buitenlucht, WGO) overschreden. De hoogste concentratie van alle klassen bedroeg 40 µg/m³.

→ **Tetrachlooretheen**

In geen enkele klas werd de strengste drempelwaarde voor tetrachlooretheen (200 µg/m³, ATSDR) overschreden. De hoogste concentratie van alle klassen (2 µg/m³) lag 100 maal lager dan deze drempelwaarde.

→ **Ethylbenzeen**

In geen enkele klas werd de strengste drempelwaarde voor ethylbenzeen (770 µg/m³, RIVM) overschreden. De hoogste concentratie van alle klassen bedroeg 36 µg/m³.

→ **Xylenen**

In 1 van de 90 klassen werd de strengste drempelwaarde voor xylenen (100 µg/m³, US-EPA) overschreden. De hoogste concentratie van alle klassen (192 µg/m³) lag ongeveer 2 maal boven deze drempelwaarde.

→ **1,2,4 trimethylbenzeen**

Voor 1,2,4-trimethylbenzeen zijn er geen toxicologische blootstellingcriteria afgeleid door één van de bovenvernoemde toxicologische instanties. Bij gebrek aan toxicologische blootstellingcriteria, gebruiken we de LCI-waarde van 1000 µg/m³. Een LCI-waarde wordt gehanteerd bij de evaluatie van emissies uit bouwmaterialen in testkamers. De LCI-waarde voor 1,2,4-trimethylbenzeen is gebaseerd op een blootstellingslimiet voor beroepsblootstelling (OEL) (uit Denemarken en U.K.), na toepassing van een veiligheidsfactor voor extrapolatie naar algemene bevolking. Er dient opgemerkt te worden dat deze toxicologische onderbouwing van de LCI-waarde zwakker is dan voor andere stoffen, en deze LCI-waarde als indicatief toetsingskader dient gebruikt te worden.

Desalniettemin, de LCI-waarde voor 1,2,4-trimethylbenzeen werd in geen enkele klas overschreden. De hoogste waarde lag ongeveer 5 maal lager (178 µg/m³). In alle andere klassen lag de concentratie 1,2,4-trimethylbenzeen meer dan 20 keer beneden de LCI-waarde.

→ **TVOS**

Geen toxicologische blootstellingscriteria beschikbaar.

→ **Formaldehyde**

In 85 van de 90 klassen lag de formaldehydeconcentratie hoger dan het strengste blootstellingscriterium voor niet-carcinogene effecten van 10 µg/m³ (ASTDR). In geen enkele klas werd evenwel de WGO-limietwaarde voor buitenlucht (1-week gemiddelde) van 100 µg/m³ overschreden.

ATSDR, Health Canada, IARC, en US-EPA hebben de carcinogeniteit van formaldehyde geëvalueerd. De eerste 3 instanties hebben geen eenheidsrisico afgeleid. Enkel US-EPA heeft een eenheidsrisico voor kanker (keelholte) bepaald ($1.3 \cdot 10^{-5}$ per µg/m³) op basis van de dosis-responsfunctie bij ratten.

Op basis van dit eenheidsrisico schatten we het risico op kanker bij levenslange blootstelling aan 6 – 70 µg/m³ formaldehyde (min – max formaldehyde concentratie in de 90 klassen) in op $7.8 \cdot 10^{-5}$ tot $9 \cdot 10^{-4}$. Deze cijfers liggen hoger dan de aanvaardbare range van 10^{-5} tot 10^{-6} . Er moet echter de kanttekening gemaakt worden dat het inschatten van het risico op kanker vrij onzeker is – waarschijnlijk hebben de andere toxicologische instanties geen eenheidsrisico's afgeleid.

→ **Acetaldehyde**

In 2 van de 90 klassen werd de strengste drempelwaarde voor niet-carcinogene effecten voor acetaldehyde (9 µg/m³, US-EPA) overschreden. Het betreft slechts lichte overschrijdingen (9,2 en 11,7 µg/m³). Merk hierbij tevens op dat er zeer grote verschillen zijn in drempelwaardes voor acetaldehyde (van 9 µg/m³ tot 390 µg/m³, Health Canada). De drempelwaarde van 9 µg/m³ ligt trouwens meer dan 100 keer lager dan de richtwaarde van het Vlaams BinnenMilieuBesluit (4600 µg/m³).

Op basis van het eenheidsrisico voor kanker ($2.2 \cdot 10^{-6}$ per µg/m³) schatten we het risico op kanker bij levenslange blootstelling aan 2 – 12 µg/m³ acetaldehyde (min – max acetaldehyde concentratie in de 90 klassen) in op $4.4 \cdot 10^{-6}$ tot $2.6 \cdot 10^{-5}$. Deze laatste waarde ligt net boven de aanvaardbare grenzen voor extra risico op kanker. Bemerkt hier eveneens dat enkel US-EPA een kanker eenheidsrisico voor acetaldehyde heeft opgesteld.

→ **CO₂**

In 21 van 88 klassen ligt het 24-h gemiddeld CO₂-niveau hoger dan de limietwaarde van 1000 ppm CO₂ (= 1829 mg CO₂/m³) aanbevolen door ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers). Merk hierbij op dat in tegenstelling tot waarden voor andere stoffen deze limietwaarde niet gebaseerd is op toxicologische effecten van de stof (CO₂), maar kan gezien worden als de aanbevolen limietwaarde voor ventilatie.

→ **Schimmel**

In het rapport 'WHO guidelines for indoor air quality –dampness and moulds' (WGO, 2009) worden alle schimmels in het binnenmilieu slecht voor de gezondheid geacht, en dit vanaf lage concentraties. Er worden evenwel geen gezondheidsgerelateerde normen voorgesteld in dit WGO-rapport.

Voor beschimmelde oppervlakten in het binnenmilieu wordt volgende evaluatieschaal door WIV (Wetenschappelijk Instituut voor Volksgezondheid) voorgesteld:

Besmet opp. in m ³	Evaluatie besmetting	Risico's
<0.3	Zwak	Zwak maar niet uit te sluiten
0.3-3	Gemiddeld	Afhankelijk van aanwezige soorten en van omgevingsomstandigheden
>3	Ernstig	Groot, onafhankelijk van aanwezige soorten

De referentieschaal in de BiBa-studie (> of < 1 A4) laat evenmin toe om de toetsing uit te voeren.

Dit zijn geen richt- of drempelwaarden gecorreleerd aan bepaalde gezondheidseffecten. Het Amerikaanse ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) en het Canadese ministerie Santé Canada gebruiken dezelfde bovengrens van 3 m² om een schimmelvlek als ernstig besmet te catalogeren.

3.1.3 Besluit

→ **Chemische factoren**

Deze toetsing bracht een aantal 'knelpunt chemische factoren' in de BiBa-klassen aan het licht: PM, formaldehyde, totaal andere aldehydes, benzeen, TVOS en CO₂. Concentraties van deze pollutanten overschreden in een substantieel deel van de 90 klaslokalen de *richtwaardes* van het Vlaams BinnenMilieuBesluit en/of internationale richtwaardes, limieten of blootstellingcriteria.

In geen enkele klas werd de *interventiewaarde* voor formaldehyde en benzeen overschreden. Voor PM, TVOS, totaal andere aldehydes en CO₂ geeft het Vlaams BinnenMilieuBesluit geen interventiewaardes.

Voor de volgende pollutanten lagen de concentraties in alle 90 klaslokalen beneden de *richtwaardes* van het Vlaams BinnenMilieuBesluit, en/of beneden internationale richtwaardes, limieten of blootstellingcriteria: MTBE, toluen, tetrachlooretheen, ethylbenzeen en 1,2,4-trimethylbenzeen. Acetaldehydeconcentraties in alle 90 klassen lagen beneden de richtwaarden van het Vlaams BinnenMilieuBesluit; in 2 klassen werd

wel de strengste internationale blootstellingslimiet overschreden. In 1 klas werd de blootstellingsgrens van US-EPA voor xylenen overschreden.

→ **Fysische factoren**

In de helft van de klassen lag de gemiddelde temperatuur lager dan de *richtwaarde* van het Vlaams BinnenMilieuBesluit en is het ventilatievoud systematisch onder de richtwaarde van 1/uur.

In de grote meerderheid van de klassen voldeed de gemiddelde relatieve vochtigheid aan de richtwaarden van het Vlaams BinnenMilieuBesluit.

3.2 Aandeel blootstelling in school t.o.v. totale blootstelling

Naast de school, is de thuisomgeving de belangrijkste plaats waar kinderen hun tijd doorbrengen, en deze levert bijgevolg de belangrijkste bijdrage voor hun blootstelling. In de FLIES-studie werd een enquête uitgevoerd naar de tijdsbesteding van kinderen (De Brouwere *et al.*, 2007). Tijdsbesteding van 35 kinderen werd bevestigd, waarvan 8 kinderen de lagere school leeftijd hadden (6-12 jaar). Gemiddeld over één week (weekdagen + weekenddagen) spendeerden deze kinderen 16.7 uur/dag thuis, en 5.4 uur/dag op school, waarvan 4.1 uur/dag in de klas en 1.3 uur/dag op de speelplaats. Andere omgevingen (transport, buitenschoolse activiteiten) namen gemiddeld 2 uur/dag in beslag.

In 2008 werden in 90 woningen verspreid over Vlaanderen concentraties van VOS in de binnenlucht gemeten (TOVO meetcampagne; Swaans et al, 2008). De metingen werden analoog uitgevoerd als in de BiBa-klassen, nl. passieve sampling gedurende 1 week. In deze meetcampagne voor woningen werden geen fijn stof metingen uitgevoerd.

In tabel 17 wordt een vergelijking gemaakt tussen de binnenluchtconcentraties in de BiBa-scholen en in de woningen van de TOVO-meetcampagne in 2008.

Zowel voor woningen als voor scholen is er een grote variatie in binnenluchtconcentraties tussen verschillende woningen onderling, en tussen verschillende scholen/klaslokalen onderling.

In het algemeen zijn concentraties in woningen vrij gelijkaardig aan de concentraties in scholen. Voor sommige stoffen is de mediane concentratie in woningen vrij gelijk aan de mediane concentratie in de scholen (formaldehyde, 1,2,4-trimethylbenzeen), terwijl voor andere pollutanten de mediane concentraties in scholen iets lager liggen dan voor woningen (MTBE, toluen, acetaldehyde, totaal aldehydes, TVOS). Voor een aantal pollutanten ligt de mediane concentratie iets hoger in scholen in vergelijking met woningen (benzeen, tetrachlooretheen, ethylbenzeen, xylenen). De verschillen in concentraties tussen scholen en woningen zijn echter niet significant.

Tabel 17: vergelijking tussen binnenluchtconcentraties (voor VOS) in de BiBa-scholen versus binnenluchtconcentraties in woningen in Vlaanderen

	BiBa-scholen (30 scholen x 3 klaslokalen)				90 woningen in Vlaanderen (metingen uitgevoerd in 2008)			
	gemiddeld	minimum	mediaan	maximum	gemiddeld	minimum	mediaan	maximum
MTBE	0.4	0.0	0.2	3.2	2.3	0.0	0.38	55
Benzeen	1.4	0.4	1.1	4.0	1.5	0.2	0.83	24
Tolueen	4.5	0.9	3.2	40	9.6	1.7	5.3	104
Tetrachloor- etheen	0.4	0.1	0.2	2.2	0.3	0.0	0.126	3
Ethylbenzeen	1.7	0.2	0.8	36	1.1	0.2	0.57	8
Xylenen	7.7	0.8	3.2	193	4.4	0.7	2.02	31
1,2,4-Trimethyl- benzeen	5.3	0.3	1.2	178	2.8	0.3	1.18	28
TVOS	238	18	201	1126	343	39	260	2892
formaldehyde	26	6.3	23	71	24	4.4	21	63
acetaldehyde	5.4	2.2	5.1	11.7	6.9	0.7	5.8	29
totaal aldehydes	33	8.7	31	78	50	15	46	128

Het aandeel blootstelling in school ten opzichte van de totale blootstelling werd geschat voor een kind waarvan we veronderstellen dat hij naar een school gaat waarin de mediane concentraties van alle klaslokalen (+ speelplaatsen) voorkomen, en dat hij tevens in een "mediane" woning woont, m.a.w. in een woning waarin mediane concentraties van alle woningen voorkomen. Blootstelling in andere omgevingen (transport en ontspanning) werd verwaarloosd, wegens het relatief klein aandeel in de tijdsbesteding, en de te beperkte dataset voor deze omgevingen in de FLIES-studie (De Brouwere *et al.*, 2007).

Tabel 18: aandeel blootstelling voor vluchtige organische stoffen in school ten opzichte van de totale blootstelling voor een kind dat naar een school gaat waarin mediane concentraties voorkomen, en waarvoor ook in zijn woning mediane concentraties voorkomen

	blootstelling binnen klas	blootstelling speelplaats	blootstelling woning
MTBE	12%	3%	85%
Benzeen	23%	8%	69%
Tolueen	13%	3%	85%
Tetrachlooretheen	26%	7%	67%
Ethylbenzeen	24%	3%	73%
Xylenen	27%	4%	70%
1,2,4-Trimethylbenzeen	20%	2%	78%
TVOS	15%	4%	81%
formaldehyde	21%	1%	78%
acetaldehyde	18%	2%	81%
totaal aldehydes	14%	1%	85%

Vermits er geen grote verschillen zijn in mediane concentraties in scholen versus woningen, en vermits kinderen veel meer tijd doorbrengen thuis dan in school, is de bijdrage van de blootstelling in scholen tot de totale blootstelling (12 – 27 % binnen in klaslokalen, en 1- 8 % op de speelplaats) kleiner dan de bijdrage van de blootstelling in woningen (67 – 85 %).

Deze cijfers voor een "mediane" kind zijn echter puntschattingen, en niet representatief voor alle kinderen. Het is vanzelfsprekend dat voor een kind dat naar een school gaat met een slechte binnenlucht kwaliteit, maar woont in een woning met een uitstekende binnenlucht kwaliteit, het aandeel blootstelling in school ten opzichte van de totale blootstelling veel hoger zal liggen dan voor het "mediane kind".

Vermits we geen gekoppelde metingen hebben tussen woningen en scholen, is het niet mogelijk om een bevolkingsdistributie van het aandeel blootstelling in school t.o.v. totale blootstelling in te schatten.

3.3 Risicoprofiel

In Hoofdstuk 2 kwam enerzijds buitenluchtkwaliteit en anderzijds ventilatie van de klaslokalen naar voor als sterk beïnvloedende factor voor de binnenluchtkwaliteit.

Slechte buitenluchtkwaliteit was deels te verklaren door verkeersdrukke. MTBE-concentraties in buitenlucht (merker voor verkeer) waren immers gecorreleerd aan BTEX-concentraties in buitenlucht.

Scholen die slecht geventileerd zijn en in de nabijheid van grote verkeersdrukke liggen kunnen dus aanzien worden als scholen met een hoog risico-profiel voor slechte binnenluchtkwaliteit. Of een school gelegen is in een stedelijke of landelijke omgeving draagt niet bij tot het risico-profiel. Andere factoren dan verkeer die bijdragen tot buitenluchtkwaliteit (bvb. emissies van industrie, huishoudens,..) werden niet onderzocht in deze studie en kunnen bijgevolg niet meegenomen worden in het definiëren van risico-profielen voor binnenluchtkwaliteit.

De invloed van emitterende bronnen in de klaslokalen (luchtverfrissers, lijmen, verf, gebruikte bouwmaterialen, bvb. kunststofpanelen, gebruik schoonmaakmiddelen) kwam slechts in zeer beperkte mate naar voor als significante beïnvloedende factor voor de chemische binnenluchtkwaliteit in de BiBa-dataset. Toch kunnen we het belang van binnenbronnen voor binnenluchtkwaliteit niet uitsluiten. Dit bleek ook uit de R^2 -waardes van de regressiemodellen gebaseerd op ventilatie en buitenlucht. Voor sommige stoffen (bvb. benzeen, MTBE) kon het regressiemodel (op basis van ventilatie en buitenlucht) een groot deel van de variatie in binnenlucht tussen de verschillende BiBa-klassen verklaren. Voor andere pollutanten was de voorspelkracht van het model op basis van ventilatie en buitenlucht beperkt, en is de grote resterende variatie te verklaren door invloeden van onder andere binnenbronnen.

Welke binnenbronnen exact een rol spelen kon niet geïdentificeerd worden in de BiBa-databank, en specifieke binnenbronnen kunnen bijgevolg niet meegenomen worden in het risico-profiel voor binnenluchtverontreiniging.

Voor $PM_{2,5}$ kwam het aantal kinderen per klasvolume naar voor als beïnvloedende factor. Dit betekent dat kleine, overbevolkte klassen een hoger risico-profiel hebben voor slechte binnenluchtkwaliteit m.b.t. fijn stof dan ruime klassen.

HOOFDSTUK 4 NEVENSTUDIES: SCHIMMELVORMING, "LEKKER FRIS" CAMPAGNE EN EFFECT VAN LUCHTZUIVERAAR, EN SAMENSTELLING TVOS

4.1 Nevenstudie 1: Schimmelvorming

In 7 van de 88 klaslokalen werd zichtbare schimmelvorming gerapporteerd (door de klastitularis die de vragenlijst invulde). In 4 van deze klaslokalen was de totale geschatte oppervlakte van de zichtbare schimmel kleiner dan een A4-blad. In twee klaslokalen was de totale geschatte oppervlakte van de zichtbare schimmel groter dan een A4-blad. Voor 1 klaslokaal werd de schimmelvorming gesitueerd in de nabijheid van de ramen.

In de overige 81 klaslokalen werd geen schimmelvorming gerapporteerd. Voor 2 van de 90 klaslokalen werd de vragenlijst m.b.t. schimmelvorming niet ingevuld.

4.1.1 Relatie tussen aanwezigheid van schimmel, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtverversing

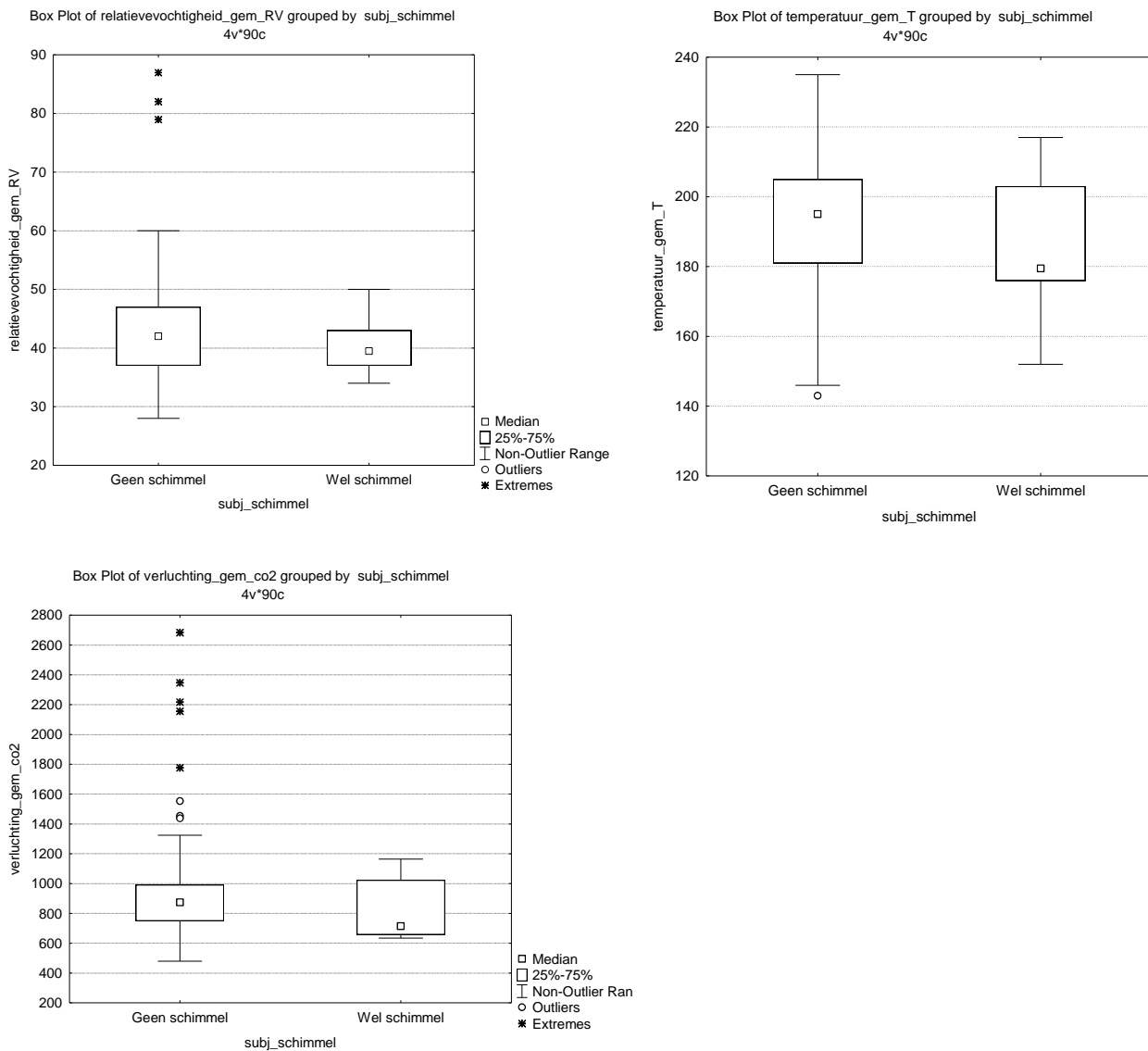
Vochtige condities en ontoereikende ventilatie bevorderen over het algemeen schimmelvorming. Een te hoge vochtigheid op binnenoppervlaktes leidt tot de groei van schimmels en bacteriën, die sporen, cellen, fragmenten en vluchtige organische stoffen verspreiden. Vochtproblemen in gebouwen worden door de WGO aanzien als een indicator voor risico's op astma en ademhalingsproblemen (WGO, 2009).

In 11 van de 88 klaslokalen werd zichtbare vochtschade gerapporteerd door de klastitularis. In alle klassen waar zichtbare schimmelvorming werd gerapporteerd, werd ook zichtbare vochtschade gerapporteerd. In 4 klassen werd er zichtbare vochtschade maar geen zichtbare schimmelvorming gerapporteerd. De prevalentie van vochtproblemen in de klaslokalen (12.5 %) is in overeenstemming met algemene prevalentiecijfers: er wordt geschat dat vochtproblemen voorkomen in 10 - 50 % van de binnenmilieus in Europa (WGO, 2009).

Er werd nagegaan of er naast het verband tussen zichtbare vochtschade en zichtbare schimmelvorming in de BiBa-klaslokalen, ook een verband tussen zichtbare schimmelvorming en gemiddelde relatieve luchtvochtigheid en/of gemiddelde temperatuur kon gevonden worden.

De spreiding in temperatuur (24-h gemiddeldes) en relatieve luchtvochtigheid (24-h gemiddeldes) in klaslokalen met en zonder schimmelvorming is weergegeven in figuur 21.

Figuur 21: relatieve luchtvochtigheid (links boven), gemiddelde temperatuur (rechts boven), en gemiddeld CO₂-gehalte (onder) in de klaslokalen met en zonder zichtbare schimmelvorming



Univariate logistische regressie werd toegepast om na te gaan of er al dan niet een statistisch verband was tussen de aanwezigheid van zichtbare schimmels in de klaslokalen enerzijds en gemiddelde temperatuur, de gemiddelde relatieve vochtigheid en/of de gemiddelde CO₂-concentratie (als maat voor luchtverversing) in de klaslokalen anderzijds.

De invloed van temperatuur van de klaslokalen op de aanwezigheid van schimmelvorming in de klas was niet significant ($P = 0.47$). Evenmin was er een significante invloed van relatieve luchtvochtigheid op schimmelvorming ($P = 0.77$), noch van gemiddeld CO₂-gehalte (als maat voor ventilatie) op schimmelvorming ($P = 0.62$).

De afwezigheid van een significante relatie tussen schimmelvorming en ventilatie in de BiBa-dataset wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het beperkt aantal klassen in de categorie "wel schimmel", en de grote spreiding in ventilatie in klaslokalen zonder schimmelvorming.

4.1.2 Relatie tussen schimmelvorming en ouderdom school, beglazing en verwarming

→ **Ouderdom school**

Het voorkomen van schimmelvorming wordt dikwijls geassocieerd met oude en slecht onderhouden gebouwen, hoewel relatief nieuwe maar slecht ontworpen gebouwen ook last kunnen hebben van vochtproblemen en schimmelvorming.

Deze trend tussen ouderdom van het klaslokaal en schimmelvorming is ook merkbaar in de BiBa-dataset: 6 van de 7 scholen *met* schimmelvorming behoren tot de oudste categorie (>20jaar).

Tabel 19: voorkomen van schimmelvorming in de klaslokalen naargelang de ouderdom van het klaslokaal

Ouderdom klaslokaal	Aantal klaslokalen schimmelvorming/totaal aantal klassen per ouderdomscategorie*
Jonger dan 6 maand	0/3
Tussen 6 maand en 2 jaar	0/5
Tussen 2 en 10 jaar	0/14
Tussen 10 en 20 jaar	1/8
Ouder dan 20 jaar	6/57

*voor 3 van de 90 klaslokalen werd geen ouderdom gerapporteerd

Het effect van ouderdom van het klaslokaal op schimmelvorming kon echter niet statistisch bevestigd worden (univariate logistische regressie ; $P= 0.98$). Dit is waarschijnlijk het gevolg van het relatief klein aantal klassen met schimmelvorming in de dataset.

→ **beglazing**

Het vervangen van enkel glas door dubbele beglazing leidt soms tot schimmelvorming. Vocht in de lucht heeft immers de neiging om neer te slaan op koude oppervlaktes. Daar waar vocht neerslaat op het koude oppervlakte van enkel glas, is dit niet langer het geval bij dubbel glas, en zoekt het vocht andere plaatsen zoals koudebruggen om te condenseren, alwaar schimmelvorming kan ontstaan.

In de BiBa-dataset was er geen statistisch effect te merken van beglazing (dubbel versus enkel) op schimmelvorming in de klaslokalen (univariate logistische regressie ; $P= 0.11$). Er was zelfs een licht omgekeerde trend: verhoudingsgewijs waren er meer klassen met enkel glas met schimmelvorming dan klassen met dubbel glas met schimmelvorming.

Tabel 20: voorkomen van schimmelvorming in de klaslokalen naargelang het type beglazing

beglazing	Aantal klaslokalen schimmelvorming/totaal aantal klassen per categorie*
Enkel glas	3/19
Dubbel glas	3/64

*voor 1 van de 7 klaslokalen met schimmelvorming werd het type van beglazing niet gerapporteerd

→ **Verwarming**

In de BiBa-dataset was er geen statistisch effect te merken van het type verwarming (centrale verwarming op stookolie versus centrale verwarming op aardgas) op schimmelvorming in de klaslokalen (univariate logistische regressie ; P= 0.98).

verwarming	Aantal klaslokalen schimmelvorming/totaal aantal klassen per categorie*
CV op stookolie	3/42
CV op aardgas	4/44

* voor 4 klassen werd het type verwarming niet gerapporteerd

4.2 Nevenstudie 2: Effect van interventie 'Lekker Fris'

In deze nevenstudie werd het effect van een interventie om de luchtkwaliteit te verbeteren door de sensibilisatie van leerlingen en leerkrachten i.v.m. ventilatie, gemeten. Hiertoe werden CO₂, relatieve vochtigheid en temperatuur geregistreerd voor en na het implementeren van het lessenpakket 'Lekker Fris' in deze klassen. Alhoewel het lessenpakket zich richtte tot klassen uit de tweede graad van het basisonderwijs, werden ook in de eerste en de derde graad van deze deelnemende scholen dezelfde metingen uitgevoerd.

In de klassen die niet behoorden tot de doelgroep van het initiatief, werd geen eenduidig effect waargenomen. Indien in deze klassen 'een' effect waargenomen werd, kan het noch met zekerheid toegeschreven worden aan Lekker Fris, noch aan een toevalseffect. Daarom worden in Tabel 21 de waarden van de doelgroep gerapporteerd.

Tabel 21: CO₂, relatieve vochtigheid en temperatuur in de 4 Lekker Fris scholen, voor en 2 tot 3 weken na het uitvoeren van het lessenpakket Lekker Fris

	Voor Lekker Fris				Na Lekker Fris				% na tov voor
	S13	S14	S15	S16	S13	S14	S15	S16	
24h CO ₂ (ppm)	992	911	787	845	994	892	866	806	101±6 %
8h CO ₂ (ppm)	1075	1480	1370	1660	658	1014	997	1490	73±12 %
24h RV (%)	33	45	41	36	35	59	51	45	122±12 %
24h T (°C)	21	16	19	19	19	20	17	18	100±14 %

In de vier klaslokalen werd op 24h-gemiddelde basis geen verschil waargenomen tussen de verluchting voor en na de uitvoering van het sensibilisatieproject; de CO₂ concentratie na Lekker Fris was gemiddeld 101 ± 6 % tov de concentratie de situatie voor sensibilisatie. (zie Tabel 21).

Wanneer men echter de situatie beschouwt op 8h-gemiddelde basis, i.e. tijdens de lessen, dan is een duidelijk effect van de sensibilisatie merkbaar in de CO₂-concentraties. Gemiddeld daalde het CO₂-gehalte tot 73 ± 12 % van de concentraties voor de sensibilisatie, met een grootste daling tot 61% en een kleinste daling tot 90%. Deze grote spreiding is te verwachten, aangezien de implementatie van Lekker Fris in de klassen enkel wordt opgevolgd door de klastitularis, en het succes ervan bijgevolg bepaald wordt door de toewijding en motivatie van de leerkracht. Verder wordt het resultaat van Lekker Fris ook bepaald door de ventilatiemogelijkheden van een klaslokaal (bijvoorbeeld kleine vensters in één muur van het lokaal versus grote vensters in meerdere muren).

Het stimuleren van ventilatie had in deze beperkte steekproef ook een klein effect op de relatieve vochtigheid in de klaslokalen, die gemiddeld verhoogde ten opzichte van de situatie voor de staalname. Hierbij dient echter vermeld te worden dat de metingen na Lekker Fris 2 tot 3 weken na de eerste meting plaatsvonden, en dat er bijgevolg ook een invloed van de weersomstandigheden kan zijn (deze opmerking geldt niet voor CO₂, immers, indien een klaslokaal minder verlucht zou worden bij vochtiger weer, zou men hogere CO₂-concentraties verwachten tijdens de tweede periode, en dit wordt niet waargenomen). De temperatuur in de klaslokalen bleef gemiddeld dezelfde.

Conclusie: Uit deze beperkte steekproef blijkt dat de sensibilisatiecampagne Lekker Fris in deze klaslokalen wel degelijk een positief effect had op het CO₂-gehalte, en dus de verluchting van de klaslokalen. De juiste opvolging door de klastitularis, ook na de uitvoering van het lessenpakket, is waarschijnlijk een erg belangrijke parameter, die het succes van Lekker Fris bepaalt.

Van de kinderen uit deze Lekker Fris nevenstudie werd de uitgeademde NO bepaald voor en na de uitvoering van dit sensibiliseringsproject. Deze data worden gerapporteerd in paragraaf 4.4.

4.3 Nevenstudie 3: Effect van interventie 'lucht zuiveren'

In deze nevenstudie werd voor 3 scholen bestudeerd of de concentraties binnenpolluenten gereduceerd kunnen worden door gebruik te maken van een systeem dat de lucht zuivert. Er werd geopteerd voor een eenvoudig systeem, dat de lucht door een HEPA-type filter met een koolstoffilter aanzuigt (Bionaire BAP 412). De meetperiode vond plaats gedurende twee opeenvolgende weken, waarbij tijdens de eerste week de 'normale' situatie in kaart gebracht werd, en tijdens de tweede week het effect van de interventie 'lucht zuiveren' bestudeerd werd.

In beide meetweken werden CO₂, temperatuur, relatieve vochtigheid, PM_{2.5} en de elementaire samenstelling van PM_{2.5} geregistreerd. Uitgeademde NO werd gemeten bij de kinderen van de deelnemende klassen voor de interventie en de week volgend op de interventie. Deze gegevens worden gerapporteerd in paragraaf 4.4. Om een controlegroep kinderen voor NO-testen te verkrijgen, werd telkens in één klas per school een luchtzuiveraar geïnstalleerd, die aan stond, maar echter werkte zonder HEPA-filter. In elke klas werd dus een luchtzuiveraar geïnstalleerd, al dan niet uitgerust met een HEPA- en koolstoffilter. Noch leerlingen, noch klastitularis waren op de hoogte van de aan- of afwezigheid van een filter in het systeem.

Bijgevolg werd de lucht gezuiverd in 6 van de 9 klaslokalen, in 3 klaslokalen werd geen interventie doorgevoerd. Deze werkwijze laat tevens toe een controleklas voor de luchtkwaliteit aan te duiden, i.e. een klas waar twee achtereenvolgende weken de luchtkwaliteit bepaald werd, zonder de lucht te zuiveren met een HEPA-filter.

4.3.1 Effect van 'Lucht Zuiveren' PM_{2.5} in klaslokalen

Om het effect van de interventie 'lucht zuiveren' op PM_{2.5} na te gaan, wordt gewerkt met I/O ratio's. We kunnen ervan uitgaan dat, indien de interventie het vooropgestelde doel bereikte, de I/O ratio van PM_{2.5} na de interventie lager zal zijn dan deze voor de interventie. Op deze manier nemen we ook eventuele invloeden van de buitenluchtconcentratie (ten gevolge van de verschillende meetperiodes) in rekening, en gaan we na in hoeverre de pollutentconcentraties in de klaslokalen verhoogd of verlaagd zijn ten opzichte van de eerste meetperiode. Zowel het ventilatiepatroon als het gemiddelde CO₂-gehalte in de respectievelijke klaslokalen was vergelijkbaar gedurende de twee meetperiodes (zie Tabel 22) dus we kunnen veronderstellen dat, indien we een effect waarnemen, er een grote waarschijnlijkheid is dat dit het gevolg is van de interventie.

Tabel 22: Gemiddeld CO₂-gehalte in de scholen voor Luchtzuivering

	Voor Lucht zuiveren			Na Lucht Zuiveren		
	S17	S24	S26	S17	S24	S26
24h CO ₂ (ppm)	1198	814	1016	1209	850	979

Het vergelijken van de situatie in klaslokalen uitgerust met interventie, met de situatie in klaslokalen zonder interventie, zou een bijkomende vestiging kunnen geven aan het

oorzakelijk verband tussen het gebruik van een luchtzuiveraar en een betere luchtkwaliteit.

Tabel 23 toont dit overzicht van de I/O ratio's per klaslokaal, met een opsplitsing tussen klassen met en deze zonder interventie. Over het algemeen wordt het effect van het gebruik van een luchtzuiveraar voornamelijk waargenomen in de $PM_{2.5}$ -concentratie. Gemiddeld werd de I/O ratio van $PM_{2.5}$ in de klaslokalen gereduceerd tot $58 \pm 19\%$ van de I/O ratio die geregistreerd werd voor de interventie. In deze beperkte steekproef is ook te zien dat het effect van het gebruik van een luchtzuiveraar meer uitgesproken is in klaslokalen die initieel een hogere I/O ratio hadden.

Het is belangrijk op te merken dat deze bevindingen slechts een indicatie geven van een mogelijk positief effect van luchtzuivering op de binnenluchtkwaliteit in een klaslokaal. Dit zijn immers de resultaten van één test in elke klas. Een meer gedetailleerd onderzoek is nodig om een algemeen geldende conclusie te formuleren in verband met de verbetering van de luchtkwaliteit ten gevolge van zuiveren van de lucht in klaslokalen. De werking van deze luchtzuiveraar op langere termijn, wanneer bijvoorbeeld filterverzadiging kan optreden, werd niet beschouwd in deze studie. Ook het effect op andere (gasvormige) contaminanten kan nog verder onderzocht worden.

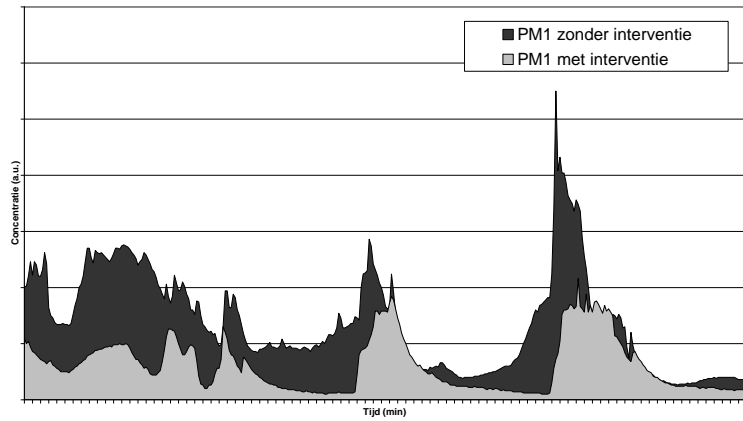
Tabel 23: I/O ratio's van $PM_{2.5}$ voor en na de interventie luchtzuivering

I/O VOOR INTERVENTIE		I/O NA INTERVENTIE
S17 K1	2.3	1.6
S17 K2	2.2	1.0
S24 K1	1.2	0.8
S24 K3	1.4	1.1
S26 K1	4.6	2.4
S26 K2	6.9	2.1
I/O ZONDER INTERVENTIE		
S17 K3	1.5	1.3
S24 K2	1.5	0.9
S26 K3	4.6	n.a.

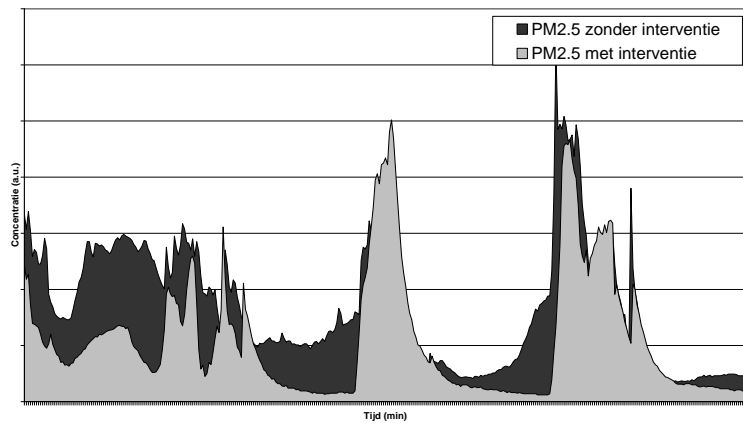
Het effect van luchtzuivering kan ook bestudeerd worden aan de hand van de fijn stofprofielen, geregistreerd met de Grimm-monitor. Hierbij kan dan de invloed van de luchtzuivering op de verschillende PM-fracties, PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} beschouwd worden.

Figuur 22 toont een overzicht van deze vergelijking voor en na de interventie lucht zuiveren. Voor deze vergelijking werd de school gekozen met het kleinste verschil tussen de buitenconcentraties $PM_{2.5}$ tussen beide meetperiodes. Een vergelijking van figuren A, B en C doet veronderstellen dat het effect van luchtzuiveren meer uitgesproken is voor de kleinere PM-fracties dan voor de grotere; de grafiek voor PM_{10} overlapt tijdens de tweede meetperiode deze van de eerste meetperiode, terwijl dit niet zo is voor $PM_{2.5}$ en PM_1 . Het grootste verschil tussen de twee meetperiodes is te merken in PM_1 . Dit wijst erop dat de grovere stofdeeltjes, PM_{10} , in een klaslokaal blijkbaar sneller gegenereerd worden dan de fijnere fracties (PM_1 en $PM_{2.5}$) en dat de luchtzuiveraar de stofdeeltjes blijkbaar niet even snel kan verwijderen als ze gevormd worden.

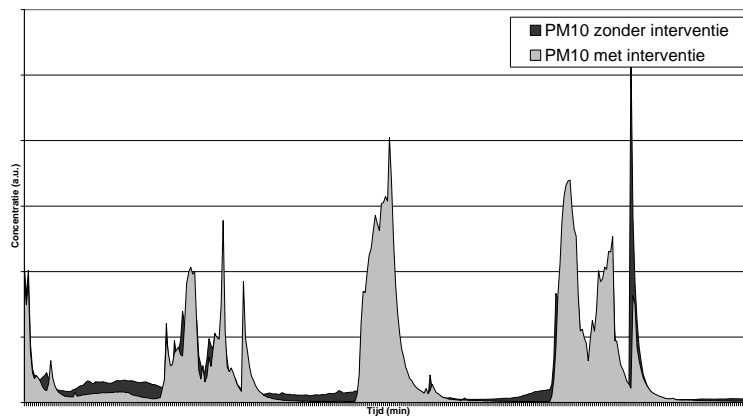
Figuur 22: PM_1 (figuur A), $PM_{2.5}$ (Figuur B), en PM_{10} (Figuur C) met en zonder interventie



FiguurA: PM_1 met en zonder interventie



Figuur B: $PM_{2.5}$ met en zonder interventie



Figuur c: PM_{10} met en zonder interventie

4.3.2 Effect van 'Lucht Zuiveren' op de samenstelling van PM in klaslokalen

Dit luik van de nevenstudie heeft tot doel om:

- de samenstelling van PM_{2.5} in 9 klaslokalen te vergelijken met de samenstelling ervan op de bijhorende speelplaats,
- de representativiteit van deze metingen na te gaan in de tweede meetperiode
- nader te bekijken of de interventie van de luchtzuiveraar waar te nemen is in de samenstelling van PM_{2.5} in de klaslokalen.

Tabel 24 toont een overzicht van de elementconcentraties in de PM_{2.5}-fractie van fijn stof, gemeten in de 9 klaslokalen en op de speelplaats van elke school. Door middel van een ICP-analyse (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) van de filterstalen werden de concentraties van de elementen aluminium, arseen, barium, cadmium, chroom, cobalt, ijzer, koper, lood, mangaan, nikkel, seleen, tin, titaan, vanadium en zink op iedere filter bepaald.

Ondanks het feit dat in een aanzienlijke hoeveelheid van deze stalen concentraties beneden de detectielimiet van de meettechniek geregistreerd werden, leveren deze resultaten zeer relevante informatie op in verband met fijn stof in klaslokalen en de oorsprong ervan.

Tabel 24: De elementaire samenstelling van PM_{2.5} in klaslokalen en op de speelplaatsen, voor en na de interventie (in ng.m⁻³)

	Voor interventie				Na interventie			
	S17 K1	S17 K2	S17 K3	S17 out	S17 K1	S17 K2	S17 K3	S17 out
Aluminium	1550	1030	696	600	1582	4367	777	27
Arseen	<27	<27	<27	<22	<27	<27	<27	<22
Barium	21	18	<13	<11	20	20	<13	<11
Cadmium	<7	<7	<7	<6	<7	<7	<7	<6
Chroom	15	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Cobalt	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Ijzer	890	1070	601	190	929	1145	1115	94
Koper	17	<13	<13	<11	18	<13	<13	<11
Lood	30	37	<27	<22	<27	32	<27	<22
Mangaan	23	25	<13	<11	25	27	19	<11
Nikkel	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Seleen	<67	<67	<67	<56	<67	<67	<67	<56
Tin	<27	<27	<27	123	<27	<27	<27	54
Titaan	195	226	111	<11	203	229	129	<11
Vanadium	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<15
Zink	40	46	<13	50	10	61	63	<22

Vervolg Tabel 24

	Voor interventie				Na interventie			
	S24 K1	S24 K2	S24 K3	S24 out	S24 K1	S24 K2	S24 K3	S24 out
Aluminium	111	3942	383	103	262	238	455	44
Arseen	<27	<27	<27	<22	<27	<27	<27	<22
Barium	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Cadmium	<7	<7	<7	<6	<7	<7	<7	<6
Chroom	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Cobalt	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Ijzer	158	202	169	73	150	130	211	66
Koper	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Lood	<27	<27	<27	<22	<27	<27	<27	<22
Mangaan	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Nikkel	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Seleen	<67	<67	<67	<56	<67	<67	<67	<56
Tin	<27	<27	<27	129	<27	<27	<27	22
Titaan	21	41	29	<11	27	43	26	<11
Vanadium	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Zink	<13	<13	<13	30	70	<13	<13	23

	Voor interventie				Na interventie			
	S26 K1	S26 K2	S26 K3	S26 out	S26 K1	S26 K2	S26 K3	S26 out
Aluminium	1474	1268	914	57	2180	3347	1200	61
Arseen	<27	<27	<27	<22	<27	<27	<27	<22
Barium	19	61	24	<11	31	89	26	<11
Cadmium	<7	<7	<7	<6	<7	<7	<7	<6
Chroom	<13	14	<13	<11	<13	18	17	<11
Cobalt	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Ijzer	446	978	522	91	1056	2778	847	149
Koper	<13	17	<13	<11	<13	19	<13	<11
Lood	<27	<27	<27	<22	<27	<27	<27	<22
Mangaan	8	20	<13	<11	24	61	19	<11
Nikkel	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Seleen	<67	<67	<67	<56	<67	<67	<67	<56
Tin	<27	<27	<27	48	<27	<27	<27	76
Titaan	61	158	81	<11	122	306	107	<11
Vanadium	<13	<13	<13	<11	<13	<13	<13	<11
Zink	<13	124	41	<22	<13	215	21	<22

In de elementconcentraties van beide meetperiodes is duidelijk te zien dat bodemstofelementen telkens in hogere absolute concentraties in PM_{2,5} in de klaslokalen voorkomen dan in PM_{2,5} op de speelplaats. Zo komen de elementen aluminium, barium, ijzer, mangaan en titaan telkens in verhoogde concentraties in de klaslokalen voor ten opzichte van buiten. Bijvoorbeeld voor aluminium worden in sommige gevallen concentraties tot 160 keer groter dan de buitenconcentraties geregistreerd. De zware metalen daarentegen, zoals bijvoorbeeld arseen, cadmium, chroom, cobalt of vanadium, komen zowel in de binnen- als in de buitenlucht voor in concentraties lager

dan de detectielimiet. Slechts bij uitzondering wordt in de binnenlucht een concentratie aangetroffen die de buitenconcentratie licht overschrijdt.

Deze vaststellingen geven een duidelijke indicatie voor een verhoogde bijdrage van bodemstofelementen in $PM_{2.5}$ in de klaslokalen. Dit bodemstof is typisch het gevolg van resuspensie door de beweging en de aanwezigheid van kinderen in de klaslokalen. Deze conclusie wordt bevestigd in de resultaten van de tweede meetperiode. De resultaten geven een aanwijzing dat antropogene elementen, zoals zware metalen, in de binnenlucht de buitenconcentraties niet overschrijden, en dat hun voorkomen bijgevolg het resultaat is van infiltratie van buitenlucht in de klaslokalen.

In tegenstelling tot de massaconcentraties van fijn stof, is het effect van de luchtzuiveraar niet duidelijk merkbaar in de (absolute) elementconcentraties in $PM_{2.5}$. I/O ratio's kunnen immers voor deze set elementen niet berekend worden, omwille van de concentraties in de buitenlucht, die lager zijn dan de detectielimiet van de meettechniek.

4.4 Nevenstudies 2 en 3: De biomerker uitgedemde NO (eNO)

In bovenstaande nevenstudies werd bij de kinderen uit de klassen waar een interventiestudie werd uitgevoerd, NO in ademlucht gemeten in de week vóór de interventie en in de week van de interventie. Uitgedemde NO wordt gezien als een goede merker van inflammatie. De online meting gedurende een single-breath exhalatie tegen een weerstand, is de meest gangbare praktijk om NO te meten. In deze studie werd eNO gemeten met een toestel van EcoMedics. Het ademmaneuver houdt in dat alle lucht uitgedemd wordt, gevolgd door snelle inhalatie van NO-vrije lucht tot totale longcapaciteit en dan exhalatie gedurende 10 seconden bij een constante flow rate 50 mL/sec. De uitgedemde NO wordt gemeten gedurende de laatste 3 seconden van de exhalatie. Op die manier wordt eNO van de lagere luchtwegen gemeten. Exhalatie tegen een constante weerstand zorgt ervoor dat een vellum wordt gesloten en er geen nasale contaminatie is. De meting is gebaseerd op chemiluminescentieanalyse waarbij NO reageert met ozon (O_3), waarbij een NO_2^* radicaal wordt gevormd, welke terugkeert tot het basaal energieniveau door een foton te emitteren. De lichtkwantiteit is proportioneel met de eNO-concentratie.

NO wordt enzymatisch gevormd uit L-arginine door NOSynthase (NOS), waarvan 3 isovormen bestaan. Constitutief NOS (cNOS) is aanwezig in endotheliale cellen (eNOS) en in neuronen (nNOS). Endogeen NO wordt geproduceerd in kleine hoeveelheden als een respons op receptor stimulatie of fysische activatie van de cel. Het geproduceerde NO ageert als een intra- of intercellulaire messenger. NO kan ook gevormd worden door induceerbaar NOS (iNOS) welke aanwezig is in epitheliale cellen. Deze isovorm kan geïnduceerd worden door verschillende cytokines (IFN- γ , TNF- α , IL-1), endotoxines en oxidanten welke tot expressie komen in alveolaire macrofagen, eosinofielen en epitheliale cellen. NO wordt geproduceerd over de gehele luchtweglengte (wel vooral in de hogere luchtwegen en paranasale sinussen). De normale functies van NO zijn relaxatie van zacht spierweefsel (vasodilatatie van de bronchiale circulatie), werking als neurotransmitter, en aansturen van ciliaire beweging. Verhoogde NO wordt gevonden bij inflammatie, het heeft een rol bij verdediging tegen bacteriële of virale infectie, is effectief tegen schimmels en parasieten en mogelijk ook tegen tumoren. Verhoogde eNO waarden in astmatische patiënten worden veroorzaakt door verhoogde NO in de lagere luchtwegen (90% specificiteit voor astmadiagnoses. Bij cystische fibrose (mucopatiënten) zijn NO waarden lager dan bij gezonde personen. NO waarden worden beïnvloed door de atopie status, luchtweginfectie en medicatie. Bij kinderen neemt NO toe met de leeftijd en de lengte tot de leeftijd van 10 jaar. Er is geen verschil tussen meisjes en jongens. Nitraatrijke voeding zoals groene groenten, doet de eNO meting sterk toenemen, met een maximum na 2 uur en een verhoging tot ca. 15 uur na consumptie. Ook voedsel dat L-arginine bevat, zoals chocolade, gelatine, noten en graanproducten doen de eNO waarde toenemen. Alcohol gebruik resulteert in lagere waarden bij astmatische patiënten (mogelijk inhibitie van iNOS, welke vooral bij patiënten aanwezig is). Ook cafeïne en roken verminderen eNO.

Gemeten eNO waarden

Van de 205 kinderen waarbij de meting gepland werd, hebben 4 kinderen het ademmaneuver niet kunnen of willen uitvoeren. Zestien kinderen konden niet hermeten worden in de tweede meetcampagne omwille van ziekte of afwezigheid.

Bij de meting van eNO werden drie metingen uitgevoerd per persoon per campagne. De eNO meting is in principe een gemiddelde waarde van de drie opeenvolgende metingen. Op de metingen werd echter eerst een kwaliteitscontrole uitgevoerd. Indien één van de drie metingen sterk afweek (> 30%), werd een gemiddelde gemaakt op basis van de twee overblijvende metingen. Indien de variatie tussen alle drie opeenvolgende metingen >30% bedroeg, werd de meting niet aanvaard. Metingen met waarden lager dan 4 ppb werden niet aanvaard, gezien het te wijten kan zijn aan een slecht uitgevoerd ademmaneuver. Normaalwaarden van eNO liggen meestal in de range van 5-20 ppb.

Heel wat eNO-metingen konden op basis van de kwaliteitscriteria (zie kader) niet weerhouden worden. Tijdens de eerste meetcampagne werden, van de 198 uitgevoerde metingen bij de kinderen, 2 metingen verwijderd gezien deze kinderen de laatste uren spinazie hadden gegeten en waren 66 metingen niet conform de kwaliteitscriteria. Dit resulteerde in meetwaarden van 130 kinderen bij de eerste campagne.

In de tweede campagne, na de interventies werd bij 189 kinderen een NO meting uitgevoerd, waarvan 142 kwalitatieve metingen. De eNO-metingen waren niet gerelateerd met leeftijd, geslacht of lengte van de kinderen (getoetst via enkelvoudige lineaire regressie).

Gezien uitgedemde NO een merker is van inflammatie, werd in eerste instantie nagegaan of er een relatie was tussen de eNO-meting en de parameters voor luchtweginfectie die werden bevraagd op de dag van de meting ("momenteel last van..."). Dit werd nagegaan via enkelvoudige lineaire regressie.

De eNO-waarden waren significant positief gerelateerd met kortademigheid en verstopte neus. Er was geen significante relatie met hoesten, hoesten 's nachts, keelpijn, lopende neus, piepende ademhaling, hoofdpijn of vermoeidheid. Kortademigheid en verstopte neus zijn meegenomen in het onderzoek naar effect van de interventiestudie. Dit werd onderzocht via een mixed model, met als responsvariabele de eNO-meting van het individu en de persoon als random variabele, samen met tijdstip (voor of na interventie) en kortademigheid en verstopte neus als verklarende factoren. De gemiddelde eNO-waarde bij de kinderen bedroeg 10.1 ppb. Er werd geen verschil in eNO-waarden geobserveerd na de interventiecampagnes in vergelijking met ervoor (3).

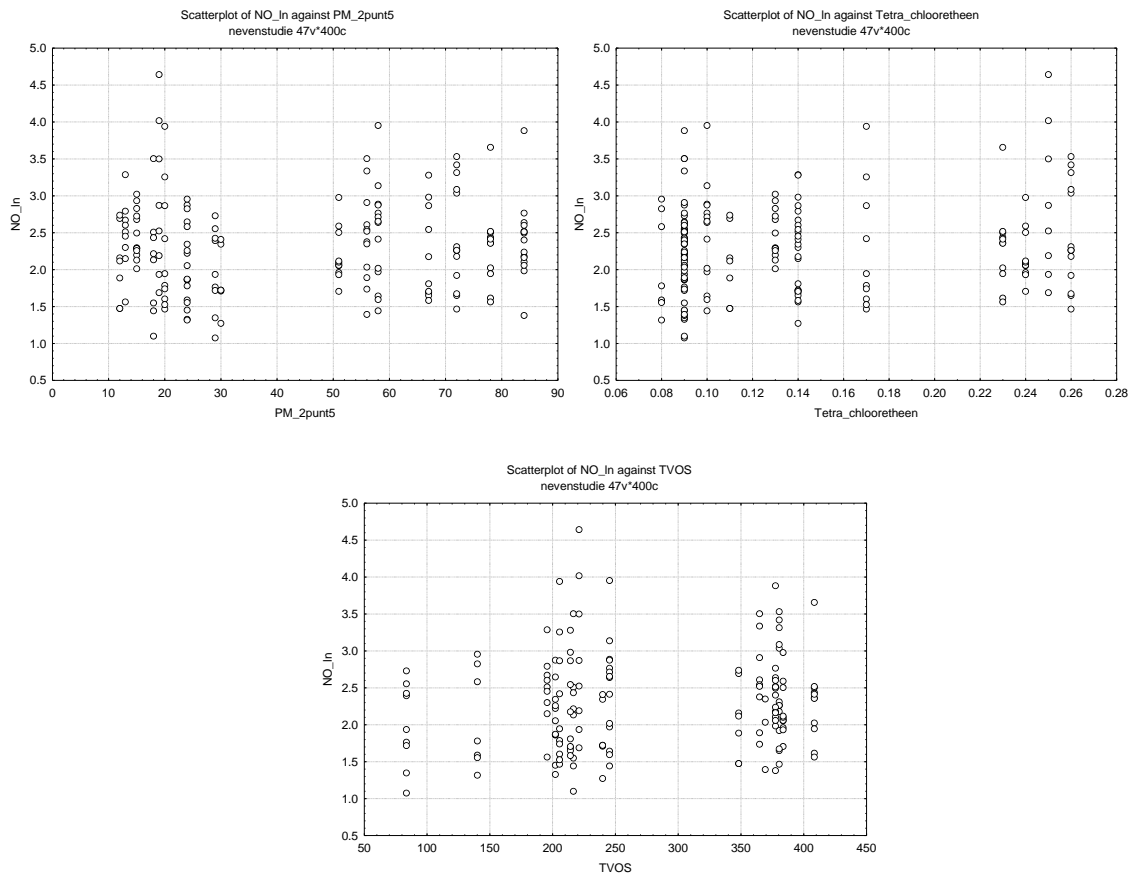
Tabel 25: Beschrijvende statistiek van eNO (ppb) waarden bij de nevenstudies en op de verschillende tijdstippen voor of na de campagne.

Campagne/tijdstip	aantal	geometrisch gemiddelde	Mediaan	Min	Max	P25	P75	Std Dev
totale groep/voor+na	272	10.1	9.8	0.1	104.0	6.3	15.2	2.0
Lekker fris/voor	45	10.1	9.1	5.0	35.2	7.4	15.1	1.6
Lekker fris/na	52	10.3	10.5	0.1	104.0	5.8	19.1	2.9
Luchtzuiveraar/voor	86	9.9	9.6	3.6	51.4	6.0	13.2	1.8
Luchtzuiveraar/na	58	10.7	11.2	2.9	103.7	5.6	15.9	2.1
Luchtzuiveraar/na - nep	31	9.4	9.6	3.8	20.5	6.6	14.6	1.6

Bijkomend werd een analyse uitgevoerd naar de eNO-waarden in relatie tot de binnen- en/of buitenluchtkwaliteit op school, gedurende de week van de eNO-meting. Er werd m.a.w. geen rekening (meer) gehouden met het feit of de meting voor of na de interventiecampagne werd uitgevoerd. De eNO-metingen waren (quasi) positief

gerelateerd met weekgemiddelden voor $PM_{2.5}$ ($p=0.09$), tetrachlooretheen ($p=0.03$) en TVOS ($p=0.08$) in de klasruimte.

Figuur 23: Concentraties aan pollutanten in de klaslucht (weekgemiddelden) in relatie tot NO in de ademlucht van de kinderen (ln van NO is weergegeven in y-as).



Besluit: Zowel voor de nevenstudie 'lekker fris' als bij de studie naar de luchtzuiveraar werd geen significant verschil waargenomen in eNO-waarden voor en na de campagne. De uitgeademde NO-niveaus stegen in beperkte mate met toenemende concentratie van $PM_{2.5}$, tetrachlooretheen en TVOS in de klasruimte.

4.5 Nevenstudie 4: Onderzoek naar de samenstelling van TVOS in een beperkt aantal scholen

Deze vierde nevenstudie omvat een meer diepgaande karakterisering van de vluchtige organische stoffen (VOS), die in de klaslokalen en op de respectievelijke speelplaatsen gemeten werden. Het onderzoek naar de bestanddelen van VOS is opgebouwd uit twee werkpakketten, waarvan in het eerste relevante scholen geselecteerd worden en in het tweede werkpakket de 25 componenten die in hoogste concentratie voorkomen geïdentificeerd worden.

4.5.1 Werkpakket A

Voor elke geselecteerde school zullen 2 buitenstalen en 3 binnenstalen, waarvan telkens één staal per klaslokaal, onderzocht worden. Zodoende kan ook de binnen-buitenrelatie voor elke bepaalde component in kaart gebracht worden.

Bij de keuze van de scholen voor deze bijkomende analyse werd met de volgende selectiecriteria rekening gehouden:

- een gelijke verdeling tussen scholen uit landelijke en uit stedelijke omgeving
- aandacht voor scholen die frequent gebruik van een luchtverfrisser melden
- aandacht voor scholen die sporadisch gebruik van een luchtverfrisser melden
- scholen met benzeenconcentraties binnen die de richtwaarde voor benzeen uit het Vlaams BinnenMilieuBesluit overschrijden ($> 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- scholen met TVOS-concentraties die de richtwaarde voor TVOS uit het Vlaams BinnenMilieuBesluit overschrijden ($> 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- een TVOS-concentratie in één of meerdere klaslokalen die aanzienlijk hoger is dan de TVOS van de buitenmeting

Tabel 26: Selectie van scholen voor uitgebreide TVOS-studie

nr.	omgeving	Luchtverfrisser frequent	luchtverfrisser soms	benzeen $> 2\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	TVOS $> 200 \mu\text{g}/\text{m}^{-3}$	TVOS in $>>$ tVOS out
S1	stedelijk			X	X	
S4	landelijk				X	
S5	stedelijk	X			X	
S15	stedelijk				X	X
S17	stedelijk			X	X	X
S18	landelijk			X	X	
S20	landelijk		X		X	X
S22	stedelijk			X	X	X
S24	stedelijk					
S30	landelijk		X			

4.6 Werkpakket B: Identificatieanalyse

Voor de geselecteerde stalen werden de 25 hoogste componentpieken in het chromatogram geïdentificeerd. De bestanddelen worden geïdentificeerd door middel van een *library search* van het massaspectrum horende bij de pollut(en). Net zoals bij de detectie van TVOS wordt de concentratie van de componenten vervolgens semi-kwantitatief bepaald ten opzichte van de interne standaard (2-fluorotolueen). Dit wordt uitgevoerd met een GC-MS meetmethode (IGA-012) voor semi-kwantitatieve analyse die volgens de kwaliteitsprocedure ISO 17025 geaccrediteerd is.

Voor elk staal wordt gerapporteerd welke hoeveelheid van TVOS bepaald wordt bij de identificatie van de 25 hoogste componentpieken (uitgedrukt in percentage). Vervolgens wordt, voor deze 25 hoogst geconcentreerde componenten, bepaald welke hun procentuele bijdrage is tot de geïdentificeerde hoeveelheid TVOS. Zo verkrijgen we een beeld van de componenten die het meest frequent teruggevonden worden in de stalen uit de buitenlucht en de binnenlucht. Verder wordt ook informatie gegeven over het gemiddelde percentage waarin verschillende componenten voorkomen in de stalen. Het dient opgemerkt te worden dat niet in elk van de stalen 25 componentpieken te identificeren waren.

Gemiddeld werd in de klaslokaal-stalen 29% van de TVOS geïdentificeerd (bereik van 11% tot 78%). In de buitenstalen werd gemiddeld 13% (bereik van 6% tot 62%) beschreven. Tabel 27 en Tabel 28 tonen een overzicht van de TVOS componenten die het meest frequent voorkomen in de klaslokalen en in de buitenluchtstalen; de tabel lijst de componenten op, die voorkomen in meer dan de helft van de stalen, in dalende frequentie van voorkomen. In deze tabellen is te zien dat de verkeersgerelateerde componenten, zoals bijvoorbeeld de xyleenisomeren, ethylbenzeen, en in zekere mate ook toluen, frequent voorkomen in de binnen- en de buitenlucht. In de binnenlucht komen ook andere componenten, zoals bijvoorbeeld de geurstof d-limoneen frequent voor en is er vooral een grote variëteit aan componenten te zien.

Tabel 27: Componenten die voorkomen in meer dan de helft van de klaslokaal TVOS

TVOS component	Voorkomen in klaslokaalstalen
tolueen	90%
tetradecaan	90%
1,2,4-trimethylbenzeen	83%
d-limoneen	80%
p+m-xyleen	77%
dodecaan	77%
hexadecaan	63%
undecaan	60%
butylacetaat	57%
ethylbenzeen	50%
o-xyleen	50%
nonanal	50%

Tabel 28: Componenten die voorkomen in meer dan de helft TVOS buitenluchtstalen

TVOS component	Voorkomen in klaslokaalstalen
tolueen	90%
tetradecaan	90%
hexadecaan	90%
p+m-xyleen	85%
8-hexyl,pentadecaan	80%
1,2,4-trimethylbenzeen	70%
o-xyleen	60%
ethylbenzeen	55%
tetramethyloctaan	55%
dodecaan	50%

Figuur 24 toont een overzicht van de gemiddelde procentuele bijdrage van verschillende TVOS-componenten, tot de totale hoeveelheid geïdentificeerde TVOS, telkens voor de TVOS uit de klaslokalen en voor de TVOS van de speelplaats en straatkant van de school. In de grafiek zijn duidelijk verschillen tussen TVOS in de buiten- en de binnenlucht te zien. In de binnenlucht komen immers componenten voor die niet in de buitenlucht aangetroffen worden, of daar slechts in erg lage concentraties voorkomen. Voorbeelden zijn onder meer limoneen en cyclohexaan. Andersom, worden weinig tot geen componenten in de buitenlucht aangetroffen die niet voorkomen in de binnenlucht. Deze vaststelling is gevolg van de bijdrage van TVOS uit de buitenlucht tot de binnenluchtconcentraties, in combinatie met de aanzienlijke hoeveelheid bronnen in de binnenlucht, zelfs in een klaslokaal. De variatie aan TVOS componenten in de binnenlucht is aanzienlijk, sommige componenten komen slechts voor in één of enkele klaslokalen, zoals α -pineen, menthol of eucaliptol, en werden niet opgenomen in de overzichtstabel. Deze geurstoffen worden zowel aangetroffen in klaslokalen die in de vragenlijst vermeldden dat luchtverfrissers gebruikt werden, als in klassen waar dit niet vermeld werd. Andere bronnen zijn bijvoorbeeld schoonmaakmiddelen, die moeilijk te kwantificeren zijn in een studie als deze. Zo is er bijvoorbeeld school 22, waar de limoneenconcentraties 22-51% van het geïdentificeerde TVOS-gehalte beschrijven. Ook hogere alkanen dragen aanzienlijk bij tot deze geïdentificeerde TVOS componenten.

Een overzicht van brontoewijzingen van TVOS-componenten uit de literatuur wordt getoond in Tabel 29. Deze tabel lijst een aantal vaak voorkomende bronnen van TVOS op. Het dient opgemerkt te worden dat de oorsprong van de meeste TVOS-componenten moeilijk toe te kennen is aan één enkele bron. Het voorkomen van een component in een bepaalde concentratie is meestal het gevolg van de aanwezigheid van één of meerdere emitterende materialen in de ruimte, het typische ventilatiegedrag van de aanwezigen in de ruimte en de eventuele interactie van de geëmitteerde componenten met andere materialen en/of componenten aanwezig in de lucht.

In school S4 werden in de klaslokalen en de buitenlucht sterk verschillende TVOS-concentraties waargenomen. Zo kwam in klas 2 de hoogste TVOS-concentratie van de BiBa-dataset voor, terwijl in diezelfde school, in klas 1, tevens de laagste TVOS-concentratie waargenomen werd. In klaslokalen K1, K2 en K3 werden respectievelijk $23 \mu\text{g.m}^{-3}$, $1112 \mu\text{g.m}^{-3}$, en $388 \mu\text{g.m}^{-3}$ TVOS gemeten. In de buitenlucht werd $21 \mu\text{g.m}^{-3}$ gemeten op de speelplaats, en $27 \mu\text{g.m}^{-3}$ aan de straatkant. Klaslokalen K2 en K3 zijn gelegen in eenzelfde gebouw, terwijl K1 in een ander, alleenstaand gebouw ongeveer 50m verder gelegen is. De speelplaats ligt tussen de gebouwen in; de meting op de speelplaats vond plaats achteraan het schooldomein (zo ver mogelijk van de straatkant). Het eerste gebouw heeft aan de voorzijde een parking; langsheen het

gebouw loopt een geasfalteerde toegangsweg tot de school. Voor klas 1 en klas 2 werden weinig verschillende mogelijke bronnen gerapporteerd in de vragenlijst, en in geen van beide klassen werden luchtverfrissers gebruikt. In klas 1 werd het gebruik van lijmen, vernis en verf vermeld, maar niet in klas 2; beide klassen hebben dezelfde vloerbekleding, hetzelfde materiaal voor meubilair (kunststof), dezelfde schoonmaakfrequentie en -producten. Klas 2 werd evenwel intensiever verlucht dan klas 1, maar hierdoor zou men net lagere concentraties verwachten in plaats van hogere. Vermits beide klaslokalen tot dezelfde school behoren, kan de buitenluchtkwaliteit evenmin de enige verklaring voor de grote verschillen tussen de TVOS-concentraties in deze klaslokalen zijn.

De waarnemingen zijn hoogstwaarschijnlijk verbonden aan het gebouw van K2 en K3 (bijvoorbeeld inrichting, activiteiten in het gebouw, het gebruik van producten, de locatie, bronnen in de buurt van het gebouw, ...). Bij de detectie van VOS werden in klaslokalen K2 en K3 verhoogde concentraties ethylbenzeen, xyleenisomeren en trimethylbenzeen waargenomen. De meer gedetailleerde identificatie van TVOS-componenten toonde aan dat ook ethyltolueen, 2-methylpentaan, aceton en cumeen in hogere concentraties waargenomen werden in deze klaslokalen (afkomstig van meubilair, bouwmaterialen en/of schoonmaakmiddelen). In klaslokaal K1 werden deze componenten niet, of in veel lagere concentraties aangetroffen. Een aantal van de TVOS-componenten in K2 en K3 behoort tot gekende verkeersemmissies, en een aantal is eerder gevolg van binnenbronnen (bv bv solventen). Er is een indicatie dat de verhoogde TVOS het resultaat zijn van een combinatie van niet gerapporteerde of niet geïdentificeerde binnenbronnen en van het verkeer op de toegangsweg langsheen dit gebouw. Beide klaslokalen werden voortdurend verlucht en de enige mogelijkheid tot verluchting is langsheen deze toegangsweg. De hoogste concentraties werden aangetroffen in K2, d.i. de gelijkvloerse ligging; K3 is gelegen op de eerste verdieping. Om echter met zekerheid een brontoewijzing te doen, zouden de emissieprofielen van de mogelijke bronnen geregistreerd en vergeleken moeten worden met de waargenomen concentraties, maar over deze informatie beschikken we niet.

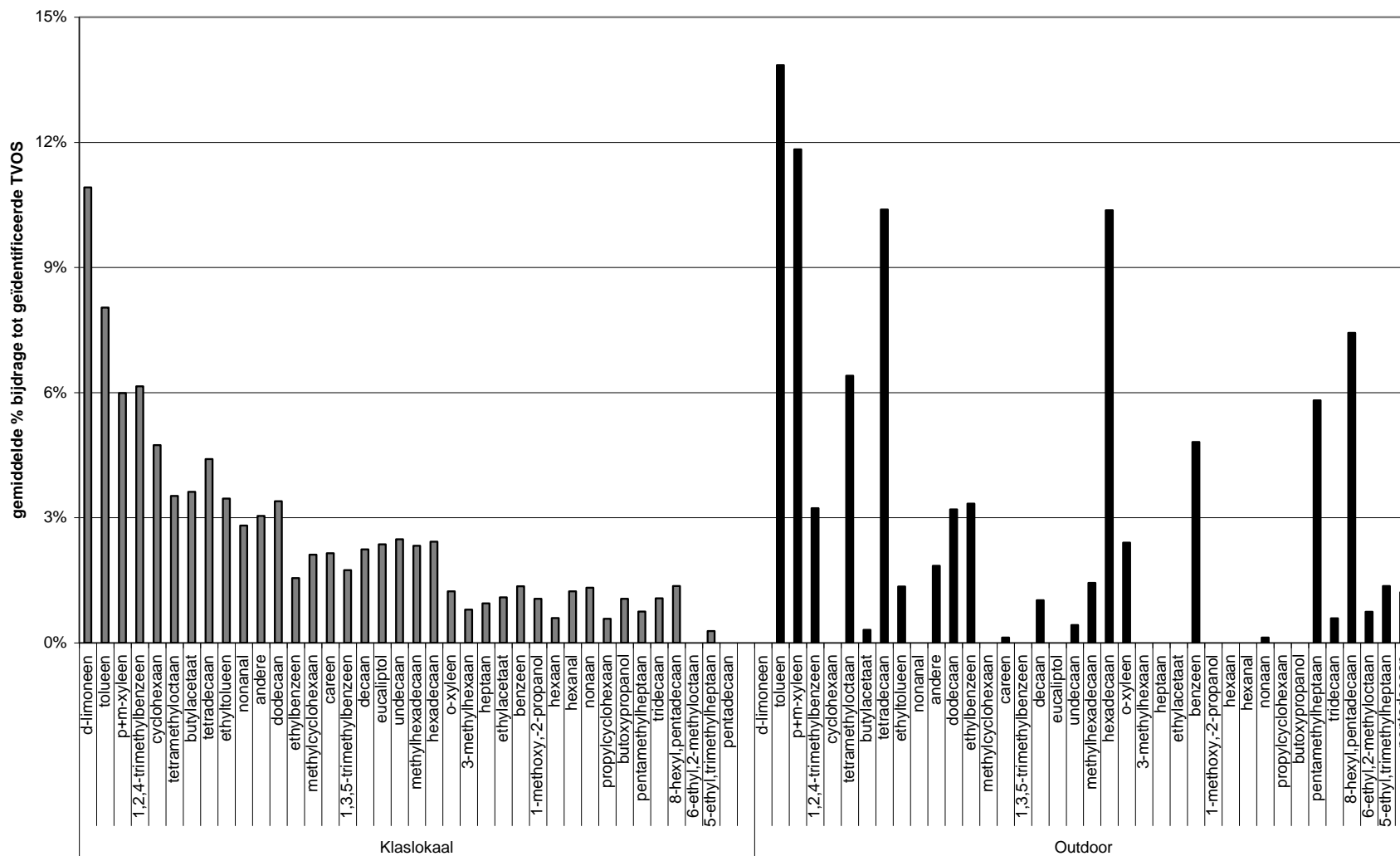
Tabel 29: Brontoewijzing van TVOS componenten uit literatuur

TVOS component	Voorkomen in klaslokaalstalen	TVOS component
Nonaan	Inkt uit printer, kantoormateriaal	Gokhale 2008 Wolkoff 1993
Hexaan	Schoonmaakproducten en geurende producten	Gokhale 2008
Nonaan, decaan, undecaan, dodecaan, tridecaan,	Vloerbare vloerwax, vinylvloeren, parketvloeren, rubbervloeren, tapijten,	Gokhale 2008 Yu, 1998
careen, 1.2.4 trimethylbenzeen	Vloerbare vloerwax, vinyl	Gokhale 2008
Tolueen	Buiten (verkeer, benzine, ea brandstoffen) en binnen (solventen, verf oplosmiddel, latex verf, vinylvloeren)	Gokhale 2008 Yu, 1998
p+m-xyleen	In scholen en kinderdagverblijven, voornamelijk ten gevolge van de buitenlucht	Gokhale 2008
Butanol	Component van plastic en verf Geproduceerd door schimmel- en bacteriegroei in woningen	Edwards 2001
Ethyl hexanol	Component van tapijtlijm	Edwards 2001
Benzaldehyde	Linoleum schimmelgroei	Edwards 2001
Octanal	Linoleum schimmelgroei	Edwards 2001

Hoofdstuk 4 Nevenstudies: schimmelvorming, "Lekker Fris" campagne en effect van Luchtzuiveraar, en samenstelling TVOS

D-limoneen, hexanal	Schoonmaakproducten, parfum, zeep en luchtverfrissers Hout, coatings	Cooper 1995
α -pineen	Schoonmaakproducten, parfum, zeep en luchtverfrissers Hout, producten gemaakt uit hout	Uhde 2007
o-xyleen	In scholen en kinderdagverblijven, voornamelijk ten gevolge van de buitenlucht	Gokhale 2008
Hexanal	Parketvloer, vloerbekleding	Uhde 2007
Cyclohexaan	Reactieproduct van alkeen met ozon	Uhde 2007

Figuur 24: Overzicht van de gemiddelde procentuele bijdrage per TVOS-component tot de totale hoeveelheid geïdentificeerde TVOS; in de klaslokalen en de buitenlucht



HOOFDSTUK 5 BELEIDSAANBEVELINGEN

Kinderen brengen het grootste deel van hun tijd in woningen door, en dus is een goede binnenluchtkwaliteit in woningen essentieel. Beleidsaanbevelingen voor binnenluchtkwaliteit in woningen werden eerder geformuleerd in de FLIES-studie (De Brouwere *et al.*, 2007).

Naast de woonomgeving vormt de school een plaats waar kinderen een groot deel van hun tijd spenderen. Aangezien de binnenluchtkwaliteit in de klaslokalen van de 30 BiBa-scholen in veel gevallen slechter was dan de kwaliteit van de buitenlucht, en voor sommige pollutanten er in veel klaslokalen overschrijdingen waren van richtwaardes voor goede binnenluchtkwaliteit, is het aangewezen om maatregelen te nemen om de binnenluchtkwaliteit in basisscholen te verbeteren.

Vermits uit de analyse van de data naar voor kwam dat ventilatie en buitenluchtkwaliteit een belangrijke invloed hebben op de binnenluchtkwaliteit, is het logisch om verbeteringsacties op deze vlakken naar voor te schuiven als instrument om de binnenluchtkwaliteit in basisscholen te verbeteren. Hoewel geen specifieke binnenbronnen konden geïdentificeerd worden in de BiBa-klaslokalen, is het toch aangewezen om ook een beleid te voeren dat het gebruik van laag-emitterende binnenbronnen promoot. De invloed van binnenbronnen zoals bouwmaterialen blijkt immers uit literatuur wel degelijk een impact te hebben op de binnenluchtkwaliteit (Tuomainen *et al.*, 2001; Raw *et al.*, 2004), maar kwam omwille van de grote diversiteit van bronnen, en grote variaties in binnenluchtconcentraties in de klaslokalen niet tot uiting in de BiBa-dataset.

In theorie zijn verstrekkende maatregelen zoals de installatie van mechanische ventilatiesystemen in klaslokalen, bewuste keuze voor laag-emitterende bronnen (bouwmaterialen,...), inplanting van scholen in verkeersarme gebieden,... de meest optimale oplossingen voor het bekomen goede binnenluchtkwaliteit in klaslokalen. Dergelijke maatregelen zijn misschien wel wetenschappelijk verantwoord, maar omwille van de hoge kost vaak niet implementeerbaar in Vlaanderen. Daarom worden in onderstaande lijsten indien mogelijk in eerste instantie eenvoudige, relatief gemakkelijk te implementeren maatregelen voorgesteld, die kunnen geïntegreerd worden in bestaande opdrachten voor scholen zoals gezondheidsbeleid, preventiebeleid, investeringsbeleid en renovatiebeleid. Daarnaast worden hieronder ook maatregelen opgesomd die grotere investeringen en inspanningen vereisen, maar in bepaalde gevallen (bvb. nieuwbouw, renovatie) wel kunnen geïmplementeerd worden.

5.1 Algemene aanbevelingen binnenluchtkwaliteit in scholen

- Aandacht voor binnenluchtkwaliteit dient geïntegreerd te worden in bestaande opdrachten voor scholen zoals gezondheidsbeleid, preventiebeleid, investeringsbeleid en renovatiebeleid. Aandacht voor binnenluchtkwaliteit dient als aspect opgenomen te worden in de inspecties van scholen.
- Goede hygiëne, poetsen en algemeen onderhoud van gebouwen bevordert IAQ (Indoor Air Quality) in gebouwen (THADE-project, Franchi *et al.*, 2004).

- IAQ check vóór ingebruikname van nieuwe of gerenoveerde schoolgebouwen. Bvb. in Portugal is een IAQ-certificaat vereist bij verkoop van woningen. Standaard metingen van IAQ nodig. (CO₂, formaldehyde, PM₁₀, TVOS)
- IAQ classificatie schema van scholen. Een voorbeeld hiervan is de Nederlandse ABCD tool, die gebruikt wordt als instrument voor classificatie van IAQ en Energie (Van Dijken & Boerstra, 2009). De classificatie volgens deze online-tool is gebaseerd op criteria voor energieconsumptie en binnenluchtkwaliteit. Het IAQ-luik van deze ABCD-tool is weliswaar vrij beperkt en niet gebaseerd op objectieve metingen, maar enkel op basis van subjectieve beleving van de binnenluchtkwaliteit door het schoolpersoneel. Desalnietemin, dergelijke tools zijn een goed screenings- en sensibilisatie-instrument, en bovendien vrij goedkoop en snel uit te voeren. Deze Nederlandse internet-tool is beschikbaar op www.frissescholen.nl
- Reductie fijn stof in klaslokalen: voor klaslokalen waar invoeren van mechanische ventilatie als reductiemaatregel geen optie is (voor de meeste scholen waarschijnlijk) is regelmatig poetsen een goed instrument. Frequent nat reinigen en stofzuigen met een HEPA-filter (HESE, 2006).
- Aanbeveling tot zuiveren van de binnenlucht. De concentratie PM_{2.5} in klaslokalen bleek te verminderen door via een eenvoudige interventie de lucht te zuiveren. Bij installatie van een mechanisch ventilatiesysteem wordt de lucht eveneens gezuiverd en zal de concentratie van de gemeten binnenluchtpolluenten dalen tot de gemiddelde internationaal gerapporteerde concentraties in scholen uitgerust met een mechanisch ventilatiesysteem.
- Aanbeveling tot het vermijden van overbevolkte klassen. Vermits de aanwezigheid en fysieke activiteit van kinderen zelf een bron zijn van binnenluchtverontreiniging (fijn stof en CO₂) is het vermijden van kleine, overbevolkte klassen aan te raden.

5.2 Beleidsaanbevelingen m.b.t. ventilatie

5.2.1 Algemeen:

- Sensibilisatie bij zowel leerlingen, leerkrachten als directie:
 - Ruime bekendmaking bij de scholen van de dienstverlening van de MMK's (Medisch Milieukundigen) bij problemen met binnenmilieu in scholen.
 - Bvb. Lekker Fris campagne uitbreiden (en eventueel aanpassen) naar alle graden van het basis- en/of secundair onderwijs. Een intensievere begeleiding van de leerkracht, m.m.v. bijvoorbeeld medisch milieukundigen die in klassen komen spreken. Opvolging van het effect van dergelijke campagne + herhalen in de tijd.
 - Onderdeel van Lekker Fris: VOM-tool (Ventilatie op Maat) aanbieden (tool om te berekenen hoe je de klas het best ventileert). De projectgroep Milieu en Gezondheid op School (team van Medisch Milieukundigen, Toezicht Volksgezondheid en Vlaams Instituut voor Gezondheids promotie en Ziektepreventie) werkt momenteel aan een aangepaste versie van de VOM-tool en plant een validatiestudie waarin nagegaan wordt of indien de VOM-aanbevelingen opgevolgd worden, er dan voldaan wordt aan de luchtkwaliteitseisen van IDA 2.
 - CO₂-monitor permanent in klaslokalen plaatsen (verklikkerlichtje) zodat leerkrachten en leerlingen zien wanneer de CO₂-concentratie te hoog is en er dient verlucht te worden.

- Er kan geen algemene vuistregel gemaakt worden hoelang ramen te openen om een voldoende reductie in CO₂ te bekomen. De VOM-tool is een instrument op maat van de klas.
 - Vermijd piekventilatie op momenten van druk verkeer.
 - Toepassen van piekventilatie bij gebruik van sterk emitterende binnenbronnen zoals lijmen en verf. Sensibiliseren dat gewoon ventilatiesysteem niet toereikend is op dergelijke momenten.
- nieuwbouw scholen:
- installatie mechanisch ventilatiesysteem; uit Europese studies in scholen bleek mechanische ventilatie veel performanter te zijn om een binnenluchtkwaliteit in klaslokalen te voorzien dan natuurlijke ventilatie.
 - verplichtingen EPB (wetgeving 2006) NBN EN 13779: verplichting om ventilatiesysteem te installeren voor nieuwbouw
 - sensibiliseren scholen correct gebruik en onderhoud ventilatiesysteem
 - intensief ventileren vóór ingebruikname van de klaslokalen (verwijderen hoge initiële emissies uit bouwmaterialen)
 - Bijzondere aandacht besteden aan het correct gebruik van en sensibilisatie over ventilatiesystemen in 'nieuwe bouwstijlen' voor scholen, zoals passiefscholen. Aanduiden van een verantwoordelijke binnen de school voor het nazicht en onderhoud van het ventilatiesysteem is ten sterkste aangewezen.
- renovatie schoolgebouwen:
- EPB-verplichting (voor renovaties met bouwaanvraag): zie ook NBN EN 13779
 - intensief ventileren vóór ingebruikname van klaslokalen na renovatie (verwijderen hoge initiële emissies uit bouwmaterialen)
 - Bij plaatsing nieuwe ramen met dubbele beglazing: voorzien van ventilatieroosters in de raamprofielen (+ correctie dimensionering van de ventilatieroosters)

5.3 Beleidsaanbevelingen m.b.t. buitenlucht

Buitenlucht speelt een grote rol in binnenluchtkwaliteit, dus:

- Aanbevelingen voor reductie buitenbronnen (verkeer, industrie) (algemene maatregelen), door het realiseren van doelstellingen voor buitenlucht. Concrete acties om verkeer in de buurt van scholen te verminderen zijn bijvoorbeeld campagnes om het school-huis verkeer met de auto af te raden en het gebruik van milieuvriendelijke transportmiddelen (te voet, fiets, openbaar vervoer) te stimuleren.
- Bij implementatie van ventilatiesystemen in schoolgebouwen: aanbeveling om binnenkomende lucht te zuiveren (sorptie van pollutanten op een actieve kool filter), alsook een goede plaatsing en onderhoud van het ventilatiesysteem.
- Inplanting nieuwe schoolgebouwen: vermijd nabijheid drukke wegen (of inplanting groene buffer tussen scholen en drukke wegen?). In Nederland worden dergelijke maatregelen reeds effectief in het beleid opgenomen (zie . <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=38453>).

5.4 Praktische tips m.b.t. binnenbronnen

- Bewustmaking van het nut van de keuze en correcte dosering van schoonmaakmiddelen en onderhoudsproducten voor de binnenluchtkwaliteit.

Informatie met betrekking tot correcte dosering wordt vermeld op de verpakking van van schoonmaakmiddelen. Voor de keuze van de producten kan geadviseerd worden om producten te kiezen met een ecolabel (logo van ecolabel op verpakkingen: <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/>). Criteria van het ecolabel hebben onder andere betrekking tot het maximaal gehalte VOS en bepalingen m.b.t. het voorkomen van gevaarlijke stoffen. Gebruik van producten met een ecolabel kan leiden tot een verminderde blootstelling aan gevaarlijke stoffen in vergelijking met andere (niet-gelabelde) producten.

- Bij nieuwbouw en renovatie van klaslokalen: stimuleren van keuze voor laag-emitterende bouwmaterialen. Verschillende (vrijwillige) labellingsystemen van laag-emitterende bouwmaterialen zijn voorhanden (bvb. Blue Angel, EcoLabel, Duits AgBB label, EMICODE (label van Duitse lijmen-en vloerbekledingsindustrie), Deens Indoor Climate Label, ...
- Intensief ventileren tijdens en na klasactiviteiten met verf, lijm,...

5.5 Beleidsaanbevelingen m.b.t. schimmels in klaslokalen

- Preventie (HESE, 2006):
 - Voorzie adequate ventilatie
 - Luchtvochtigheid lager houden dan 45-50 %
 - Controle mogelijke waterlekken
 - Vermijd gebruik luchtbevochtigers en luchtverfrissers
- Remediatie bij aanwezigheid van schimmels (WGO, 2009):
 - Locale inspectie en identificatie van oorzaak nodig om remediërvorstel te doen

5.6 Aanbevelingen tot verder onderzoek

- 'nieuwe polluenten':

In de toekomst zal ook bijzondere aandacht besteed moeten worden aan mogelijk 'nieuwe polluenten', uitgestoten ten gevolge van het gebruik van nieuwe materialen en/of toestellen in een klaslokaal. Educatieve pakketten en lesmaterialen evolueren immers in de tijd, als resultaat van nieuwe technologische ontwikkelingen en nieuwe didactische kennis. De nieuwe materialen of producten zouden het binnenmilieu van een klaslokaal, dat in kaart gebracht werd in deze BiBa-studie, mogelijks kunnen veranderen. Bijvoorbeeld de recente initiatieven om de traditionele krijtschoolborden te vervangen door smartboards. In meerdere scholen worden momenteel smartboards geïnstalleerd, alhoewel totnogtoe weinig tot geen onderzoek gebeurde naar de gevolgen hiervan op het binnenmilieu. Dit initiatief zal met zekerheid leiden tot de reductie van de hoeveelheid schoolbordkrijt-stofdeeltjes (CaSO_4) in een klaslokaal, maar schoolbordstiften en elektrische toestellen komen in de plaats. De mogelijke emissies van deze nieuwe producten (solventen, vlamvertragers, ozon, ...) en secundaire reacties, zijn momenteel nog niet in kaart gebracht. De invloed hiervan op de binnenlucht van een klaslokaal, en de bijhorende gezondheidsrisico's voor kinderen zijn nog ongekend.

- nieuwe ventilatiesystemen, bouwstijlen en -materialen:

In de toekomst zullen nieuwe bouwstijlen (bvb. passiefscholen) en nieuwe ventilatiesystemen (mechanische ventilatie type C en D) toegepast worden bij de bouw van nieuwe scholen. Het is aangewezen om de invloed van deze technieken

op de binnenluchtkwaliteit te onderzoeken. Hoewel dergelijke evoluties in theorie de binnenluchtkwaliteit ten goede komen, dient dit in praktijk opgevolgd te worden. In praktijk kunnen immers slecht onderhoud, verstopte filters, slecht afgeregelde debieten, foutief gebruik, ... de binnenluchtkwaliteit verstoren. Ook het effect van gecombineerd gebruik van nieuwe ventilatiesystemen en nieuwe materialen/producten op de luchtkwaliteit, specifiek in een klasomgeving, is momenteel nog ongekend.

LITERATUURLIJST

- Baek SO, Kim YS, Perry R. 1997. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas. *Indoor/outdoor relationships*, 31: 529 – 544.
- Bertoni G, Ciuchinin C, Pasini A, Tappa, R. 2002. Monitoring of ambient BTX at Monterotondo (Rome) and indoor-outdoor evaluation in school and domestic sites. *J. Environ. Monit.* 4: 903-909.
- Cooper SD, Raymer JH, Peillizzari ED, Thomas KW 1995 The identification of polar organic compounds found in consumer products and their toxicological properties . *J Expo Anal Env Epid* 5(1); 57-75
- De Brouwere K, C. Cornelis, E. Goelen, G. Koppen, M. Spruyt, R. Torfs. 2007. The influence of contaminants in ambient air of the indoor air quality - Part 1: exposure of children - Report of work package 3: interpretation and policy recommendations 2007/IMS/R/0062.
- Diapouli E, Chaloukalou A, Spyrellis N. 2007. Indoor and outdoor particulate matter concentrations at schools in the Athens area. *Indoor and Built Environment*,16: 55-61.
- Dodson RE, Houseman EA, Levy JI, Spengler JD, Shine JP, Bennett DH. 2007. Measured and modeled personal exposure to and risks from volatile organic compounds. *Environmental Science and Technology*, 41: 8498-8505.
- ECHA. 2008. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.8: Characterization of dose [concentration]-response for human health. Version May 2008.
- Edwards R, Jurvelina J, Koistinena K, Saarelad K, Jantunene M 2001 VOC source identification from personal and residential indoor, outdoor and workplace microenvironment samples in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmos Environ* 35; 4829-4841
- Fischer PH, Hoek G, van Reeuwijk H, Briggs DJ, Lebreton E, van Wijnen JH, Kingham S, Elliott PE. 2000. Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam. *Atm. Env.* 34: 3713 – 3722.
- Franchi M, Carrer P, Kotzias D, Rameckers E, Van Bronswijk J, Viegi G. 2004. Towards Healthy Air in Dwellings in Europe.
- Fromme H, Diemer J, Dietrich S, Cyrus J, Heinrich J, Lang W, Kiranoglu M, Twardella D. 2008. Chemical and morphological properties of particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5}) in school classrooms and outdoor air. *Atm. Environ.*, 42: 6597 -6605.
- Gokhale S, Kohajda T, Schlink U 2008 Source apportionment of human personal exposure to volatile organic compounds in homes, offices and outdoors by chemical mass balance and genetic algorithm receptor models. *SCI TOTAL ENVIRON*, 407: 122–138.
- Guo H, Lee SC, Louie PKK, Ho FK. 2004. Characterization of hydrocarbons and carbonyls in the atmosphere of Hong Kong. *Chemosphere*, 57: 1363-1372.
- HESE, 2006. Health effects of School Environments. Final Scientific Report 2006.
- Ilgen E, Karfich N, Levsen K, Angerer J, Schneider P, Heinrich J, Wichmann HE, Dunemann L, Begerow J. 2001a. Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment – part I: indoor versus outdoor sources, the influence of traffic. *Atm. Env.*, 35: 1235-1252
- Ilgen E, Levsen K, Angerer J, Schneider P, Heinrich J, Wichmann HE. 2001b. Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment – part II: univariate and multivariate analyses and case studies of indoor concentrations. *Atm. Env.*, 35: 1253-1264.

- Ilgen E, Levsen K, Angerer J, Schneider P, Heinrich J, Wichmann HE. 2001c. Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment – part II: personal monitoring. *Atm. Env.*, 35: 1265-1279.
- Jo WK, Kim KY, Park KH, Kim YK, Lee HW, Park JK. 2003. Comparison of outdoor and indoor mobile source-related volatile organic compounds between low and high-floor apartments. *Environ. Res.*, 92: 166-171.
- Kim YM, Harrad S, Harrison, RM. 2001. Concentrations and sources of VOCs in urban domestic and public microenvironments. *Environ. Sci. Technol.*, 35: 997-1004.
- Kingham S, Briggs D, Elliot P, Fischer P, Lebreton E. 2000. Spatial variations in the concentrations of traffic-related pollutants in indoor and outdoor air in Huddersfield, England. *Atm. Env.*, 34: 905-916.
- Liu Y, Chen, R, Mao X. 2004. Wintertime indoor levels of PM10, PM2.5 and PM1 at public places and their contribution to TSP. *Environ. Int.*, 30: 189 – 197.
- Mennen MG, Bos HP, Linders SHMA, Stil GH, Kootstra PR. 1997. Aldehyde concentrations in ambient air. Results of a one-year measuring campaign at two sites in the Netherlands. RIVM Rapport 723101028.
- Possanzini M, Di Palo V, Cecinato A. 2002. Sources and photodecomposition of formaldehyde and acetaldehyde in Rome ambient air. *Atmospheric Environment*, 36: 3195-3201.
- Raw GJ, Coward SKD, Brown VM, Crump DR. 2004. Exposure to air pollutants in English homes. *J. Exp. Anal. Environ. Epidemiol.*, 14: S85-S94.
- Roorda-Knape MC, Janssen NAH, de Hartog JJ, van Vliet PHN, Harssema H, Brunekreef B. 1997. Air pollution from traffic in city districts near major motorways. *Atm. Environ.*, 32: 1921 -1930.
- Sawant AA, Na K, Zhu X, Cocker K, Butt S, Song C. 2004. Characterization of PM2.5 and selected gas-phase compounds at multiple indoor and outdoor sites in Mira Loma, California. *Atmos. Environ.*, 38, 6269- 6278.
- Skov H, Hansen AB, Lorenzen G, Andersen HV, Lofstrom P, Christensen CS. 2001. Benzene exposure and the effect of traffic pollution in Copenhagen, Denmark. *Atm. Env.*, 35: 2463-2471.
- Stranger M, Potgieter-Vermaak SS, Van Grieken R. 2007. Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium. *Environ. Int.*, 33: 789-797.
- Swaans, M. Spruyt, R. Bormans, L. Verbeke, D. Poelmans, E. Goelen, F. Geyskens, R. Swinnen. Onderzoek naar de gezondheidskwaliteit van Vlaamse woningen. Eindverslag. Studie uitgevoerd in opdracht van Toezicht Volksgezondheid. 2008/MIM/R/137
- Tuomainen M, Pasanen AL, Liesivouri J, Junova P. 2001. Usefulness of the Finnish classification of indoor climate, construction and finishing materials: comparison of indoor climate between two new blocks of flats in Finland. *Atm. Env.*, 33: 305 – 313.
- Van Dijken F, Boestra AC, 2009. The ABCD tool for schools. *Proceedings of Healthy Buildings*, paper 634.
- WHO, 2006. Development of WHO guidelines for indoor air quality. Report on a Working Group Meeting. Bonn, Germany 24-24 October 2006.
- WHO, 2009. WHO guidelines for indoor air quality – dampness and moulds. 248 p. WHO Regional Office for Europe.
- Yu C, Crumpton D 1998 A Review of the Emission of VOCs from Polymeric Materials used in Buildings. *Building and Environment*, 33(6); 357-374.

BIJLAGE A: SAMENSTELLING TVOS IN EEN SELECTIE VAN 10 SCHOLEN

	S1 K1	S1 K2	S1 K3	S1 speelp 	S1 straat	S4 K1	S4 K2	S4 K3	S4 Speelp 	S4 straat
aceton			4%				3%			
ethylacetaat	4%	3%		9%	9%					
benzeen										
2-methylpentaan							2%			
1-methoxy,-2-propanol										
1-butanol		3%	3%				2%	1%		
cyclohexaan			2%							
2-methylhexaan							2%	2%		
dimethylpentaan	2%	3%	3%							
3-methylhexaan	3%	3%	4%				3%	2%		
heptaan							3%	3%		
3-methylheptaan										
hexaan										
methylcyclopentaan	4%	13%	7%							
methylcyclohexaan	12%	10%	7%	29%	29%		2%	3%		
tolueen						11%		1%	18%	22%
hexanal	2%	5%	4%							
butylacetaat						16%	6%	2%		
alfa-pineen	2%	3%	3%							
octaan							1%			
octanal	1%			2%	5%					
tetrachlooretheen	3%	2%	2%	5%	12%					
ethylbenzeen	7%	7%	6%	14%	3%	3%	4%	6%	4%	
p+m-xyleen	2%	2%	2%	4%		6%	17%	24%	11%	16%
o-xyleen						2%	3%	4%	3%	
styreen	4%	5%	6%							
nonaan			5%							
propylcyclohexaan										
propylbenzeen							2%	2%		
butoxypropanol	1%	5%								
careen	2%	3%	3%	3%	3%					
ethyltolueen	2%		3%				16%	12%		
1,3,5-trimethylbenzeen	4%	4%	7%	5%	4%		9%	7%		
1,2,4-trimethylbenzeen						2%	18%	14%	4%	6%
1,2,3-trimethylbenzeen										
1,4 dichloorbenzeen										
dimethylnonaan				4%	2%					
tetramethyloctaan						12%		1%	13%	9%
pentamethylheptaan										
6-ethyl,2-methyloctaan										
5-ethyl,trimethylheptaan										
trimethyldecaan										
indaan	4%	3%	10%				2%	1%		
decaan										
ethylhexanol										
2-ethyl,1-decanol	18%	13%	8%							
d-limoneen						18%		1%		
dimethyl,benzylalcohol										
nonanal						4%				
eucaliptol		2%								
acetophenone										
benzenemethanol,alfa-methylacetaat	3%	2%	7%							
undecaan								1%		
sec butylbenzeen										
di-ethylbenzeen							1%			
propyltolueen							2%	1%		
cumeen	11%	2%			4%		4%	3%		
andere						3%	1%			
ethyl-xyleen										
dimethyldecaan										
trimethyldecaan										
3-cyclohexeen-1-methanol-4-										
trimethyl										
menthol		1%	1%							
dodecaan						3%				
methylpentadecaan										
methylhexadecaan	3%	3%	1%	7%	9%					
tetradecaan						8%		1%	14%	14%
tridecaan										
glutaarzuur, dibuthylester										
dimethylundenaan										
diethyldecaan										
pentadecaan	6%	4%	1%	10%	16%					
hexadecaan						7%		1%	17%	21%
bicyclohexyl										
7-cyclohexyl, tridecaan				8%	4%					
8-hexyl,pentadecaan						6%		1%	16%	12%
2,4,6-tri-isiipropylphenol			4%							
TVOS	182	235	569	157	141	23	1126	387	21	27
% TVOS geïdentificeerd	27%	32%	28%	12%	14%	78%	77%	73%	62%	21%

Bijlage A: Samenstelling tVOS in een selectie van 10 scholen

	S5 K1	S5 K2	S5 K3	S5 speelpl	S5 straat	S15 K1	S15 K2	S15 K3	S15 speelpl	S15 straat
aceton										
ethylacetaat			8%			8%	13%			
benzeen										
2-methylpentaan										
1-methoxy,-2-propanol			32%							
1-butanol										
cyclohexaan	4%		18%			26%	28%	5%		
2-methylhexaan										
dimethylpentaan										
3-methylhexaan										
heptaan										
3-methylheptaan										
hexaan										
methylcyclopentaan										
methylcyclohexaan			3%			4%	4%			
tolueen	5%	5%	1%	10%	11%	5%	2%	3%	5%	
hexanal	3%						2%	1%		
butylacetaat	3%					2%				
alfa-pineen	2%					4%				
octaan			3%				1%			
octanal	2%									
tetrachlooretheen										
ethylbenzeen				2%						
p+m-xyleen			2%	5%	6%	2%	2%	1%		
o-xyleen				2%	2%					
styreen										
nonaan			7%				3%			
propylcyclohexaan			2%				3%			
propylbenzeen						2%	1%	3%		
butoxypropanol										
careen										
ethyltolueen						9%	6%	23%		
1,3,5-trimethylbenzeen			3%			2%	4%	10%		
1,2,4-trimethylbenzeen	2%		5%	2%	3%	7%	10%	24%		
1,2,3-trimethylbenzeen							2%	5%		
1,4 dichloorbenzeen						5%				
dimethylnonaan							3%	6%		
tetramethyloctaan	2%	13%		24%	28%					3%
pentamethylheptaan										26%
6-ethyl,2-methyloctaan										15%
5-ethyl,trimethylheptaan										19%
trimethyldecaan										8%
indaan										
decaan			6%				4%			
ethylhexanol										
2-ethyl,1-decanol	2%									
d-limoneen		29%	6%			17%	4%	4%		
dimethyl,benzylalcohol		7%								
nonanal	6%	7%								
eucaliptol	43%									
acetophenone	2%	5%								
benzenemethanol,alfa-										
methylacetaat	2%	3%								
undecaan			2%			1%	2%	2%		
sec butylbenzeen								2%		
di-ethylbenzeen								3%		
propyltolueen				2%						
cumeen										
andere	3%	2%		3%	2%					
ethyl-xyleen							1%	1%	1%	
dimethyldecaan										
trimethyldecaan				2%		2%	1%	1%		
3-cyclohexeen-1-methanol-4-										
trimethyl										
menthol										
dodecaan	2%	5%		3%	4%	2%	1%	1%		
methylpentadecaan										
methylhexadecaan								1%		
tetradecaan	4%	9%	1%	13%	15%	2%	1%	1%	8%	
tridecaan								1%		
glutaarzuur, dibuthylester										
dimethylundenaan										
diethyldodecaan				4%						
pentadecaan				3%	10%					
hexadecaan	5%	6%	1%	13%	12%		1%	1%	9%	
bicyclohexyl										
7-cyclohexyl, tridecaan										
8-hexyl,pentadecaan	2%	5%	0%	12%	10%					
2,4,6-tri-isipropylphenol	4%	3%								
TVOS	117	91	877	115	163	341	515	342	180	
% TVOS geïdentificeerd	31%	30%	45%	12%	10%	30%	35%	41%	8%	

Bijlage A: Samenstelling tVOS in een selectie van 10 scholen

	S17 K1	S17 K2	S17 K3	S17 speelp l	S17 straat	S18 K1	S18 K2	S18 K3	S18 speelpl	S18 straat
aceton										
ethylacetaat										
benzeen		2%		6%	9%	5%	4%	10%	7%	10%
2-methylpentaan										
1-methoxy,-2-propanol										
1-butanol										
cyclohexaan	13%	7%	9%							
2-methylhexaan	2%	2%	2%							
dimethylpentaan	3%									
3-methylhexaan	2%	2%	2%							
heptaan	1%	1%	1%				2%			
3-methylheptaan										
hexaan	7%	5%	6%							
methylcyclopentaan	4%	2%	3%				5%			
methylcyclohexaan	2%	1%					2%			
tolueen	13%	9%	9%	12%	14%	6%	11%	10%	11%	14%
hexanal						2%	2%			
butylacetaat										
alfa-pineen										
octaan										
octanal										
tetrachlooretheen										
ethylbenzeen	2%	2%	1%	5%	6%	3%	2%	4%	5%	6%
p+m-xyleen	8%	8%	5%	24%	30%	11%	10%	15%	20%	19%
o-xyleen	2%	2%	1%	4%	6%	3%	2%	3%	5%	4%
styreen										
nonaan	2%	1%	1%		3%					
propylcyclohexaan										
propylbenzeen										
butoxypropanol							2%			
careen		5%	1%			4%	14%			
ethyltolueen	2%		1%	3%	4%				3%	3%
1,3,5-trimethylbenzeen										
1,2,4-trimethylbenzeen	4%	3%	3%	5%	7%	3%	2%	4%	5%	4%
1,2,3-trimethylbenzeen										
1,4 dichloorbenzeen										
dimethylnonaan										
tetramethyloctaan	19%	21%	24%	14%	5%	5%		5%	10%	9%
pentamethylheptaan										
6-ethyl,2-methyloctaan										
5-ethyl,trimethylheptaan										
trimethyldecaan										
indaan										
decaan										
ethylhexanol										
2-ethyl,1-decanol										
d-limoneen	6%	9%	17%			3%	5%			
dimethyl,benzylalcohol										
nonanal						3%	3%			
eucaliptol								26%		
acetophenone										
benzenemethanol,alfa-										
methylacetaat										
undecaan	2%	2%	2%							
sec butylbenzeen										
di-ethylbenzeen										
propyltolueen										
cumeen										
andere	3%	4%	3%			5%	2%	4%	3%	
ethyl-xyleen										
dimethyldecaan										
trimethyldecaan										
3-cyclohexeen-1-methanol-4-										
trimethyl										
menthol										
dodecaan		2%	1%	3%		6%	4%		3%	
methylpentadecaan						3%				
methylhexadecaan	1%	7%	1%	6%	6%	17%	12%	6%	5%	6%
tetradecaan	1%	2%	2%	7%	6%	8%	5%	5%	7%	11%
tridecaan										
glutaarzuur, dibuthylester										
dimethylundenaan						5%	2%			
diethyl-dodecaan										
pentadecaan										
hexadecaan		2%	1%	5%	6%		5%	4%	8%	8%
bicyclohexyl						4%				
7-cyclohexyl, tridecaan						4%	4%			
8-hexyl,pentadecaan		2%		5%				5%	8%	6%
2,4,6-tri-isipropylphenol										
TVOS	408	380	384	208	171	278	307	230	171	192
% TVOS geïdentificeerd	26%	21%	29%	9%	10%	13%	13%	12%	10%	8%

Bijlage A: Samenstelling tVOS in een selectie van 10 scholen

	S20 K1	S20 K2	S20 K3	S20 speelp l	S20 straat	S22 K1	S22 K2	S22 K3	S22 speelpl	S22 straat
aceton										
ethylacetaat										
benzeen		0%	0%	11%	6%	3%	5%	4%	13%	15%
2-methylpentaan										
1-methoxy,-2-propanol										
1-butanol										
cyclohexaan						5%	7%			
2-methylhexaan										
dimethylpentaan										
3-methylhexaan										
heptaan		3%								
3-methylheptaan										
hexaan										
methylcyclopentaan										
methylcyclohexaan		4%	2%							
tolueen	3%	4%	4%	16%	10%	6%	9%	21%	20%	20%
hexanal						2%				
butylacetaat	5%	12%	7%			2%	2%		4%	3%
alfa-pineen										
octaan										
octanal										
tetrachlooretheen										
ethylbenzeen		2%	2%	4%	4%	2%	2%	2%	5%	7%
p+m-xyleen	4%	8%	7%	10%	18%	5%	8%	7%	16%	21%
o-xyleen		2%	2%	3%	4%	1%	2%	2%	4%	5%
styreen							2%	1%		
nonaan	2%	3%	3%							
propylcyclohexaan		4%	4%							
propylbenzeen	3%									
butoxypropanol										
careen						5%	15%	8%	3%	
ethyltolueen	17%	4%	5%		3%				2%	3%
1,3,5-trimethylbenzeen	7%	5%								
1,2,4-trimethylbenzeen	23%	9%	12%	4%	5%	2%	3%	2%	4%	5%
1,2,3-trimethylbenzeen	5%									
1,4 dichloorbenzeen										
dimethylnonaan										
tetramethyloctaan										
pentamethylheptaan						2%		5%	3%	
6-ethyl,2-methyloctaan										
5-ethyl,trimethylheptaan										
trimethyldecaan										
indaan										
decaan	6%	7%	8%		3%		2%			
ethylhexanol										
2-ethyl,1-decanol										
d-limoneen	8%	9%	9%			51%	22%	22%		
dimethyl,benzylalcohol										
nonanal						2%	4%	3%		
eucaliptol										
acetophenone										
benzenemethanol,alfa-										
methylacetaat										
undecaan	6%	7%	10%		3%	2%	3%			
sec butylbenzeen										
di-ethylbenzeen										
propyltolueen	3%									
cumeen			4%							
andere			9%		2%	2%	5%	2%	3%	
ethyl-xyleen										
dimethyldecaan										
trimethyldecaan										
3-cyclohexeen-1-methanol-4-										
trimethyl										
menthol						3%				
dodecaan	3%	6%	7%		3%	2%	3%	2%		
methylpentadecaan										
methylhexadecaan		4%					3%	2%		
tetradecaan	3%	4%	5%	14%	16%	2%	3%	4%	9%	7%
tridecaan			4%		4%			1%		
glutaarzuur, dibuthylester								7%		
dimethylundenaan										
diethyldecaan										
pentadecaan										
hexadecaan	2%	3%	3%	17%	10%			3%	7%	8%
bicyclohexyl										
7-cyclohexyl, tridecaan										
8-hexyl, pentadecaan				12%	9%			3%	6%	6%
2,4,6-tri-isipropylphenol										
tVOS	365	363	343	144	187	664	323	273	220	259
% tVOS geïdentificeerd	23%	16%	15%	6%	9%	11%	15%	20%	9%	8%

Bijlage A: Samenstelling tVOS in een selectie van 10 scholen

	S24 K1	S24 K2	S24 K3	S24 speel pl	S24 straat	S30 K1	S30 K2	S30 K3	S30 speelpl	S30 straat
aceton										
ethylacetaat										
benzeen	0%	0%								
2-methylpentaan										
1-methoxy,-2-propanol										
1-butanol										
cyclohexaan										
2-methylhexaan										
dimethylpentaan										
3-methylhexaan								4%		
heptaan								5%		
3-methylheptaan										
hexaan										
methylcyclopentaan										
methylcyclohexaan								8%		
tolueen	5%	4%	4%	9%	10%	4%	5%	50%	9%	8%
hexanal	3%	7%	2%			3%	8%	2%		
butylacetaat	7%	4%	21%			4%		4%		
alfa-pineen										
octaan										
octanal	3%	3%					5%			
tetrachlooretheen										
ethylbenzeen										
p+m-xyleen	5%	4%	3%	6%	7%				6%	5%
o-xyleen										
styreen	2%	3%	2%							
nonaan										
propylcyclohexaan										
propylbenzeen										
butoxypropanol						26%	4%			
careen		7%								
ethyltolueen										
1,3,5-trimethylbenzeen										
1,2,4-trimethylbenzeen	3%	4%	2%	3%		4%				
1,2,3-trimethylbenzeen										
1,4 dichloorbenzeen										
dimethylnonaan										
tetramethyloctaan					7%					
pentamethylheptaan	7%	4%		12%	13%			4%	19%	37%
6-ethyl,2-methyloctaan										
5-ethyl,trimethylheptaan	5%		3%		8%					
trimethyldecaan										
indaan										
decaan			3%	18%		5%	8%			
ethylhexanol		3%								
2-ethyl,1-decanol										
d-limoneen		5%	18%			13%	8%	4%		
dimethyl,benzylalcohol										
nonanal	11%	8%	6%			7%	16%	5%		
eucaliptol										
acetophenone										
benzenemethanol,alfa-methylacetaat										
undecaan	6%	7%	4%		5%	3%				
sec butylbenzeen										
di-ethylbenzeen										
propyltolueen										
cumeen										
andere		6%	7%	4%		4%	5%	3%	7%	7%
ethyl-xyleen										
dimethyldecaan										
trimethyldecaan										4%
3-cyclohexeen-1-methanol-4-trimethyl						6%				
menthol										
dodecaan	7%	7%	4%	17%	8%	7%	21%	4%	12%	9%
methylpentadecaan										
methylhexadecaan	7%	5%	3%	6%						
tetradecaan	12%	10%	8%	8%	16%	6%	15%	5%	15%	12%
tridecaan	5%	7%	4%		7%	2%	6%	2%		
glutaarzuur, dibuthylester										
dimethylundenaan										
diethyl-dodecaan										
pentadecaan									11%	
hexadecaan	6%		3%	11%	10%	3%			11%	8%
bicyclohexyl										
7-cyclohexyl, tridecaan										
8-hexyl,pentadecaan	4%	3%	2%	6%	8%	3%			11%	10%
2,4,6-tri-isipropylphenol										
TVOS	140	240	206	85	128	187	99	191	105	81
% TVOS geïdentificeerd	13%	12%	16%	9%	7%	26%	21%	35%	12%	16%