

Samenvatting

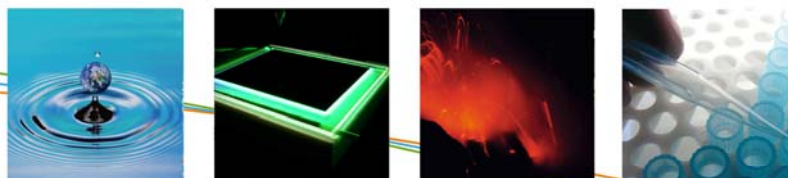
Onderzoek naar de luchtkwaliteit van de binnenlucht in scholen: invloed van het buitenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting

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	4
2.1 <i>Bepalen van de invloed van binnenmilieu, van ventilatie en van klasinrichting op de kwaliteit van de binnenlucht in scholen</i>	4
2.2 <i>Nagaan van het effect van remediëringsacties in het binnenmilieu (inclusief sensibilisatie).</i>	5
2.3 <i>Formuleren van concrete aanbevelingen voor het milieubeleid en andere beleidsentiteiten.</i>	6
Hoofdstuk 3 Onderzoeksstrategie van biba	7
3.1 <i>De hoofdstudie en de nevenstudies</i>	7
3.2 <i>De selectie van scholen</i>	7
3.3 <i>De selectie van stoffen</i>	8
3.3.1 <i>Stoffen gemeten in de hoofdstudie</i>	9
3.3.2 <i>Stoffen gemeten in de nevenstudies</i>	9
Hoofdstuk 4 Interpretatie van de meetgegevens	11
4.1 <i>Hoofdstudie</i>	11
4.2 <i>Nevenstudies</i>	15
Hoofdstuk 5 Beleidsaanbevelingen	17

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**asisscholen. 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 informatieverspreiding

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

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 PM_{2.5} 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

Criterion	Vooropgesteld		Selectie	
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 – Ouderdom	Stedelijk / voor 1990:	5	Stedelijk / voor 1990:	10
	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

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 (PM_{2.5}) 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 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. Acetaldehyde concentraties in alle 90 klassen liggen beneden de richtwaarden van het Vlaams BinnenMilieuBesluit; in 2 klassen wordt wel de strengste internationale blootstellingslimiet overschreden. In 1 klas werd de blootstellingsgrens van US-EPA voor xylenen overschreden.

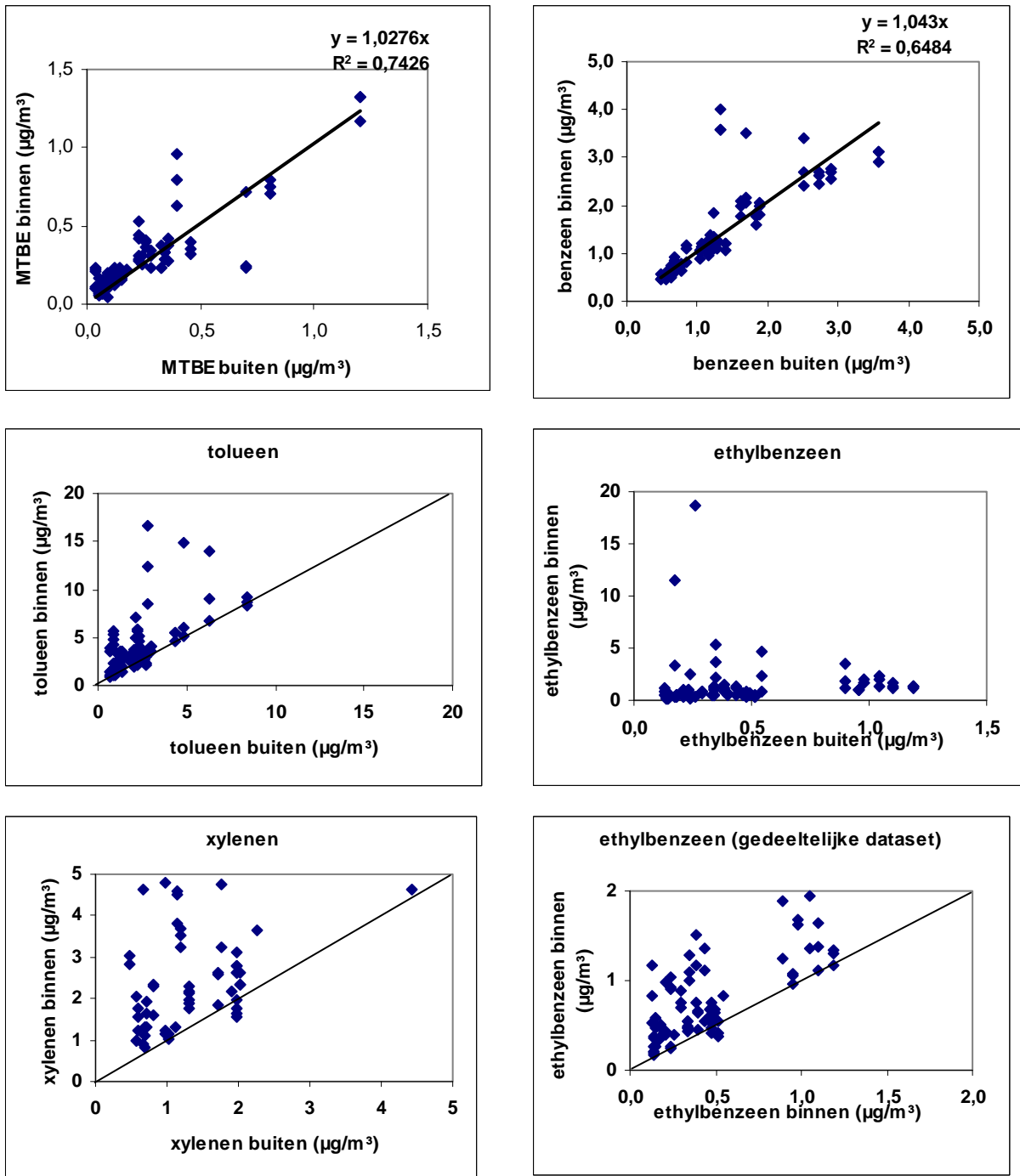
De luchtkwaliteit in de klaslokalen was voor de meeste pollutanten in de meeste scholen slechter dan de buitenluchtkwaliteit op de speelplaats. De luchtkwaliteit op de speelplaats was in de meeste gevallen gelijkaardig aan de luchtkwaliteit aan de straatkant.

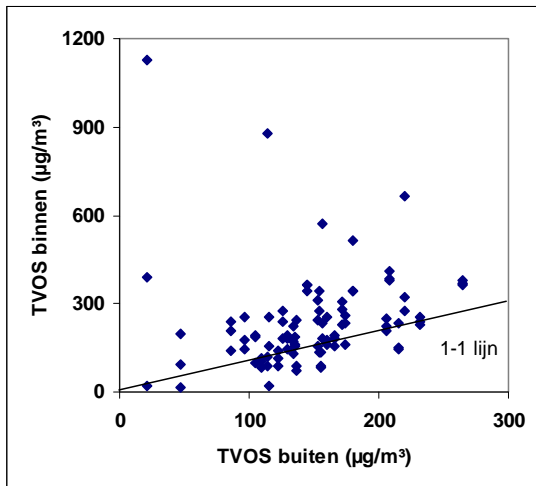
Invloed van buitenlucht op luchtkwaliteit in de klaslokalen

Voor verkeersgerelateerde pollutanten (MTBE, benzeen, 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 verklaarden we door de bijkomende bijdrage van binnenbronnen, en/of door een hogere residentietijd van de geïnfilterde 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 momenteel nog ongekend.