

Humaan biomonitoringsonderzoek in omgeving Stationsbuurt Antwerpen

**GITTE MATEUSEN, JANNE PAUWELS, CARMEN FRANKEN,
BIANCA COX, ROSETTE VAN DEN HEUVEL, ELLY DEN HOND**

13 MEI 2025

PARTNERS

Deze studie gebeurde in opdracht en met financiering van het Departement Zorg van de Vlaamse overheid.

De studie werd opgevolgd en begeleid door medewerkers van Departement Zorg van de Vlaamse overheid (L. Van Rooy, Y. Simanjuntak, H. Chovanova), Gezondheidsmakers (N. Kuzmicheva, K. Degroeve, L. De Groot) en de stad Antwerpen (F. Lenders).

De studie werd uitgevoerd door een onderzoeksgroep met volgende partners:

- Provinciaal Instituut voor Hygiëne (PIH), verantwoordelijk voor de algemene coördinatie, studie design, veldwerk, laboratorium analyses, data management, interpretatie, rapportering en communicatie (dr. E. Den Hond (woordvoerder), dr. C. Franken, G. Mateusen, S. Lenaerts, A. Joosen, Dr. S. Heyrman, G. Thijs, C. Adriaensen, V. Jacobs, A. Kostense, I. Maldoy, K. Willems);
- VITO, verantwoordelijk voor studie design, data management, statistische analyse, modellering, interpretatie en rapportering (dr. B. Cox, dr. S. Remy, J. Pauwels, dr. R. Van Den Heuvel, L. Rodriguez Martin, H. Willems).

SAMENVATTING

DOEL

Waarom deze studie?

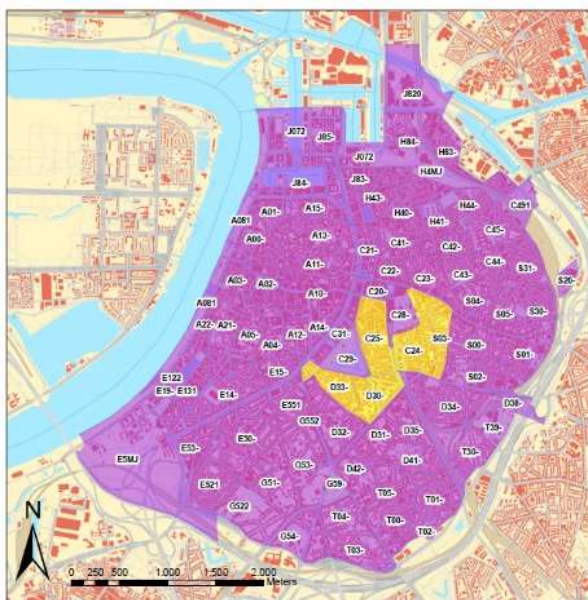
In de stationsbuurt van Antwerpen is al enige tijd ongerustheid over mogelijke blootstelling aan metalen, zoals lood, zink, cadmium en kwik. Een bodemonderzoek van OVAM in 2023 bevestigde dat sommige van deze metalen, waaronder lood, in verhoogde concentraties aanwezig zijn in deze buurt. Het is echter niet duidelijk of deze vervuiling specifiek te maken heeft met lokale activiteiten rond het station (bijvoorbeeld de goudraffinaderij Value Trading), of eerder een bredere stedelijke problematiek weerspiegelt. Daarom werd een humaan biomonitoringsonderzoek (HBM) opgezet om beter te begrijpen of, en in welke mate, mensen in de stationsomgeving daadwerkelijk aan metalen worden blootgesteld, om de gezondheidkundige relevantie hiervan te beoordelen en om factoren te identificeren die de blootstelling aan metalen bepalen. Omwille van praktische redenen en voldoende referentiegegevens werd in dit onderzoek lood geselecteerd als biomerker van blootstelling.

Wat is het hoofddoel van de studie?

Via metingen van lood in het bloed bij moeder-kind koppels werd nagegaan of de blootstelling in de stationsbuurt van Antwerpen verschilt van die in andere stedelijke delen van Antwerpen. Daarnaast werd onderzocht of de gemeten waarden boven gezondheidkundige toetsingswaarden liggen, en welke omgevings- of leefstijlfactoren mogelijk bijdragen aan verhoogde blootstelling.

METHODEN

Hoe werd het onderzoek uitgevoerd?



De onderzoeken vonden plaats van mei 2024 tot december 2024.

RESULTATEN

Wie waren de deelnemers?

In totaal werden 200 kinderen onderzocht, waarvan 44 uit het studiegebied en 156 uit het controlegebied, en 191 moeders, waarvan 43 uit het studiegebied en 148 uit het controlegebied. Het vooropgestelde aantal van 200-250 deelnemers per gebied werd dus niet gehaald ondanks herhaalde pogingen van het onderzoeksteam om de respons te verhogen. Vanwege de lagere aantallen is de kans op representativiteit verkleind en de kracht van het onderzoek verminderd, waardoor kleine effecten minder goed te detecteren zijn.

De leeftijd van kinderen en moeders was vergelijkbaar tussen beide gebieden. Wel waren er enkele opvallende verschillen: in het studiegebied waren er minder jongens en minder hoogopgeleide moeders dan in het controlegebied. In het studiegebied werd het merendeel van de deelnemers onderzocht in mei (65,9% van de kinderen) en in het controlegebied in juni-september (66,7%). De helft van de kinderen uit het studiegebied volgde onderwijs in een Joodse school, terwijl in het controlegebied dit slechts 10,3% was.

Blootstelling aan lood

Lood-in-bloedwaarden van kinderen waren significant hoger dan die van de moeders ($p < 0,001$). Het geometrisch gemiddelde (95% CI) was 20,6 µg/l (19,2; 22,1) bij de kinderen en 15,4 µg/l (14,2; 16,6) bij de moeders.

De gemiddelde lood-in-bloedconcentratie was niet significant verschillend tussen het studiegebied en het controlegebied, noch bij de kinderen, noch bij de moeders. Bij de kinderen werden lagere lood-in-bloedwaarden waargenomen bij toenemende afstand van het woonadres t.o.v. Value Trading, maar dit werd niet bevestigd bij de moeders.

Op basis van deze resultaten kan worden geconcludeerd dat er geen sterke aanwijzingen zijn voor een verhoogde loodblootstelling die specifiek gelinkt is aan de omgeving van de stationsbuurt in Antwerpen. De blootstelling lijkt veeleer te wijzen op een algemene stedelijke achtergrond, die zich uitstrekt over het volledige gebied binnen de Antwerpse Singel.

Determinanten van blootstelling

Via het linken van de lood-in-bloedwaarden met gegevens uit de vragenlijsten werden factoren geïdentificeerd die de blootstelling in goede of in slechte zin kunnen beïnvloeden.

De analyse van determinanten toonde dat lood-in-bloedconcentraties in een groep van kinderen en moeders uit een stedelijk milieu samenhangen met persoonlijke factoren, levensstijlfactoren en omgevingsfactoren. De resultaten waren meestal in overeenstemming met de literatuur.

De voornaamste bevindingen zijn:

- Roken bleek een bron van lood te zijn bij de moeders.
- De resultaten voor het dragen van schoenen in de woning, het hebben van een tuin/terras met gras, buiten stoken, ... suggereren dat contact met bodem- en stofdeeltjes het risico op blootstelling aan lood verhoogt.

- Een goede hygiëne, bijv. frequent ververset van kleding, kan beschermen tegen loodblootstelling.
- Het drinken van flessenwater was geassocieerd met lagere lood-in-bloedgehalten, het drinken van kraanwater met hogere lood-in-bloedgehalten bij moeders. Mogelijk is dit vooral relevant in een stedelijke context met oudere huizen door de aanwezigheid van loden drinkwaterleidingen. Het is aangeraden om in oude huizen het water te laten testen op aanwezigheid van lood vooraleer het te gebruiken voor consumptie.
- Binnenhuisfactoren zijn van belang; potentiële risicofactoren zijn oude woningen, metalen waterleidingen, losse tapijten en planken vloer als vloerbedekking; potentiële beschermende factoren zijn een goede ventilatie van de woning en regelmatig poetsen van de woning.
- Tekorten aan mineralen (bijv. ijzer, calcium en zink) kunnen ertoe leiden dat lood uit de voeding meer wordt opgenomen in de darm. Het nemen van voedingssupplementen zou dit kunnen verhinderen.

De resultaten ondersteunen de gekende preventieve adviezen van overheden om blootstelling aan metalen te vermijden.

Hoe interpreteren we de blootstellingswaarden?

Lood-in-bloedwaarden van de kinderen en de moeders werden vergeleken met gezondheidkundige toetsingswaarden. Gezondheidkundige toetsingswaarden werden door internationale instanties afgeleid en zijn streefwaarden voor de gezondheid. Bij een waarde boven deze streefwaarde zijn schadelijke effecten op de gezondheid niet uit te sluiten.

In dit onderzoek had 85,5% van de kinderen een lood-in-bloedwaarde boven de strengste toetsingswaarde van 12 µg/l voor neurotoxiciteit (IQ-verlies).

Ongeveer de helft (50,3%) van de moeders had een waarde boven de toetsingswaarde van 15 µg/l waarbij chronische nierproblemen kunnen ontstaan.

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

De gemiddelde lood-in-bloedwaarden waren niet significant verschillend tussen het studiegebied en het controlegebied; er werd dus geen link gelegd met een specifieke bron.

De gemiddelde loodblootstelling bij kinderen en moeders in de onderzoeksgroep (studiegebied en controlegebied samen) ligt hoger dan de achtergrondblootstelling in de algemene bevolking. De gemiddelde waarde is vergelijkbaar met die uit de stedelijke controlepopulatie in het bevolkingsonderzoek in Hoboken, maar ligt lager dan de gemiddelde waarde van kinderen die vlak naast de industrie wonen. In beide onderzoeken werd een identieke meetmethode gebruikt ('vingerprik').

Milieumetingen van VITO, OVAM en VMM in de stationsbuurt, hoewel eerder fragmentarisch, ondersteunen de hypothese van een historische vervuilingproblematiek van een grootstedelijke regio, eerder dan een acute blootstelling door een specifieke bron.

De gezondheidkundige toetsingswaarden worden overschreden door een aanzienlijk deel van de kinderen en de moeders. Dit bevestigt dat er in het stedelijk gebied een verhoogde blootstelling is, met risico's voor verstoring van de cognitieve ontwikkeling van de kinderen en chronische nierproblemen bij de moeders.

De analyse van de determinanten bevestigt conclusies uit eerder onderzoek uit Vlaanderen en publicaties uit de internationale literatuur. In deze studie werden verbanden geobserveerd tussen lood-in-bloedwaarden en persoonsfactoren, leefstijlfactoren en omgevingsfactoren, o.m. roken, het materiaal van de drinkwaterleidingen, consumptie van kraanwater, vloerbedekking in de woning, frequentie van kleding verversen, luchtverversing in de woning en buiten stoken. Deze resultaten bieden mogelijk interessante handvaten voor preventieve acties naar de bevolking toe.

Eerdere ervaringen, onder andere in het bevolkingsonderzoek Hoboken, toonden aan dat maatregelen op zowel groeps- als individueel niveau kunnen bijdragen aan een daling van lood-in-bloedgehalten over langere tijd. Door de loodbelasting via de omgeving te verminderen en persoonlijke bronnen in de thuisomgeving op te sporen en aan te pakken, kan de blootstelling aan lood effectief worden verlaagd.

Samenvattend benadrukt dit onderzoek de noodzaak tot blijvende opvolging van loodblootstelling in de verstedelijkte omgeving (bv. door HBM-studies), met specifieke aandacht voor historische vervuiling, kwetsbare bevolkingsgroepen zoals kinderen, en binnenmilieufactoren.

INHOUDSTAFEL

HOOFDSTUK 1: INLEIDING	13
HOOFDSTUK 2: DOEL VAN DE STUDIE	14
HOOFDSTUK 3: METHODE	15
3.1 ONDERZOEKSGBIED	15
3.2 REKRUTERING VAN DE STUDIEPOPULATIE	16
3.2.1 DOELGROEP	16
3.2.2 SELECTIE	16
3.2.3 REKRUTERING	17
3.2.4 TOESTEMMING VAN DE DEELNEMERS	18
3.3 VERZAMELEN VAN STALEN EN GEGEVENS	18
3.3.1 VELDWERK	18
3.3.2 STAALAFNAME EN ANALYSE	18
3.3.3 EXTERNE DATA	19
3.4 DATA MANAGEMENT	19
3.5 STATISTISCHE ANALYSE	21
3.5.1 BESCHRIJVENDE STATISTIEK STUDIEPOPULATIE	21
3.5.2 BESCHRIJVENDE STATISTIEK LOOD-IN-BLOEDWAARDEN	21
3.5.3 VERGELIJKING VAN LOOD-IN-BLOEDWAARDEN TUSSEN STUDIE- EN CONTROLEGEBIED	21
3.5.4 ANALYSE AFSTAND EN ORIËNTATIE VAN WOONADRES T.O.V. VALUE TRADING	23
3.5.5 DETERMINANTEN VAN BLOOTSTELLING	23
3.5.6 VERGELIJKING MET TOETSINGS- OF STREEFWAARDEN	24
HOOFDSTUK 4: RESULTATEN	26
4.1 REKRUTERING VAN STUDIEPOPULATIE	26
4.2 RESPONS	28
4.3 BESCHRIJVING VAN DE POPULATIE	28
4.4 BLOOTSTELLING	31
4.4.1 BESCHRIJVENDE STATISTIEK	31
4.4.2 VERGELIJKING VAN LOOD-IN-BLOEDWAARDEN TUSSEN STUDIE- EN CONTROLEGEBIED	34
4.4.3 ANALYSE AFSTAND EN ORIËNTATIE VAN WOONADRES T.O.V. VALUE TRADING	36
4.4.4 DETERMINANTEN VOOR LOOD-IN-BLOED	40
4.4.5 VERGELIJKING MET GEZONDHEIDSKUNDIGE TOETSINGSWAARDEN	50
HOOFDSTUK 5: DISCUSSIE	52
5.1 VERGELIJKING MET DE LITERATUUR	52
5.2 GEBIEDSVERGELIJKING	55

5.3 DETERMINANTEN VOOR LOOD-IN-BLOED	56
5.4 GEZONDHEIDSKUNDIGE INTERPRETATIE	61
5.5 BEPERKINGEN VAN HET ONDERZOEK	61
 HOOFDSTUK 6: MILIEUMETINGEN	 63
 6.1 STOFMETINGEN VITO	 63
6.2 BODEMMETINGEN OVAM	63
6.3 DEPOSITIEMETINGEN VMM	64
 HOOFDSTUK 7: CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	 66
 7.1 CONCLUSIE	 66
7.2 AANBEVELINGEN	66

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Onderzoeksgebied met statistische sectoren binnen de Singel in Antwerpen.	15
Figuur 2: Onderzoeksgebied met geselecteerde statistische sectoren binnen de Singel in Antwerpen.	17
Figuur 3: Opvangen van bloeddruppels in lithiumheparine containertje.	19
Figuur 4: Verdeling van de logaritmisches getransformeerde lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) volgens maand van staalafname voor kinderen (links) en moeders (rechts).	33
Figuur 5: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen volgens maand van staalafname, na correctie voor leeftijd en geslacht.	33
Figuur 6: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij moeders volgens maand van staalafname, na correctie voor leeftijd en roken.	33
Figuur 7: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen volgens afstand en oriëntatie (windrichting) van woonadres t.o.v. Value Trading.	37
Figuur 8: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen volgens de interactie tussen afstand en oriëntatie (windrichting) van woonadres t.o.v. Value Trading.	38
Figuur 9: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij moeders volgens afstand en oriëntatie (windrichting) van woonadres t.o.v. Value Trading.	39
Figuur 10: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij moeders volgens de interactie tussen afstand en oriëntatie (windrichting) van woonadres t.o.v. Value Trading.	40
Figuur 11: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens algemene kenmerken en socio-economische factoren, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.	42
Figuur 12: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens bepaalde leef- en eet-/drinkgewoonten, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.	44
Figuur 13: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen volgens de duur van borstvoeding, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname, en de GMRs voor lood- in-bloed bij moeders volgens de duur van borstvoeding en het aantal zwangerschappen (tot minstens 22 weken; pariteit), na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname.	45
Figuur 14: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens binnenhuisfactoren, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.	48
Figuur 15: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens de frequentie van stofzuigen van de woonkamer, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.	48
Figuur 16: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens de aanwezigheid van huisdieren (kat(ten), hond(en) en/of andere dieren met vacht), na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.	49
Figuur 17: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens buitenhuisfactoren, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.	50

Figuur 18: Ligging meetplaatsen OVAM.	64
Figuur 19: Ligging meetplaatsen VMM.	65

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Rekruteringsacties per school – deel 1.	26
Tabel 2: Rekruteringsacties per school – deel 2.	27
Tabel 3: Overzicht onderzoeksdagen.....	27
Tabel 4: Kenmerken van de deelnemende kinderen.....	29
Tabel 5: Kenmerken van de deelnemende moeders.....	30
Tabel 6: Beschrijvende gegevens van de lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) bij kinderen.	31
Tabel 7: Beschrijvende gegevens van de lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) bij moeders.	32
Tabel 8: Vergelijking van lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) tussen kinderen die wonen in het studiegebied en kinderen die wonen in het controlegebied.	35
Tabel 9: Vergelijking van lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) tussen kinderen die naar school gaan in het studiegebied en kinderen die naar school gaan in het controlegebied.	35
Tabel 10: Vergelijking van lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) tussen moeders die wonen in het studiegebied en moeders die wonen in het controlegebied.....	36
Tabel 11: Percentage kinderen boven de toetsingswaarde.	50
Tabel 12: Percentage moeders boven de toetsingswaarde.	51
Tabel 13: Overzicht lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) van studies bij kinderen.	54
Tabel 14: Overzicht lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) van studies bij volwassenen.....	54
Tabel 15: Samenvatting van de significante determinanten voor lood-in-bloed bij kinderen en/of moeders (overall $p < 0,1$ in minstens één van de twee groepen).	56

LIJST VAN AFKORTINGEN

AAS	Atomaire absorptiespectrometrie
BMDL	Benchmark dose limit
CI	Confidentie-interval
DL	Detectielimiet
FLEHS	Flemish Environment and Health Study
GEE	Generalized Estimating Equations
GM	Geometrisch gemiddelde
GMR	Geometric mean ratio
HBM	Humane biomonitoring
ICF	Informed consent form
ISCED	International Standard Classification of Education
KL	Kwantificatielimiet
LIMS	Laboratorium informatie management systeem
OVAM	Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij
PIH	Provinciaal instituut voor hygiëne
SD	Standaarddeviatie
VITO	Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij

HOOFDSTUK 1: INLEIDING

Reeds geruime tijd is er in de stationsbuurt van Antwerpen ongerustheid over de blootstelling aan metalen. OVAM voerde in 2023 een onderzoek uit waarbij 20 bodemstalen geanalyseerd werden (1). In sommige stalen werden verhoogde waarden van metalen geobserveerd, nl. van lood, zink, cadmium en kwik. Mogelijks is er een link met de activiteiten in de stationsomgeving (bijvoorbeeld de goudraffinaderij Value Trading), maar het zou ook kunnen gaan om een algemene grootstedelijke problematiek.

Om de **ernst en reikwijdte van de metalenproblematiek in de stationsbuurt van Antwerpen in kaart te brengen** werd er op vraag van het departement Zorg een **humaan biomonitoringsonderzoek (HBM)** georganiseerd door de Partnerorganisatie Milieugezondheidszorg (PIH & VITO). Het doel van dit onderzoek was om de blootstelling aan metalen te onderzoeken in de stationsbuurt, en deze te vergelijken met de blootstelling in een stedelijke achtergrondomgeving. Een bijkomend doel was het beoordelen van de **gezondheidkundige relevantie** van deze blootstelling aan metalen, alsook het bestuderen van verbanden tussen de inwendige blootstelling en **factoren in de omgeving**.

In een eerste stap werd een projectplan (2) uitgewerkt waarin o.a. de doelgroep, de blootstellingsmerker, en het studiedesign werden bepaald:

- **Doelgroep:** de studie wordt uitgevoerd bij **moeder-kind koppels**. Kinderen van het 1^e en 2^e jaar lager onderwijs (6 tot 8 jaar) zijn een gevoelige doelgroep omdat zij hoog zijn blootgesteld aan metalen (frequent hand-mond contact, hoge ademprequentie, frequent contact met grond/stof op de vloer én efficiëntere opname) en omdat zij bij dezelfde dosis mogelijk meer gezondheidsschade hebben dan volwassenen (omdat hun lichaam volop in ontwikkeling is). Aangezien kinderen uit een kleine geografische regio vaak naar dezelfde scholen gaan en omdat binnenhuisfactoren mogelijk ook een belangrijke determinant zijn van blootstelling aan metalen, worden ook de moeders van de deelnemende kinderen onderzocht. Dit zou kunnen helpen om omgevingsfactoren (school- vs. thuisomgeving) van elkaar te onderscheiden.
- **Biomerker van blootstelling:** de blootstelling aan metalen wordt onderzocht via het meten van de **lood-in-bloedwaarde** op capillair bloed, genomen via een **vingerprik**. Omwille van praktische redenen en voldoende referentiegegevens werd in dit onderzoek lood geselecteerd als biomerker van blootstelling. Lood is één van de pollutanten die verhoogd waren in de bodemstalen van OVAM (1). De vingerprik is logistiek eenvoudig en op kwaliteitsvolle manier uit te voeren bij jonge kinderen, en dit in tegenstelling tot een perifere bloedafname of urinecollectie. De halfwaardetijd van lood-in-bloed bedraagt 1 tot 3 maanden, waardoor het een goed beeld geeft van de lokale situatie en dit op middellange termijn. Indien er maatregelen worden genomen, is deze techniek geschikt om veranderingen op middellange termijn op te pikken.
- **Studiedesign:** er wordt een cross-sectioneel onderzoek opgezet waarbij de lokale situatie in het studiegebied (stationsbuurt Antwerpen) wordt vergeleken met een controlegebied (algemene stedelijke omgeving in Antwerpen).

HOOFDSTUK 2: DOEL VAN DE STUDIE

Het doel van dit onderzoek was om de milieugezondheidskundige impact van metalen bij de bevolking in de stationsbuurt Antwerpen-Centraal te bestuderen.

Het onderzoek wilde een antwoord bieden op **3 onderzoeksvragen**:

1. Is er een verhoogde **blootstelling aan lood** (metalen) die specifiek gelinkt kan worden aan de omgeving van de stationsbuurt in Antwerpen, en verschilt deze blootstelling van een algemene stedelijke omgeving?
2. Wat zijn de **determinanten** van de blootstelling aan lood?
3. Is er een gezondheidskundig risico verbonden aan de blootstelling die geobserveerd wordt in de stationsbuurt van Antwerpen, en verschilt dit risico van dat van een algemene stedelijke omgeving? Dit wordt bestudeerd door de lood-in-bloedwaarden te vergelijken met **gezondheidskundige toetsingswaarden**.

Onderzoeksvragen 1 en 3 werden omgezet naar respectievelijk de volgende concrete analysevragen: "Is de blootstelling aan lood (metalen) in de omgeving van de stationsbuurt in Antwerpen hoger dan de blootstelling in een stedelijk controlegebied?", en "Is het percentage deelnemers met concentraties lood-in-bloed boven de gezondheidskundige toetsingswaarden hoger in het studiegebied dan in het controlegebied?".

Op basis van gedetailleerde informatie uit vragenlijsten en geografische informatie kon gezocht worden naar risicofactoren uit het milieu (bijv. eten van lokale voeding, contact met bodem, wonen nabij een mogelijke lokale bron, ...). Daarnaast werd ook rekening gehouden met mogelijke versturende factoren ('confounders') zoals binnenhuisfactoren (bijv. loden drinkwaterleidingen, poetsgedrag, verluchting, ...), leefstijlfactoren (bijv. roken, gebruik van kookmateriaal, ...) en persoonsfactoren (bijv. leeftijd, geslacht, pariteit, ...).

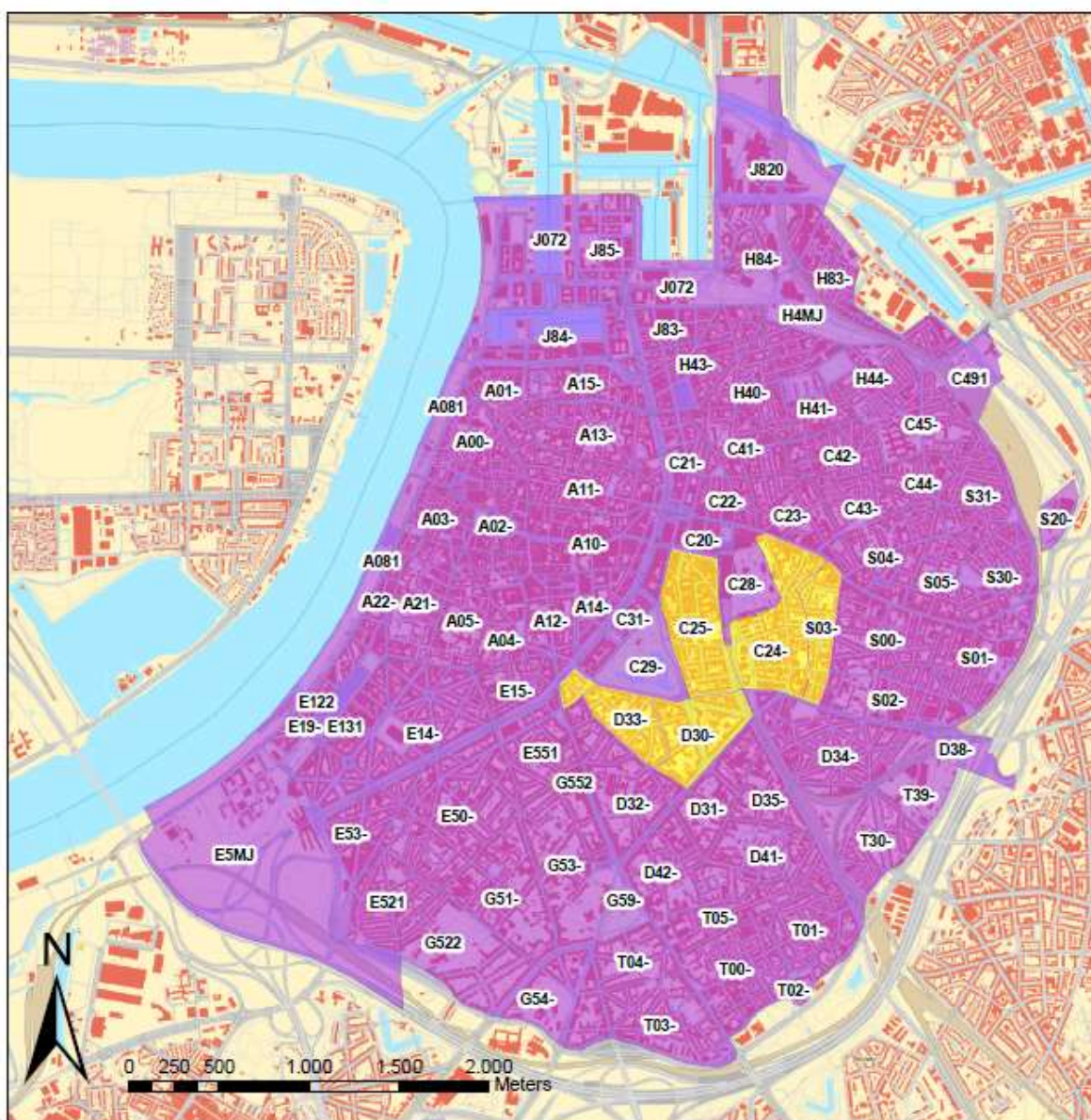
De resultaten zullen voor de overheid een basis vormen voor het nemen van gerichte beleidsacties, o.m. met betrekking tot sensibilisering, bronmaatregelen en/of remediëring.

HOOFDSTUK 3: METHODE

3.1 ONDERZOEKSGBIED

Het studiegebied bestond uit vijf statistische sectoren rond het centraal station in Antwerpen (Figuur 1): C24 (PROVINCIESTRAAT – STATIONSWIJK), C25 (PELIKAANSTRAAT – STATIONSWIJK), S03 (KROONSTRAAT-WEST), D30 (CHARLOTTALEI – OOSTWIJK), D33 (STADSPARK-ZUID – OOSTWIJK). Het centraal station (sector C28; STATION – ZOO) ligt centraal in het centrum van Antwerpen; deze sector bevat geen bewoners.

Het controlegebied bestond uit de overige statistische sectoren binnen de Singel in Antwerpen. Het controlegebied werd geselecteerd om na te gaan of de problematiek in de stationsbuurt verschilt van een algemene stedelijke achtergrond.



Figuur 1: Onderzoeksgebied met statistische sectoren binnen de Singel in Antwerpen.

Het studiegebied bestaat uit vijf statistische sectoren (geel gebied); het controlegebied bestaat uit de overige statistische sectoren binnen de Singel (paars gebied).

3.2 REKRUTERING VAN DE STUDIEPOPULATIE

3.2.1 Doelgroep

De studiepopulatie bestond uit moeder-kind koppels. Als leeftijdsgroep werden kinderen van het 1^e en 2^e leerjaar (6 tot 8 jaar) geselecteerd, nl. kinderen geboren in 2016 of 2017 aangezien de studie werd opgestart in het voorjaar 2024. De moeders konden deelnemen op voorwaarde dat ze op hetzelfde adres woonden, bijgevolg kwamen in aanmerking: biologische, stief-, pleeg-, adoptiemoeder. Er was geen leeftijdsbeperking voor de moeders.

3.2.2 Selectie

Het doel was om 200 tot 250 moeder-kind koppels te onderzoeken die wonen in de vijf statistische sectoren grenzend aan het centraal station in Antwerpen (= studiegebied) en eveneens 200 tot 250 moeder-kind koppels die wonen in het controlegebied, nl. binnen de Singel in Antwerpen, exclusief de vijf statistische sectoren van het studiegebied. De selectie van dit aantal was gebaseerd op powerberekeningen, uitgevoerd op basis van data van lood-in-bloed metingen bij kinderen in Hoboken en bij jongeren en volwassenen van de Vlaamse humane biomonitoringstudies (FLEHS, Flemish Environment and Health Study) (Bijlage 1). Op basis van de bevolkingscijfers van de stad Antwerpen werd er bepaald dat er een responsgraad van 44% in het studiegebied en 10-15% in het controlegebied nodig was om de vooropgestelde aantallen te behalen.

Bij de selectie van de deelnemers werd getracht een voldoende grote spreiding in herkomst na te streven. Aangezien de controlegroep in verhouding tot de doelgroep veel meer bewoners bevat, diende er een selectie te gebeuren van de kinderen die uitgenodigd werden in het controlegebied.

Om de samenstelling van de doelgroep te benaderen werd een stratificatie uitgevoerd waarbij statistische sectoren met een bepaalde samenstelling (bijv. meer bewoners van Joodse, Maghreb of Aziatische herkomst) een grotere voorkeur hadden om geselecteerd te worden. Daarnaast werd ook gezorgd voor een goede geografische verdeling over het controlegebied.

Uiteindelijk werden potentiële deelnemers uit 29 statistische sectoren geselecteerd als controlegroep (Figuur 2).

3.2.4 Toestemming van de deelnemers

De deelnemers ondertekenden voorafgaand aan inclusie in de studie een geïnformeerd toestemmingsformulier (ICF, informed consent form). Toestemming van moeder en kind werd gedocumenteerd op hetzelfde toestemmingsformulier. Hierin werd de studie beschreven, werden de rechten van de deelnemer uitgelegd, werd een duidelijke tijdslijn meegedeeld en werd beschreven wie onder welke omstandigheden toegang heeft tot de data.

Voor deze toestemming werd de handtekening van een ouder of wettelijke voogd gevraagd, m.a.w. van de persoon die de wettelijke verantwoordelijkheid draagt. Van het kind zelf werd geen handtekening gevraagd.

Het ICF bevatte ook een selectievragenlijst die peilde naar een aantal kenmerken van de deelnemers (kind en moeder) zoals adres, leeftijd, geslacht, aantal jaren wonen binnen het studiegebied, herkomst, opleidingsniveau van de moeder en school van het kind.

3.3 VERZAMELEN VAN STALEN EN GEGEVENS

3.3.1 Veldwerk

Bij ontvangst van het ondertekende toestemmingsformulier werden de deelnemers uitgenodigd, telefonisch of via e-mail, om een afspraak te maken voor het onderzoek op één van de onderzoeksdagen.

Deelnemers ontvingen twee weken voor de onderzoeksdag een e-mail met digitale links naar twee elektronische vragenlijsten, één kind vragenlijst en één moeder vragenlijst. De vragenlijsten werden opgemaakt in LimeSurvey. De vragenlijsten moesten vóór de onderzoeksdag ingevuld worden door de moeders en peilden naar mogelijke bronnen van lood en confounders, o.a. buitenomgeving (contact met bodem, consumptie van lokaal geteelde groenten, eieren van eigen kippen, ...), binnenhuisomgeving (loden drinkwaterleidingen, passief roken, poetsgedrag, ...), levensstijl (roken, voeding, gebruik van kookmateriaal, ...) en persoonskenmerken (leeftijd, geslacht, pariteit, socio-economische status, ...).

Indien de digitale vragenlijsten de dag vóór de onderzoeksdag nog niet waren ingevuld, werd een herinnering via mail gestuurd. Vragenlijsten die alsnog niet op voorhand werden ingevuld, werden op de onderzoeksdag zelf op papier of digitaal ingevuld of werden meegegeven.

Op de onderzoeksdag bestond het onderzoek uit een vingerprik bij moeder en kind; na de vingerprik kreeg het kind een speelgoedje als beloning.

3.3.2 Staalafname en analyse

De bloedafname gebeurde door middel van een vingerprik waarna een capillair bloedstaal werd opgevangen in een containertje met lithiumheparine voor antistolling (Figuur 3). Vooraf werden de handen gewassen met warm water en een vloeibare neutrale zeep uit een handpomp. De vinger werd met een oplossing van 2% salpeterzuur gereinigd om contaminatie van het bloedstaal via de huid te vermijden. Na de vingerprik werd een druppel vaseline op de prikplaats aangebracht om druppelvorming te bevorderen.

Analyse van lood-in-bloed gebeurde in het laboratorium van het PIH met een PerkinElmer Zeeman toestel voor atomaire absorptiespectrometrie (AAS). In de AAS worden atomen die zich in de grondtoestand bevinden, bestraald met monochromatisch licht dat ze kunnen absorberen. De intensiteit van het licht wordt vergeleken vóór en na doorgang door het absorberend midden. Nadien

wordt een kwantitatief verband gelegd tussen de gemeten absorptie en het aantal absorberende atomen of de atomaire concentratie van het element in het geatomiseerd monster. Het verhitten van de monsteroplossing dient enkel om het monster in atomaire vorm te krijgen door het verbreken van de chemische bindingen. Het atomiseren van het monster gebeurt in de grafietoven.

De bloedstalen werden door het Lab Metalen van het PIH verwerkt op een kwalitatieve, gestandaardiseerde manier in het Laboratorium Informatie Management Systeem (LIMS) via het unieke labelnummer. Na de nodige kwaliteitscontroles werden de meetreeksen van lood-in-bloed bezorgd aan de dienst Milieu-Gezondheid van het PIH.

Het PIH-laboratorium bezit een BELAC-accreditatie volgens ISO 17025:2017 voor lood-in-bloed. Er wordt meegewerkt aan ringtesten G-Equas, georganiseerd door Prof. Dr. med. H. Drexler van het Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin in Erlangen, Duitsland.

De detectielimiet (DL) van de methode bedroeg 5 µg/l; de kwantificatielimiet (KL) bedroeg 9 µg/l.



Figuur 3: Opvangen van bloeddruppels in lithiumheparine containertje.

3.3.3 Externe data

Er werd in het ICF van de deelnemers expliciete toestemming gevraagd om op basis van het woonadres berekeningen te doen van bijv. afstand tot Value Trading, afstand tot spoorlijnen, Aangezien weersomstandigheden mogelijk een effect hebben op lood-in-bloedwaarden werden meteorologische gegevens gemeten in het meetstation van Stabroek gedownload (<https://opendata.meteo.be/download>), meer bepaald de dagelijkse gemiddelde temperatuur, gemiddelde hoeveelheid neerslag, en gemiddelde windsnelheid. Dagelijkse gegevens voor het ganze jaar 2024 werden gedownload en werden gebruikt om voor iedere deelnemer gemiddelde waarden te berekenen overheen de 30 dagen en 90 dagen vóór staalafname (zie sectie 3.4).

3.4 DATA MANAGEMENT

De gegevens verzameld tijdens dit onderzoek waren afkomstig uit verschillende bronnen, zoals het toestemmingsformulier, de vragenlijsten voor moeder en kind, loodwaarden gemeten in bloedstalen en geografische locatiegegevens.

Elke deelnemer, zowel moeder als kind, had een uniek identificatienummer. Alle gegevens van een specifieke deelnemer konden aan elkaar gelinkt worden op basis van het unieke identificatienummer van deze deelnemer. In de databank werden gegevens van moeders en kinderen apart van elkaar opgeslagen. Aan iedere deelnemer werd ook een gezinscode toegekend zodat de gegevens van moeder en kind eenvoudig gekoppeld konden worden.

Op deze data werden verschillende kwaliteitscontroles uitgevoerd om de correctheid van de data na te gaan.

Biomerkerdata zijn typisch links-gecensureerde data, namelijk als er metingen zijn die onder de detectielimiet (DL) of kwantificatielimiet (KL) liggen. Gecensureerde waarden werden vervangen door een substitutiewaarde door gebruik te maken van een eenmalige distributie-gebaseerde random imputatie ('distribution based single imputation'). Hiervoor wordt er aangenomen dat de metingen een bepaalde verdeling volgen. In het geval van blootstellingsgegevens is het vaak zinvol om uit te gaan van een lognormale verdeling. Eerst wordt een gecensureerde lognormale verdeling door de geobserveerde waarden (de waarden boven KL) gefit. Dit resulteert in de schatting van het gemiddelde en de standaarddeviatie van de lognormale verdeling. Voor de metingen onder de DL worden vervolgens willekeurig waarden tussen 0 en de DL geïmputeerd, getrokken uit de lognormale verdeling. Voor metingen tussen de DL en de KL wordt een waarde tussen de DL en de KL geïmputeerd, getrokken uit de lognormale verdeling. De imputatie wordt enkel gedaan voor biomerkers met (1) minstens 30% van de metingen boven de KL en (2) tenminste 10 verschillende gemeten waarden (dus boven de KL).

Voor categorische variabelen met kleine categorieën (<10 deelnemers) werden categorieën samengenomen waar zinvol. Categorische variabelen met <10 deelnemers in een bepaalde categorie (in het geval het verder combineren van categorieën niet zinvol of mogelijk was) werden niet meegenomen in de analyses. De verdeling van continue variabelen werd gecheckt en lood-in-bloedwaarden werden omwille van hun scheve verdeling logaritmisch getransformeerd (natuurlijk logaritme).

Voor de geografische variabelen werd in GIS de kortste afstand tussen het woonadres van het kind/moeder en mogelijke loodbronnen (i.e. Value Trading, meest dichtbijgelegen spoorlijn) berekend, om te bekijken of er een afstandsgradiënt in lood-in-bloedwaarden aanwezig is (Figuur 2; sectie 3.5.4).

Bovendien werd de oriëntatie van het woonadres t.o.v. Value Trading berekend en meegenomen in de analyses, om te bekijken of er een verschil in lood-in-bloedwaarden is tussen de windrichtingen en of een eventuele afstandsgradiënt in lood-in-bloedwaarden verschillend is tussen de windrichtingen. De hypothese is dat er mogelijk hogere lood-in-bloedwaarden zijn bij deelnemers die ten noordoosten van Value Trading wonen, aangezien de wind in België meestal vanuit het zuidwesten waait (3).

Voor de meteorologische variabelen (gemiddelde temperatuur, gemiddelde hoeveelheid neerslag, en gemiddelde windsnelheid) werden, vertrekkend van de dagelijkse gegevens, gemiddelde waarden berekend overheen enerzijds de 30 dagen voor staalafname en anderzijds de 90 dagen voor staalafname. Deze 30-dagen en 90-dagen gemiddeldes werden als mogelijke determinanten meegenomen in de determinantenanalyse.

3.5 STATISTISCHE ANALYSE

3.5.1 Beschrijvende statistiek studiepopulatie

De beschrijvende statistiek van de studiepopulatie omvat variabelen met betrekking tot persoonskenmerken (leeftijd, geslacht, socio-economische status, pariteit...), levensstijl (roken, voeding, gebruik van kookmateriaal...), binnenhuisomgeving (materiaal drinkwaterleidingen, passief roken, poetsgedrag...), en buitenhuisomgeving (aanwezigheid tuin/terras, consumptie van lokaal geteelde groenten, eieren van eigen kippen, ...). Voor continue variabelen wordt het gemiddelde met standaarddeviatie (SD) gegeven, voor binaire of categorische variabelen wordt de frequentieverdeling over de categorieën gegeven aan de hand van aantal en percentage deelnemers.

De beschrijvende statistiek werd apart weergegeven voor kinderen en moeders, telkens voor alle deelnemende kinderen en moeders, als opgesplitst volgens gebied (studie- versus controlegebied). Mogelijke verschillen tussen het studie- en controlegebied werden getest aan de hand van ANOVA (continue variabelen) of een Fisher exact test (categorische variabelen).

3.5.2 Beschrijvende statistiek lood-in-bloedwaarden

De beschrijvende statistiek voor lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) werd apart weergegeven voor kinderen en moeders, telkens voor alle deelnemende kinderen en moeders, als opgesplitst volgens gebied (studie- versus controlegebied), leeftijd, geslacht (enkel voor kinderen), actief roken (enkel voor moeders), opleiding moeder (ISCED), en maand van staalafname (mei, juni-september, oktober-december). Volgende gegevens worden gepresenteerd: steekproefgrootte, percentielen (P5, P10, P25, P50, P75, P90, P95), en het geometrisch gemiddelde met 95% confidentie-interval (CI). Het geometrisch gemiddelde wordt verkregen na terugtransformatie van het gemiddelde van de logaritmisch getransformeerde data.

Bij de beschrijvende statistiek werd rekening gehouden met de bescherming van persoonsgegevens volgens de principes gepubliceerd door het *Research Data Centres of the Federal Statistical Office* en de *Statistical Offices of the Federal States* in Duitsland (4). Hierin wordt bepaald welke percentielen kunnen worden weergegeven afhankelijk van de grootte van de onderzoeksgroep, zijnde:

- P50 bij $N \geq 6$
- P25 tot en met P75 bij $N \geq 12$
- P10 tot en met P90 en geometrisch gemiddelde bij $N \geq 30$
- P5 tot en met P95 bij $N \geq 60$

Voorzichtigheid is geboden bij de interpretatie van deze ruwe (niet-gecorrigeerde) vergelijking, aangezien mogelijke verschillen in gehalten tussen het studie- en controlegebied het resultaat kunnen zijn van verschillen in steekproefsamenstelling. Daarom werd er ook een gecorrigeerde analyse gedaan (zie volgend deel).

Het verband tussen lood-in-bloed-waarden van kinderen en moeders werd nagegaan aan de hand van een Pearson correlatie (op logaritmisch getransformeerde waarden). Het verschil in lood-in-bloedwaarden tussen kinderen en moeders werd getest met een gepaarde *t*-test (op logaritmisch getransformeerde waarden).

3.5.3 Vergelijking van lood-in-bloedwaarden tussen studie- en controlegebied

Om onderzoeksvraag 1 ("Is de blootstelling aan lood (metalen) in de omgeving van de stationsbuurt in Antwerpen (studiegebied) hoger dan de blootstelling in een stedelijk controlegebied (controlegebied)?") te beantwoorden, werd het verband tussen lood-in-bloedwaarden (afhankelijke

variabele) en gebied (studie- versus controlegebied; onafhankelijke variabele) getest met een lineair regressiemodel. Net zoals alle overige analyses, gebeurde deze analyse apart voor kinderen en moeders. Omdat persoonskenmerken het verband zouden kunnen vertekenen, werden zowel enkelvoudige (enkel gebied als predictor) als meervoudige (meerdere predictoren) regressiemodellen gebruikt, met de volgende predictoren:

Kinderen:

- Geen
- Leeftijd, geslacht
- Leeftijd, geslacht, opleiding moeder
- Leeftijd, geslacht, maand van staalafname
- Leeftijd, geslacht, exclusie van onderzoeksdagen in oktober – december

Moeders:

- Geen
- Leeftijd, actief roken
- Leeftijd, actief roken, opleiding
- Leeftijd, actief roken, maand van staalafname
- Leeftijd, geslacht, exclusie van onderzoeksdagen in oktober – december

De correctie voor maand van staalafname en het testen van exclusie van onderzoeksdagen in oktober - december werd beslist omwille van de ongelijke verdeling van maand van staalafname tussen studie- en controlegebied in combinatie met significante verschillen in lood-in-bloedwaarden tussen de maanden (zie sectie 4.4.1). Het model met correctie voor maand van staalafname werd beschouwd als het hoofdmodel (motivatie zie sectie 4.4.1). Correctie voor opleiding van de moeder had slechts een klein effect op de schatting voor het verschil tussen studie- en controlegebied en op de schatting voor afstand en oriëntatie t.o.v. Value Trading (sectie 3.5.4). Bovendien is opleiding van de moeder mogelijk gelinkt met andere determinanten, waardoor correctie voor deze variabele het effect van deze determinanten kan maskeren. Daarom werd er in verdere analyses (3.5.4 en 3.5.5) niet gecorrigeerd voor opleiding van de moeder.

Lood-in-bloedwaarden werden logaritmisch getransformeerd omwille van hun scheve verdeling. Bij het modelleren van logaritmisch getransformeerde lood-in-bloedwaarden wordt het gebiedseffect bepaald als de verhouding van geometrische gemiddelden van het studiegebied ten opzichte van het controlegebied, gecorrigeerd voor de hierboven vernoemde steekproefkenmerken. Deze *geometrische mean ratio* (GMR) werd weergegeven met een 95% CI. Het gebiedseffect is dus als een multiplicatief effect te interpreteren. Met andere woorden, een GMR van 1,25 betekent dat het geometrisch gemiddelde van het studiegebied 1,25 keer dat van het controlegebied is, of 25% hoger. Indien de *p*-waarde voor gebied in de regressiemodellen kleiner was dan het significantieniveau, werd de nulhypothese dat er geen verschil in geometrisch gemiddelde is tussen de gebieden verworpen. Gezien de kleine steekproef en de exploratieve aard van de studie, hebben we een significantieniveau van 0,1 gehanteerd.

We hebben geen gebruik gemaakt van *Generalized Estimating Equations* (GEE) om de correlatie tussen metingen van broers/zussen (clustering) in rekening te nemen, gezien het laag aantal clusters, namelijk 10 kinderen met broer of zus in de oorspronkelijke dataset, waarvan 8 met lood-in-bloed metingen.

3.5.4 Analyse afstand en oriëntatie van woonadres t.o.v. Value Trading

Powerberekeningen met het huidige deelnemersaantal in het studie- en controlegebied toonden aan dat er minstens een verschil in lood concentraties van 20% aanwezig moet zijn tussen het studie- en controlegebied om een significant verschil te kunnen detecteren (Bijlage 2). Afgaand op vorige studies is dit verschil niet te verwachten (het verschil in gemiddelde loodconcentraties tussen HBM-Hoboken en FLEHS-4 (referentiepopulatie) bijvoorbeeld bedroeg slechts 12%)(5). Daarom werd er extra aandacht besteed aan de analyse van **afstand van het woonadres tot Value Trading** (bekeken als continue en als categorische variabele met drie categorieën), waarbij deelnemers uit studie- en controlegebied samen geanalyseerd werden. Daarnaast werd er ook gekeken naar de **oriëntatie (windrichting)** van het woonadres t.o.v. Value Trading. Net zoals voor de vergelijking van lood-in-bloedwaarden tussen studie- en controlegebied (zie sectie 3.5.3) werden hiervoor meervoudige lineaire regressiemodellen gebruikt, met de logaritmisches getransformeerde lood-in-bloedwaarde als afhankelijke variabele en in dit geval afstand tot Value Trading en oriëntatie als predictoren (in aparte modellen). Daarnaast werden deze ook samen getest om te kijken of het effect van afstand tot Value Trading afhankelijk is van de oriëntatie. Deze effect modificatie werd getest door de interactieterm afstand tot Value Trading*oriëntatie aan het regressiemodel toe te voegen.

Net zoals voor de overige determinanten (zie sectie 3.5.5) werden de volgende drie correcties getest, en werd het model met correctie voor maand van staalafname als hoofdmodel beschouwd (motivatie zie sectie 4.4.1):

Kinderen:

- Leeftijd, geslacht
- Leeftijd, geslacht, maand van staalafname
- Leeftijd, geslacht, exclusie van onderzoeksdagen in oktober – december

Moeders:

- Leeftijd, actief roken
- Leeftijd, actief roken, maand van staalafname
- Leeftijd, geslacht, exclusie van onderzoeksdagen in oktober – december

Net zoals in sectie 3.5.3, zijn de schattingen die uit deze modellen komen GMRs, ofwel voor een eenheid stijging in de determinant (afstand tot Value Trading als continue variabele), ofwel voor een specifieke categorie ten opzichte van de referentiecategorie (bijv. afstand tot Value Trading als categorische variabele). De resultaten zijn voorgesteld aan de hand van figuren die de GMRs met 95% CI weergeven, alsook de “overall” p -waarde van de determinant, en voor categorische variabelen additioneel symbolen die de categorie-specifieke p -waarden weergeven (** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, + $p < 0,1$). De “overall” p -waarde geeft de significantie van de nulhypothese dat er geen verschil is tussen de categorieën, terwijl de p -waarde van een specifieke categorie de significantie geeft voor de nulhypothese dat de categorie niet verschilt van de referentiecategorie. Ook in deze analyse werd een significantieniveau van 0,1 gehanteerd.

3.5.5 Determinanten van blootstelling

Om onderzoeksvraag 2 (“Wat zijn de determinanten van de blootstelling aan lood?”) te beantwoorden, werden de determinanten van lood-in-bloedwaarden apart onderzocht voor kinderen en moeders. Net zoals voor de analyse van afstand en oriëntatie t.o.v. Value Trading (zie sectie 3.5.4) werden hiervoor meervoudige lineaire regressiemodellen gebruikt, met de logaritmisches

getransformeerde lood-in-bloedwaarde als afhankelijke variabele en de determinant als onafhankelijke variabele, en corrigerend voor verschillende sets van variabelen:

Kinderen:

- Leeftijd, geslacht
- Leeftijd, geslacht, maand van staalafname
- Leeftijd, geslacht, exclusie van onderzoeksdagen in oktober – december

Moeders:

- Leeftijd, actief roken
- Leeftijd, actief roken, maand van staalafname
- Leeftijd, geslacht, exclusie van onderzoeksdagen in oktober – december

Omwille van de kleine steekproefgrootte, werden de determinanten telkens in aparte modellen getest. Het model met correctie voor maand van staalafname werd beschouwd als het hoofdmodel (motivatie zie sectie 4.4.1). Enkel de resultaten van de determinanten met een overall p -waarde $<0,1$ in dit model werden getoond in het rapport, de overige resultaten (inclusief de niet-significante determinanten en de andere twee geteste modellen) werden weergegeven in bijlage.

3.5.6 Vergelijking met toetsings- of streefwaarden

Om onderzoeksvraag 3 (“Is het percentage deelnemers met concentraties lood-in-bloed boven de gezondheidkundige toetsingswaarden hoger in het studiegebied dan in het controlegebied?”) te beantwoorden, werden de gemeten lood-in-bloedwaarden vergeleken met gezondheidkundige toetsingswaarden of streefwaarden. Gezondheidkundige toetsingswaarden worden geformuleerd door internationale commissies en gemeten waarden boven deze richtlijnen duiden op een verhoogd risico voor de gezondheid. Het bevolkingsonderzoek in Hoboken biedt een relevante vergelijking voor een stedelijke context, mede doordat dezelfde meetmethode (vingerprik) werd gebruikt. Hoewel de daar gehanteerde streefwaarden niet internationaal erkend zijn, vormen ze binnen deze context een waardevol referentiepunt. De proportie deelnemers met lood-in-bloedwaarden boven de toetsingswaarden of streefwaarden werd apart berekend voor kinderen en moeders.

Volgende toetsingswaarden werden gebruikt:

Kinderen:

- 12 µg/l: BMDL01-waarde (benchmark dose limit) voor neurotoxiciteit, dit is de benedengrens van waarden waarbij er 1% extra risico is op een lagere IQ-score bij kinderen (6)
- 20 µg/l: streefwaarde middellange termijn in bevolkingsonderzoek Hoboken, 95^{ste} percentiel van kinderen/jongeren in Europese bevolking (7)
- 40 µg/l: streefwaarde korte termijn in bevolkingsonderzoek Hoboken, 95^{ste} percentiel van controlegroep in bevolkingsonderzoek Hoboken (7)

Moeders:

- 12 µg/l: BMDL01-waarde voor neurotoxiciteit kind (6)
- 15 µg/l: BDML10-waarde voor chronische nierproblemen (6)
- 36 µg/l: BDML01-waarde voor een verhoging in systolische bloeddruk (6)

Gezien de beperkte steekproefgrootte en gezien de lood-in-bloedwaarden niet significant hoger waren in het studie- dan in het controlegebied (zie sectie 4.4.2), werd het verschil in percentage

deelnemers met lood-in-bloed boven de toetsingswaarden tussen studie- en controlegebied niet statistisch getest.

HOOFDSTUK 4: RESULTATEN

4.1 REKRUTERING VAN STUDIEPOPULATIE

Na goedkeuring door het Ethisch Comité van het Universitair Ziekenhuis Antwerpen op 18 maart 2024, werd de informatie over het onderzoek online gepubliceerd op de websites van de Stad Antwerpen, de Provincie Antwerpen en het Departement Zorg van de Vlaamse Overheid.

Op 22 maart 2024 werden de uitnodigingsbrieven naar het studiegebied verstuurd. Als bijkomende ondersteuning werd op 29 maart 2024 een online infomoment gehouden voor diverse stakeholders uit de stad Antwerpen (o.a. CLB, Agentschap Opgroeien/Kind en Gezin, stad Antwerpen, vertegenwoordigers Joodse gemeenschap, familiehelp, eerstelijnszone Antwerpen, zorgbedrijf Ten Gaarde). In navolging van dit online infomoment ondersteunde Gezondheidsmakers regio Antwerpen het onderzoek door folders en posters te verspreiden in het Huis van het Kind in Antwerpen-Centrum en Borgerhout, en contact te nemen met de jeugdbeweging rond het station. De Eerstelijnszones Antwerpen verspreidden de informatie over het onderzoek naar hun netwerk in het gebied rond het station, meer specifiek naar huisartsen en apotheken.

Voor potentiële deelnemers uit het studiegebied werd er ook een fysiek inloophmoment georganiseerd in Dienstencentrum De Olijftak op 3 april 2024 om hen de mogelijkheid te geven om extra informatie en toelichting te vragen over het onderzoek, en eventuele vragen te stellen.

Op 19 april 2024 werden de uitnodigingsbrieven naar het controlegebied verspreid.

Omwille van beperkte reactie op de uitnodigingen op het woonadres, met name in het studiegebied, werden verschillende scholen uit het studiegebied eind mei 2024 gecontacteerd om hun medewerking aan het onderzoek te vragen; dit kon gaan van het verdelen van de uitnodigingsbrief onder de leerlingen geboren in 2016 of 2017, tot het organiseren van een onderzoeksdag op school (Tabel 1).

Tabel 1: Rekruteringsacties per school – deel 1.

Schoolnaam	Respons
Mikado	Verspreiden van informatie onder de leerlingen
De Wegwijzer	Initieel bereid om informatie te verspreiden onder de leerlingen, eventueel zelfs een onderzoeksdag te organiseren, maar afgehaakt omwille van onvoorziene omstandigheden
De Wereldreiziger	Onderzoeksdag op school
Satmar	Initieel bereid om mee te werken, informatie onder de leerlingen te verspreiden en een onderzoeksdag te organiseren, maar in extremis afgehaakt
Bais Rachel	Initieel bereid om mee te werken, informatie onder de leerlingen te verspreiden en een onderzoeksdag te organiseren, maar in extremis afgehaakt

Om een beter zicht te krijgen op eventuele barrières in het rekruteringsproces werd er ook overleg gepleegd met het buurtsecretariaat Permeke; informatie over het onderzoek werd voorts verspreid onder de relevante netwerken van de buurtsecretariaten Permeke en Borgerhout. Er werd ook doorlopend contact onderhouden met vertegenwoordigers van de Joodse gemeenschap.

Na een viertal maanden verliep de rekrutering in het studiegebied nog steeds zeer moeizaam. Er werd nog een herinneringsbrief verstuurd naar potentiële deelnemers in het studiegebied op 27 augustus 2024.

In voorbereiding van het nieuwe schooljaar, werd er ook overleg gepleegd met de wijkverantwoordelijken onderwijs van de stad Antwerpen en het CLB om bijkomende scholen te identificeren. De aannname werd gedaan dat in scholen gelegen in het studiegebied ook kinderen naar school gaan uit het controlegebied (Tabel 2). Daarom werd er besloten te focussen op scholen gelegen in of het dichtst bij het studiegebied om het aantal deelnemers uit het studiegebied proberen op te krikken.

Tabel 2: Rekruteringsacties per school – deel 2.

Schoolnaam	Respons
De Kleine Stad	Verspreiden van informatie onder de leerlingen
Benoth Jerusalem	Onderzoeksdag op school
Onze Lieve Vrouw College	Niet bereid mee te werken
Wiznitz	Onderzoeksdag op school
De Zevensprong	Niet bereid mee te werken
Jesode Hatora Beth Jacob	Onderzoeksdag op school
Bais Chinuch	Onderzoeksdag op school

Ook deelnemers uit niet-geselecteerde statistische sectoren in het controlegebied, binnen de singel, konden deelnemen aan het onderzoek. Het veldwerk werd uitgevoerd tussen 7 mei 2024 en 2 december 2024. Een overzicht van de onderzoeksdagen wordt weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Overzicht onderzoeksdagen.

Onderzoeksdatum	Locatie
7/05/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
21/05/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
29/05/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
6/06/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
10/06/2024	Provinciaal Instituut voor Hygiëne
12/06/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
19/06/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
25/06/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
4/07/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
20/08/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
27/08/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
4/09/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
23/09/2024	Vlaams Administratief Centrum – Anna Bijns
1/10/2024	VBS De Wereldreiziger
7/11/2024	Provinciaal Instituut voor Hygiëne
12/11/2024	Benoth Jerusalem, Wiznitz
14/11/2024	Provinciaal Instituut voor Hygiëne
25/11/2024	Jesode Hatora
2/12/2024	Bais Chinuch

4.2 RESPONS

Er werden 560 uitnodigingsbrieven verstuurd naar potentiële deelnemers in het studiegebied en 2053 naar potentiële deelnemers in het controlegebied. In totaal werden er dus 2613 uitnodigingen verstuurd.

Er werden 244 ingestuurde toestemmingen ontvangen, waarvan 62 uit het studiegebied (respons = 11,1%) en 182 in het controlegebied (respons = 8,9%).

Er werden in totaal 203 kinderen onderzocht, behorend tot 193 gezinnen (10 moeders hadden 2 deelnemende kinderen). Drie kinderen en twee moeders hadden geen lood-in-bloedwaarde meting, resulterend in een finale steekproef van 200 kinderen, waarvan 44 uit het studiegebied en 156 uit het controlegebied, en 191 moeders, waarvan 43 uit het studiegebied en 148 uit het controlegebied.

Van de 200 kinderen met loodmeting, hebben er 196 de vragenlijst ingevuld, waarvan 43 uit het studiegebied en 153 uit het controlegebied. Van de 191 moeders met loodmeting, hebben er 187 de vragenlijst ingevuld, waarvan 41 uit het studiegebied en 146 uit het controlegebied. In de digitale vragenlijst waren alle vragen verplicht, om op die manier missende antwoorden te voorkomen. Een deel van de vragenlijsten werd op papier ingevuld, wat gezorgd heeft voor missende antwoorden op bepaalde vragen. Ook wanneer de deelnemer het antwoord niet wist, werd dit (meestal) beschouwd als een missende waarde in de analyse.

4.3 BESCHRIJVING VAN DE POPULATIE

Een volledig overzicht van de kenmerken van de onderzoeksgroep is terug te vinden in Bijlage 3 (kinderen) en Bijlage 4 (moeders). In Tabel 4 en Tabel 5 worden de voornaamste kenmerken van respectievelijk de kinderen en de moeders weergegeven, telkens voor de totale groep en apart voor studie- en controlegebied. Merk op dat de variabelen die niet afkomstig zijn uit de vragenlijsten (bijv. leeftijd, geslacht, kind volgt onderwijs in Joodse school, maand van staalafname, ...) gegeven worden voor de totale groep kinderen en/of moeders met beschikbare loodmetingen (respectievelijk 200 en 191), terwijl variabelen uit de vragenlijst (bijv. nationaliteit, actief/passief roken, ...) beschikbaar zijn voor maximum 196 kinderen en 187 moeders.

De leeftijd van de kinderen en van de moeders waren vergelijkbaar tussen het studie- en controlegebied. De kinderen waren 6 tot 8 jaar, waarvan de meerderheid 7 jaar (47,5%). 30,9% van de moeders was jonger dan 38 jaar; 41,4% was tussen 38 en 43 jaar en 27,7% was 43 jaar of ouder. Er waren significant minder jongens in het studiegebied (34,1%) dan in het controlegebied (57,7%). Er was ook een (significant) ongelijke verdeling wat betreft maand van staalafname en opleiding van de moeder. In het studiegebied werd het merendeel gerekruteerd in mei (65,9% van de kinderen) en in het controlegebied in juni-september (66,7%). In het studiegebied waren er significant minder hoogopgeleide moeders (42,9%) dan in het controlegebied (57,7%).

Er was ook een significant verschil tussen het studiegebied en het controlegebied in het percentage kinderen dat onderwijs volgt in een Joodse school; de helft van de kinderen uit het studiegebied volgde onderwijs in een Joodse school, terwijl in het controlegebied dit slechts 10,3% was.

Tabel 4: Kenmerken van de deelnemende kinderen.

Variabele	Totaal N	Categorie	N (%)			p- waarde ^a
			Studiegebied	Controlegebied	Totaal	
Leeftijd kind (jaar)	200	6	8 (18,2)	43 (27,6)	51 (25,5)	0,336
		7	25 (56,8)	70 (44,9)	95 (47,5)	
		8	11 (25,0)	43 (27,6)	54 (27,0)	
Geslacht kind bij geboorte	200	meisje	29 (65,9)	66 (42,3)	95 (47,5)	0,006
		jongen	15 (34,1)	90 (57,7)	105 (52,5)	
Nationaliteit kind bij geboorte	196	Belgische	40 (93,0)	132 (86,3)	172 (87,8)	0,651
		EU (+ CH, NO, VK, IE)	2 (4,7)	14 (9,2)	16 (8,2)	
		niet-EU	1 (2,3)	7 (4,6)	8 (4,1)	
Kind volgt onderwijs in Joodse school	200	nee	22 (50,0)	140 (89,7)	162 (81,0)	<0,001
		ja	22 (50,0)	16 (10,3)	38 (19,0)	
Passief roken kind	195	zelden of nooit	40 (93,0)	146 (96,1)	186 (95,4)	0,416
		wekelijks of vaker	3 (7,0)	6 (3,9)	9 (4,6)	
Opleiding moeder (ISCED)	191	laag	9 (21,4)	9 (6,0)	18 (9,4)	0,013
		medium	15 (35,7)	54 (36,2)	69 (36,1)	
		hoog	18 (42,9)	86 (57,7)	104 (54,5)	
Maand van staalafname kind	200	mei	29 (65,9)	36 (23,1)	65 (32,5)	<0,001
		juni-september	6 (13,6)	104 (66,7)	110 (55,0)	
		oktober-december	9 (20,5)	16 (10,3)	25 (12,5)	

^ap-waarde voor het verschil tussen studie- en controlegebied op basis van een Fisher Exact test, weergegeven in het oranje indien <0.1 en in het rood indien <0.05

EU: Europese Unie; CH: Zwitserland; NO: Noorwegen, VK: Verenigd Koninkrijk; IE: Ierland; ISCED: International Standard Classification of Education

Tabel 5: Kenmerken van de deelnemende moeders.

Variabele	Totaal N	Categorie	N (%)			p-waarde ^a
			Studiegebied	Controlegebied	Totaal	
Leeftijd moeder (jaar)	191	<38	14 (32,6)	45 (30,4)	59 (30,9)	0,779
		[38-43[	19 (44,2)	60 (40,5)	79 (41,4)	
		>=43	10 (23,3)	43 (29,1)	53 (27,7)	
Nationaliteit moeder bij geboorte	186	Belgisch	29 (70,7)	105 (72,4)	134 (72,0)	0,806
		EU (+ CH, NO, VK, IE)	5 (12,2)	13 (9,0)	18 (9,7)	
		niet-EU	7 (17,1)	27 (18,6)	34 (18,3)	
Kind volgt onderwijs in Joodse school	188	nee	21 (50,0)	132 (90,4)	153 (81,4)	<0,001
		ja	21 (50,0)	14 (9,6)	35 (18,6)	
Moeder rookt tabak	187	nee (nooit of ooit een keer)	40 (97,6)	124 (84,9)	164 (87,7)	0,030
		ja (<1/maand tot dagelijks)	1 (2,4)	22 (15,1)	23 (12,3)	
Opleiding moeder (ISCED)	183	laag	9 (22,5)	9 (6,3)	18 (9,8)	0,012
		medium	14 (35,0)	51 (35,7)	65 (35,5)	
		hoog	17 (42,5)	83 (58,0)	100 (54,6)	
Maand van staalafname moeder	191	mei	27 (62,8)	33 (22,3)	60 (31,4)	<0,001
		juni-september	7 (16,3)	103 (69,6)	110 (57,6)	
		oktober-december	9 (20,9)	12 (8,1)	21 (11,0)	

^ap-waarde voor het verschil tussen studie- en controlegebied op basis van een Fisher Exact test, weergegeven in het oranje indien <0,1 en in het rood indien <0,05
 EU: Europese Unie; CH: Zwitserland; NO: Noorwegen, VK: Verenigd Koninkrijk; IE: Ierland; ISCED: International Standard Classification of Education

4.4 BLOOTSTELLING

4.4.1 Beschrijvende statistiek

Zoals beschreven in methodesectie 3.4 werden lood-in-bloedwaarden onder de DL en KL geïmputeerd. Bij de moeders lagen twee waarden onder de DL en 26 tussen de DL en de KL, bij de kinderen zeven tussen de DL en KL.

Lood-in-bloedwaarden van kinderen waren significant hoger dan die van de moeders (gepaarde t-test op logaritmisch getransformeerde waarden: $p < 0,001$). Het geometrisch gemiddelde (95% CI) was 20,6 µg/l (19,2; 22,1) bij de kinderen en 15,4 µg/l (14,2; 16,6) bij de moeders (Tabel 6 en Tabel 7). De Pearson correlatie tussen logaritmisch getransformeerde lood-in-bloedwaarden van kind en moeder was 0,54. Dit geeft aan dat er een sterk positief verband is tussen de waarde van de moeder en het kind. Tabel 6 en Tabel 7 geven ook een overzicht van de verdeling van lood-in-bloedgehalten per gebied, leeftijdsgroep, geslacht (voor de kinderen), rookstatus (voor de moeders), opleidingsniveau van de moeder en maand van staalafname. Merk op dat de optelsom van het aantal deelnemers bij stratificatie soms lager is dan het totaal aantal deelnemers omwille van het ontbreken van een ingevulde vragenlijst voor een aantal deelnemende kinderen en moeders, en bijkomend soms missende antwoorden voor bepaalde vragen uit de vragenlijst. Merk ook op dat het hier gaat om een ongecorrigeerde vergelijking van lood-in-bloedwaarden tussen groepen, zonder rekening te houden met andere factoren zoals bijv. maand van staalafname. Daarom verwijzen we naar sectie 4.4.2 voor de statistische vergelijking van lood-in-bloedwaarden tussen studie- en controlegebied waarbij mogelijke confounders in rekening genomen worden, en naar de determinantensectie (4.4.4) waarin de gecorrigeerde vergelijking tussen geslachten, leeftijdsgroepen, ... wordt beschreven.

Tabel 6: Beschrijvende gegevens van de lood-in-bloedwaarden (µg/l) bij kinderen.

Variabele	Categorie	N	GM (95% CI)	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95
Groep	totaal	200	20,6 (19,2; 22,1)	9,8	11,3	14,8	19,7	27,5	39,6	48,4
Gebied	studie	44	18 (15,8; 20,5)	/	10,3	12,7	19,1	24,2	29,4	/
	controle	156	21,4 (19,7; 23,3)	10,5	11,6	15,7	20,1	28,2	41,5	55,2
Leeftijd (jaar)	6	51	20,8 (18,2; 23,7)	/	12,5	16,4	19,5	26,3	39,5	/
	7	95	21,7 (19,5; 24,2)	9,4	10,6	16,4	21,4	29,2	40	47
	8	54	18,6 (16,1; 21,5)	/	11,7	14	17,5	24,2	36,5	/
Geslacht	meisje	95	19,8 (17,8; 22)	9,4	11,1	13,8	19,5	27,6	36,5	43,6
	jongen	105	21,3 (19,3; 23,6)	10,8	12,1	15,9	20	26,9	42,1	54,2
Opleiding moeder (ISCED)	laag	18	/	/	/	13,2	19,8	27	/	/
	medium	69	18,5 (16,6; 20,7)	9,3	11,3	13,7	18,1	23,7	33,9	36,7
	hoog	104	22,4 (20,2; 24,9)	10	12,1	16,4	21	29,6	42,8	58,3
Maand van staalafname	mei	65	19,1 (17,6; 20,8)	10,7	13,5	16	19,3	23,1	29,7	32
	juni-sep	110	24,6 (22,3; 27,1)	11,2	13,5	17,4	22,2	35,5	47,2	59,6
	okt-dec	25	/	/	/	10,2	11,9	12,6	/	/

N = aantal deelnemers; GM = geometrisch gemiddelde; 95% CI = 95% confidentie-interval; P = percentielen; / = niet getoond o.w.v. laag aantal deelnemers (data privacy); ISCED: International Standard Classification of Education

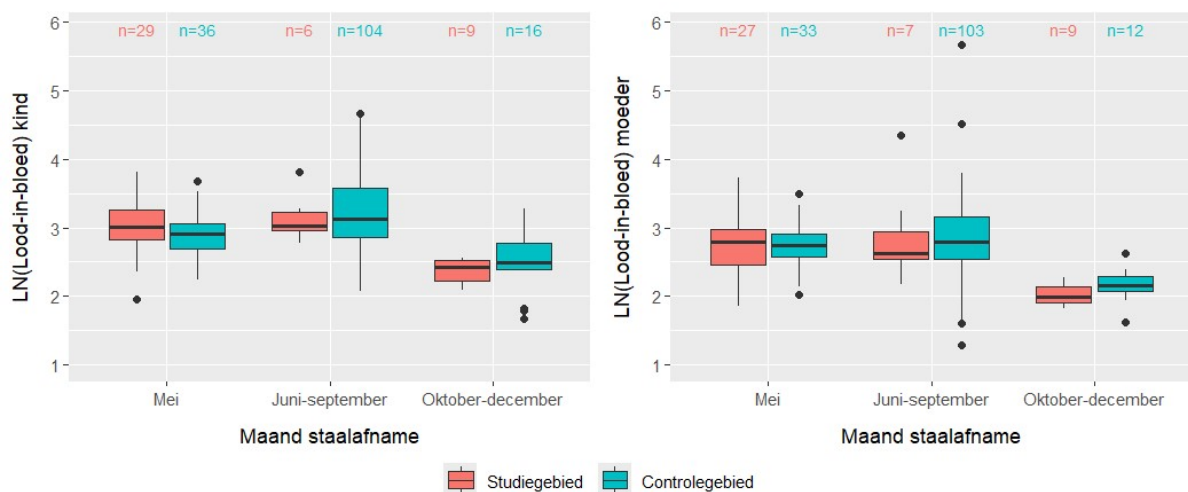
Tabel 7: Beschrijvende gegevens van de lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) bij moeders.

Variabele	Categorie	N	GM (95% CI)	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95
Groep	totaal	191	15,4 (14,2; 16,6)	6,7	8	11	15,1	20	28,5	32,7
Gebied	studie	43	13,7 (11,6; 16,1)	/	7	9,3	13,8	18,3	23,4	/
	controle	148	15,9 (14,5; 17,3)	7,2	8,7	11,5	15,5	21,6	28,9	32,8
Leeftijd (jaar)	<38	59	13,9 (12,2; 15,8)	/	7,9	9,8	14	17,6	23,4	/
	[38-43]	79	16,9 (14,8; 19,4)	6,7	8,8	12,4	15,9	23,4	29,4	38,2
	>43 jaar	53	14,8 (13; 16,9)	/	7,7	11	15	21	25,6	/
Moeder rookt	nee	164	14,6 (13,4; 15,8)	6,5	7,6	10,8	14,7	19,2	26,4	28,9
	ja	23	/	/	/	17,4	24	29,4	/	/
Opleiding moeder (ISCED)	Laag	18	/	/	/	7,8	10,7	16,4	/	/
	medium	65	13,5 (12; 15,2)	6,2	6,7	10	14	18,8	24,2	28,3
	Hoog	100	18,1 (16,2; 20,3)	9,1	10,6	13,1	17,1	24,9	31,2	40,7
Maand van staalafname	Mei	60	15,7 (14,3; 17,3)	8,5	10,2	12,9	16,2	18,9	24	28
	jun-sep	110	17,1 (15,3; 19,1)	7,1	9,3	12,6	15,9	23,5	29,6	37
	okt-dec	21	/	/	/	7	8	9,3	/	/

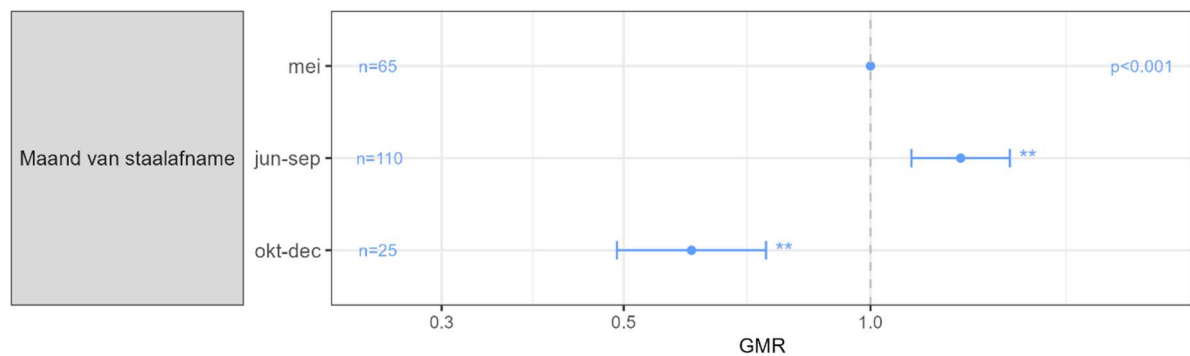
N = aantal deelnemers; GM = geometrisch gemiddelde; 95% CI = 95% confidentie-interval; P = percentielen; / = niet getoond o.w.v. laag aantal deelnemers (data privacy); ISCED: International Standard Classification of Education

Tabel 6 en Tabel 7 tonen dat de lood-in-bloedwaarden van zowel kinderen als moeders iets hoger waren in staalafnames van juni-september dan in staalafnames van mei, terwijl de concentraties aanzienlijk lager waren in staalafnames van oktober-december. Dit is visueel weergegeven in de box plots in Figuur 4, die eveneens tonen dat deze verschillen in lood-in-bloedwaarden tussen maand van staalafname consistent zijn tussen kinderen en moeders en tussen studie- en controlegebied. Het verband tussen lood-in-bloedwaarden en maand van staalafname bleek ook significant ($p < 0,001$) in een lineair regressiemodel voor kinderen (gecorrigeerd voor leeftijd en geslacht; Figuur 5) en voor moeders (gecorrigeerd voor leeftijd en roken; Figuur 6). In vergelijking met de maand mei, waren de lood-in-bloed concentraties in kinderen significant hoger in juni-september (+29%; 95%CI: +12%, +48%; $p < 0,01$) en significant lager in oktober-december (-39%; 95%CI: -51%, -25%; $p < 0,01$). Bij de moeders is het verschil tussen staalafnames in mei versus juni-september niet significant, maar zien we eveneens significant lagere lood-in-bloed concentraties in stalen genomen in de maanden oktober-december (-48%; 95%CI: -59%, -33%; $p < 0,01$). Dit verband tussen lood-in-bloedwaarden en maand van staalafname zou het gevolg kunnen zijn van verschillende factoren (of een combinatie van):

- 1) meteorologische factoren zoals hoeveelheid regen, windsnelheid, ...;
- 2) seizoensgebonden leefgewoonten, zoals de hoeveelheid tijd die buiten gespenseerd wordt, het eten van lokaal fruit/groenten, ...;
- 3) sluiting van Value Trading in september 2024.

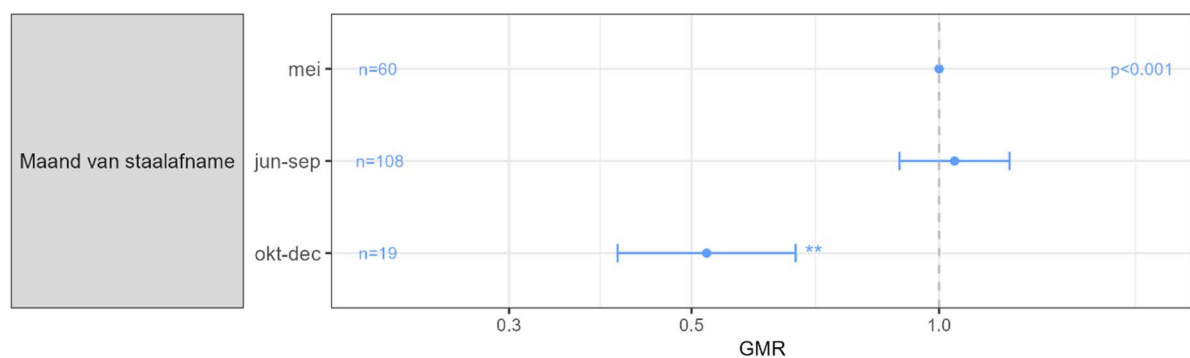


Figuur 4: Verdeling van de logaritmisches getransformeerde lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) volgens maand van staalafname voor kinderen (links) en moeders (rechts).



Figuur 5: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen volgens maand van staalafname, na correctie voor leeftijd en geslacht.

De overall p-waarde voor maand van staalafname is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.



Figuur 6: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij moeders volgens maand van staalafname, na correctie voor leeftijd en roken.

De overall p-waarde voor maand van staalafname is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.

Naast het significant verband tussen lood-in-bloedwaarden en maand van staalafname, was er ook een significant verschil in maand van staalafname tussen studie- en controlegebied (Tabel 4 en Tabel 5 in sectie 4.3), met in het studiegebied relatief meer deelnemers in de maanden met lagere concentraties (20,5% in oktober-december) dan in het controlegebied (10,3% in oktober-december). Hierdoor is het aannemelijk dat de lagere lood-in-bloedwaarden in het studiegebied versus controlegebied niet te wijten zijn aan echte verschillen tussen deze gebieden, maar eerder een reflectie zijn van de ongelijke verdeling van maand van staalafname tussen deze groepen. Daarom werd maand van staalafname meegenomen als potentiële confounder in de gebiedsvergelijking analyse (sectie 4.4.2) en in de analyse van afstand en oriëntatie t.o.v. Value Trading (sectie 4.4.3). Daarnaast werden er ook modellen getest waarbij onderzoeksdagen in oktober-december niet meegenomen werden (omdat deze maanden het sterkst verschilden wat betreft lood-in-bloedwaarden). Deze modellen werden niet gecorrigeerd voor maand van staalafname.

Ook een aantal determinanten vertoonden een significant verband met maand van staalafname. Voor meteorologische factoren is dit aannemelijk en voor sommige andere determinanten zou dit seizoensgebonden gedrag kunnen weerspiegelen (bijvoorbeeld voor de vragen “Hoe vaak is het kind in vrije tijd buiten in de natuur of op terreinen met braakliggende grond?” of “Welk schoeisel draagt uw gezin voornamelijk in de woning?”). Anderzijds zou dit ook een reflectie kunnen zijn van culturele of andere verschillen tussen de populaties gerekruteerd in de verschillende maanden. Afgaand op de variabele “kind volgt onderwijs in Joodse school” bijvoorbeeld, werden er in oktober-december relatief meer Joodse deelnemers gerekruteerd (68,0%) dan in mei (26,2%) en in juni-september (3,6%). Daarnaast zien we ook een significant verschil in opleiding van de moeder tussen staalafname periodes (60,7% met hoge opleiding in mei, 23,8% in juni-september, en 54,5% in oktober-december). Daarom werd er ook in de determinanten analyses (sectie 4.4.4) gebruik gemaakt van modellen die corrigeren voor maand van staalafname enerzijds, en modellen waarbij onderzoeksdagen in oktober-december uitgesloten werden anderzijds. Beide modellen resulteerden in gelijkaardige resultaten, hoewel de statistische power verlaagd was in de modellen met exclusie van oktober-december. Het model met correctie voor maand van staalafname werd als hoofdmodel gekozen.

4.4.2 Vergelijking van lood-in-bloedwaarden tussen studie- en controlegebied

Verschillen in lood-in-bloedconcentraties geschat aan de hand van de regressiemodellen worden uitgedrukt als **geometric mean ratios of GMRs**. De GMR geeft het verschil in lood-in-bloedconcentratie aan ten opzichte van de referentiecategorie bij een categorische variabele of het verschil in lood-in-bloedconcentratie voor een eenheid stijging in een continue variabele.

Stel dat we het verschil onderzoeken tussen het studiegebied en het controlegebied, en we nemen het controlegebied als referentie. Als de GMR van het studiegebied gelijk is aan 1,00 betekent dit dat er geen verschil is tussen de gebieden; de waarde in beide gebieden is gelijk. Een GMR van 1,10 betekent dat de waarde in het studiegebied 10% hoger is dan die van het controlegebied. Een GMR van 0,90 betekent dat de waarde in het studiegebied 10% lager is dan die van het controlegebied.

Zonder correctie voor steekproefkenmerken was de gemiddelde lood-in-bloedwaarde bij kinderen die wonen in het studiegebied 16% lager dan bij kinderen die wonen in het controlegebied; dit verschil was statistisch significant ($p=0,044$) (Tabel 8). Na correctie voor leeftijd, geslacht en opleiding van de moeder was er een niet significant verschil van -11% ($p=0,204$). Na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname was er geen verschil tussen de twee gebieden (+1%, $p=0,936$). In een

sensitiviteitsanalyse waarbij 5 kinderen werden uitgesloten die slechts de helft van de tijd of minder op het adres wonen dat gebruikt werd voor de indeling studiegebied versus controlegebied (alle 5 uit het controlegebied), werden zeer gelijkaardige resultaten geobserveerd (niet getoond). In een andere sensitiviteitsanalyse werden de kinderen ingedeeld op basis van de locatie van hun school in plaats van de locatie van hun woonadres: 61,4% van de kinderen die in het studiegebied woonden gingen naar school in het controlegebied en 15,4% van de kinderen die in het controlegebied woonden gingen naar school in het studiegebied. Ook in deze analyse was er geen significant verschil in lood-in-bloedwaarden na correctie voor maand van staalafname (Tabel 9)).

Tabel 8: Vergelijking van lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) tussen kinderen die wonen in het studiegebied en kinderen die wonen in het controlegebied.

Correctie	GM (95% CI) studiegebied	GM (95% CI) controlegebied	N	GMR (95% CI)	p-waarde
/	18,0 (15,5; 20,9)	21,4 (19,8; 23,2)	200	0,84 (0,71; 1,00)	0,044
Leeftijd, geslacht			200	0,84 (0,71; 1,00)	0,053
Leeftijd, geslacht, opleiding moeder			191	0,89 (0,75; 1,06)	0,204
Leeftijd, geslacht, maand staalafname			200	1,01 (0,85; 1,20)	0,936
Leeftijd, geslacht, exclusie okt-dec			175	0,90 (0,75; 1,08)	0,260

GM: geometrisch gemiddelde; 95% CI: 95% confidentie-interval; GMR: geometric mean ratio, geschat met een lineair regressiemodel (gecorrigeerd voor de variabelen in de eerste kolom) als de verhouding van de geometrische gemiddelden van het studiegebied ten opzichte van het controlegebied. De p-waarde wordt weergegeven in het oranje indien $<0,1$ en in het rood indien $<0,05$.

Tabel 9: Vergelijking van lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) tussen kinderen die naar school gaan in het studiegebied en kinderen die naar school gaan in het controlegebied.

Correctie	GM (95% CI) school in studiegebied	GM (95% CI) school in controlegebied	N	GMR (95% CI)	p-waarde
/	15,7 (13,5; 18,2)	22,1 (20,5; 23,9)	200	0,71 (0,60; 0,84)	<0,001
Leeftijd, geslacht			200	0,72 (0,61; 0,86)	<0,001
Leeftijd, geslacht, opleiding moeder			191	0,70 (0,58; 0,86)	0,001
Leeftijd, geslacht, maand staalafname			200	1,02 (0,84; 1,23)	0,849
Leeftijd, geslacht, exclusie okt-dec			175	0,97 (0,78; 1,20)	0,760

GM: geometrisch gemiddelde; 95% CI: 95% confidentie-interval; GMR: geometric mean ratio, geschat met een lineair regressiemodel (gecorrigeerd voor de variabelen in de eerste kolom) als de verhouding van de geometrische gemiddelden van het studiegebied ten opzichte van het controlegebied. De p-waarde wordt weergegeven in het oranje indien $<0,1$ en in het rood indien $<0,05$.

Voor moeders werd dezelfde trend geobserveerd als voor kinderen, namelijk een lager geometrisch gemiddelde voor lood-in-bloedwaarden in het studiegebied dan in het controlegebied (Tabel 10).

Zonder correctie was de gemiddelde lood-in-bloedwaarde 29% lager in het studiegebied dan in het controlegebied, maar dit verschil was niet significant. Na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname was de gemiddelde lood-in-bloedwaarde in beide gebieden zeer vergelijkbaar, nl. 2% hoger in het studiegebied en niet significant verschillend.

Tabel 10: Vergelijking van lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) tussen moeders die wonen in het studiegebied en moeders die wonen in het controlegebied.

Correctie	GM (95% CI) studiegebied	GM (95% CI) controlegebied	N	GMR (95% CI)	p-waarde
/	13,7 (11,6; 16,0)	15,9 (14,6; 17,3)	191	0,86 (0,72; 1,03)	0,106
Leeftijd, roken			187	0,91 (0,76; 1,09)	0,294
Leeftijd, roken, opleiding moeder			183	0,99 (0,82; 1,19)	0,908
Leeftijd, roken, maand staalafname			187	1,00 (0,82; 1,20)	0,961
Leeftijd, roken, exclusie okt-dec			168	0,99 (0,82; 1,21)	0,957

GM: geometrisch gemiddelde; 95% CI: 95% confidentie-interval; GMR: geometric mean ratio, geschat met een lineair regressiemodel (gecorrigeerd voor de variabelen in de eerste kolom) als de verhouding van de geometrische gemiddelden van het studiegebied ten opzichte van het controlegebied. De p-waarde wordt weergegeven in het oranje indien $<0,1$ en in het rood indien $<0,05$.

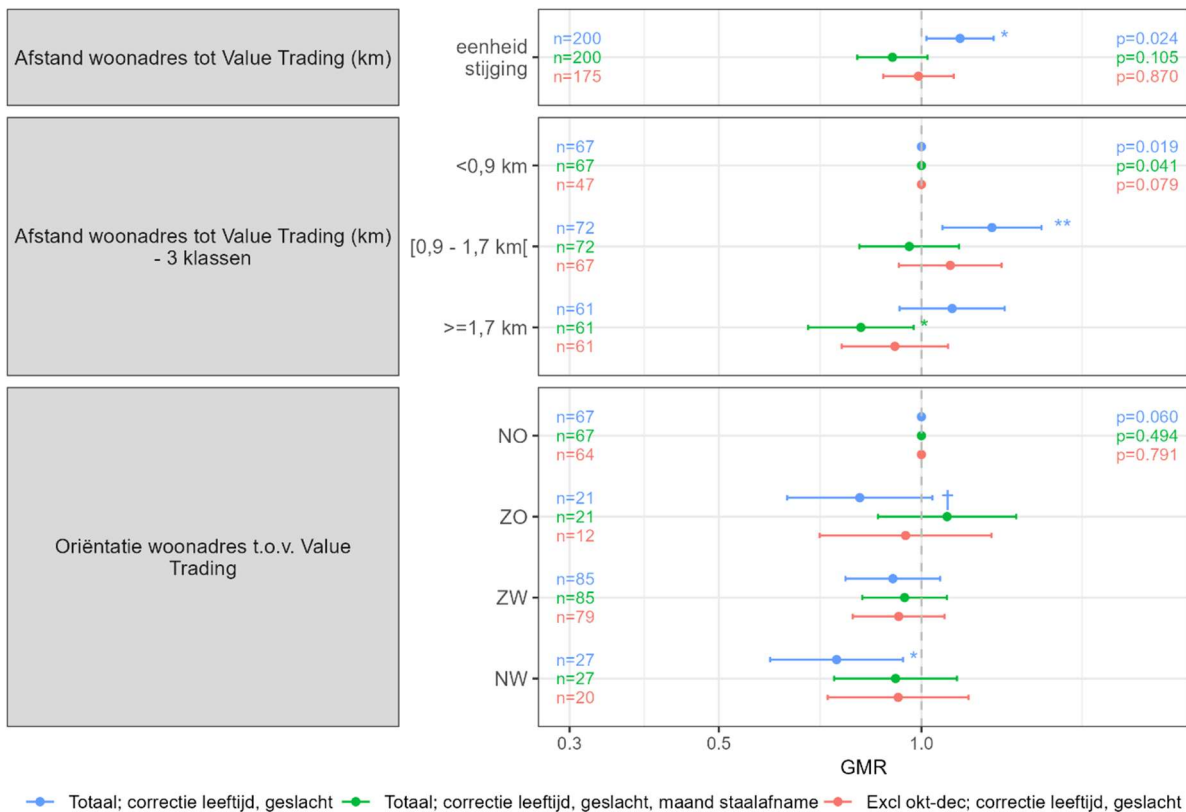
4.4.3 Analyse afstand en oriëntatie van woonadres t.o.v. Value Trading

De afstand en oriëntatie van het woonadres van de deelnemer t.o.v. Value Trading werden bekeken als geografische determinanten in verschillende regressiemodellen. Bij de beschrijving van de resultaten in deze en volgende secties ligt de focus op het regressiemodel met correctie voor maand van staalafname (groen), aangezien dit als hoofdmodel werd beschouwd.

Het hoofdmodel toonde aan dat hoe groter de **afstand van het woonadres tot Value Trading**, hoe lager de concentratie lood-in-bloed bij kinderen; deze trend was niet significant ($p=0,105$; Figuur 7). Deelnemers werden ook ingedeeld in groepen volgens afstand tussen hun woonadres en Value Trading, nl. afstand van minder dan 0,9 km; tussen 0,9 en 1,7 km; meer dan 1,7 km. Kinderen die het verst wonen ($>1,7$ km van Value Trading) hadden significant lagere gemiddelde lood-in-bloedwaarden in vergelijking met kinderen die het dichtst wonen ($<0,9$ km) (-19%; 95%CI: -32%, -3%; $p<0,05$; Figuur 7).

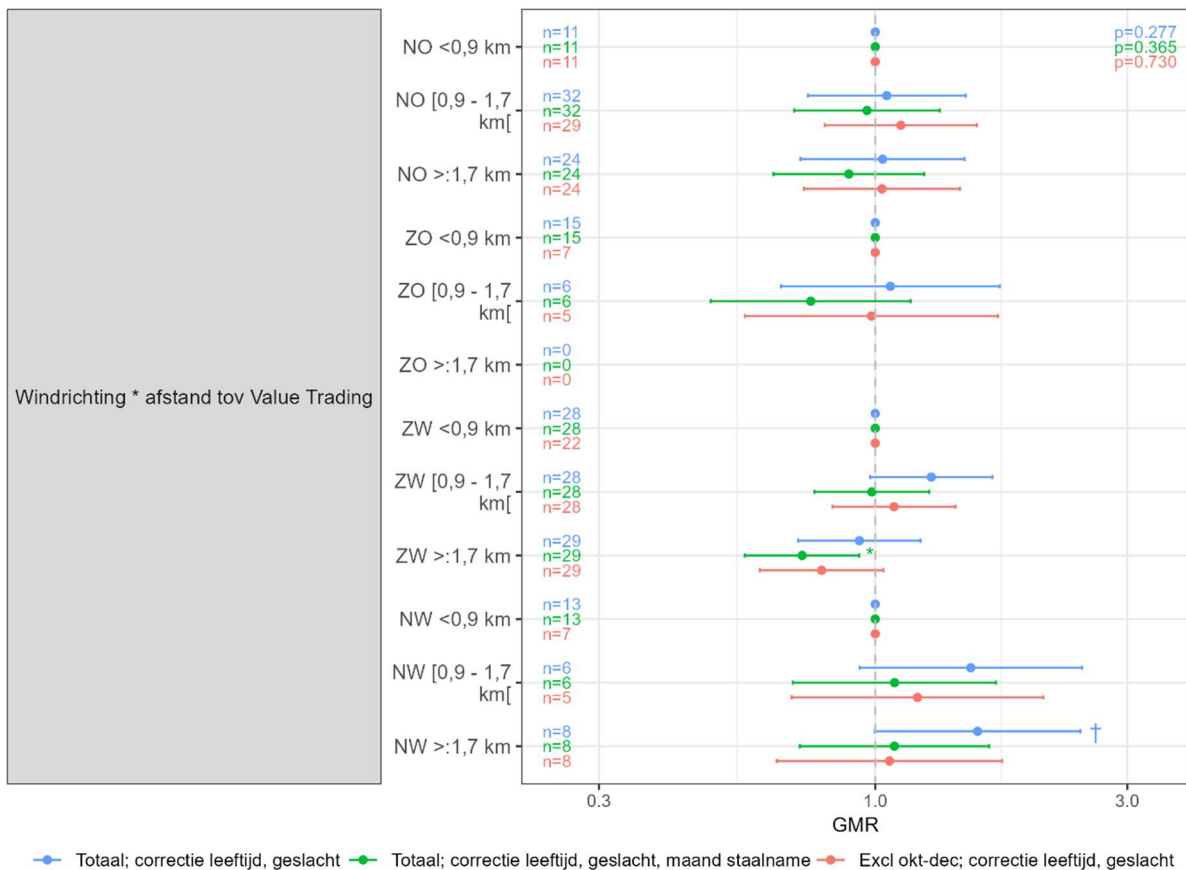
Lood-in-bloedwaarden van kinderen toonden in het hoofdmodel geen verband met de **oriëntatie (windrichting) van het woonadres t.o.v. Value Trading** ($p=0,494$; Figuur 7).

De analyse van de **interactieterm** tussen afstand en oriëntatie (windrichting) suggereerde dat het effect van afstand tot Value Trading onafhankelijk was van windrichting (p-waarde van de interactieterm was in geen van de modellen significant) (Figuur 8). Het hoofdmodel toonde enkel een significant verband tussen loodconcentraties en afstand voor kinderen die ten zuidwesten van Value Trading wonen, nl. lagere loodconcentraties voor kinderen die op meer dan 1,7 km van Value Trading wonen dan voor kinderen die op $<0,9$ km wonen (-27%; 95%CI: -43%, -7%; $p<0,05$).



Figuur 7: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen volgens afstand en oriëntatie (windrichting) van woonadres t.o.v. Value Trading.

De overall p-waarde van de determinant is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: $t < 0,1$; * $< 0,05$; ** $< 0,01$.



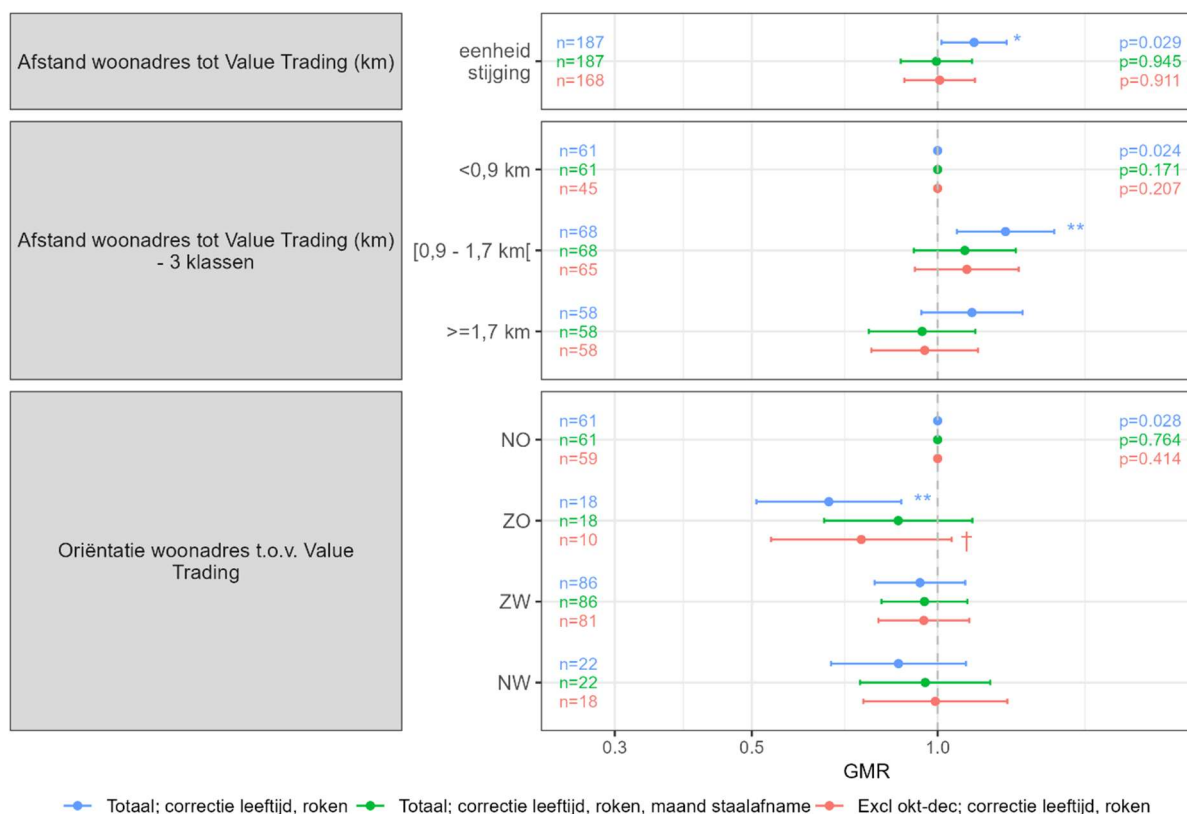
Figuur 8: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen volgens de interactie tussen afstand en oriëntatie (windrichting) van woonadres t.o.v. Value Trading.

De overall p-waarde van de interactieterm is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.

Bij de moeders toonde het hoofdmodel geen verband tussen lood-in-bloedwaarden en **afstand van het woonadres tot Value Trading** ($p=0,945$ (continue variabele); $p=0,171$ (categorische variabele); Figuur 9).

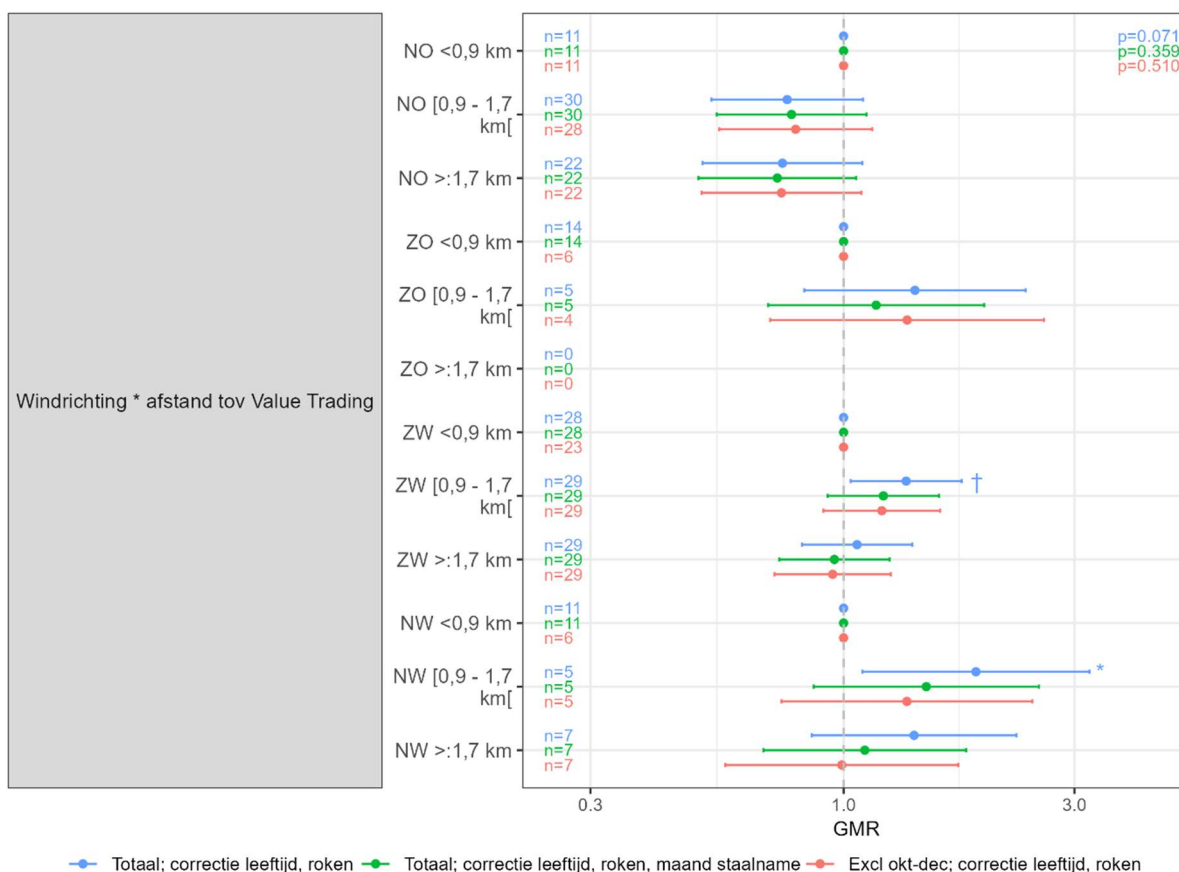
Zoals bij de kinderen, toonden de lood-in-bloedwaarden van moeders in het hoofdmodel geen verband met de **oriëntatie (windrichting) van het woonadres t.o.v. Value Trading** ($p=0,764$; Figuur 9).

Ook de **interactieterm** tussen afstand en oriëntatie (windrichting) was niet significant en voor geen enkele windrichting waren de schattingen voor afstand tot Value Trading significant (Figuur 10).



Figuur 9: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij moeders volgens afstand en oriëntatie (windrichting) van woonadres t.o.v. Value Trading.

De overall p-waarde van de determinant is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.



Figuur 10: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij moeders volgens de interactie tussen afstand en oriëntatie (windrichting) van woonadres t.o.v. Value Trading.

De overall p -waarde van de interactieterm is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p -waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.

4.4.4 Determinanten voor lood-in-bloed

Dit onderdeel heeft als doel mogelijke determinanten of factoren te identificeren die kunnen bijdragen aan de lokale blootstelling.

Deze sectie toont enkel de figuren van de resultaten van de modellen met correctie voor maand van staalafname (hoofdmodel), en dit enkel voor de significante determinanten (overall p -waarde <0,1). Bijlage 5 (kinderen) en Bijlage 6 (moeders) bevatten de figuren van alle resultaten van de determinantenanalyse, inclusief de niet-significante determinanten en de andere twee geteste modellen.

4.4.4.1 Geografische factoren

Naast de afstand en oriëntatie (windrichting) tot Value Trading (zie sectie 4.4.3) werd ook de **afstand tot de dichtstbijzijnde spoorlijn** vanaf het woonadres van de deelnemer getest als geografische determinant.

Zowel bij kinderen (Bijlage 5) als bij moeders (Bijlage 6) was er een positieve trend te zien: hoe verder weg van de spoorlijn, hoe hoger de lood-in-bloedwaarde. Deze observatie was echter niet significant in het hoofdmodel ($p>0,1$).

4.4.4.2 Meteorologische factoren

De gemiddelde hoeveelheid **neerslag**, gemiddelde **windsnelheid** en gemiddelde **temperatuur** in de 30 dagen en 90 dagen vóór de staalafnamedag werden bekeken als meteorologische determinanten van blootstelling aan lood.

Zowel bij kinderen (Bijlage 5) als moeders (Bijlage 6) werden er voor de meteorologische variabelen geen significante resultaten waargenomen in het hoofdmodel. Voor kinderen zagen we wel een trend van hogere lood-in-bloedwaarden in associatie met hogere windsnelheid in de 30 dagen voor staalafname ($p=0,128$ in hoofdmodel, $p<0,01$ in de twee andere modellen).

4.4.4.3 Algemene persoonskenmerken en socio-economische factoren

Algemene persoonskenmerken van het kind zoals de leeftijd bij staalafname (6-8 jaar), geslacht bij de geboorte en socio-economische factoren werden bestudeerd als mogelijke determinanten voor lood-in-bloed bij kinderen (Figuur 11 en Bijlage 5). Ook voor moeders werden algemene persoonskenmerken zoals leeftijd en socio-economische factoren bestudeerd als mogelijke determinanten voor de lood-in-bloedwaarden (Figuur 11 en Bijlage 6).

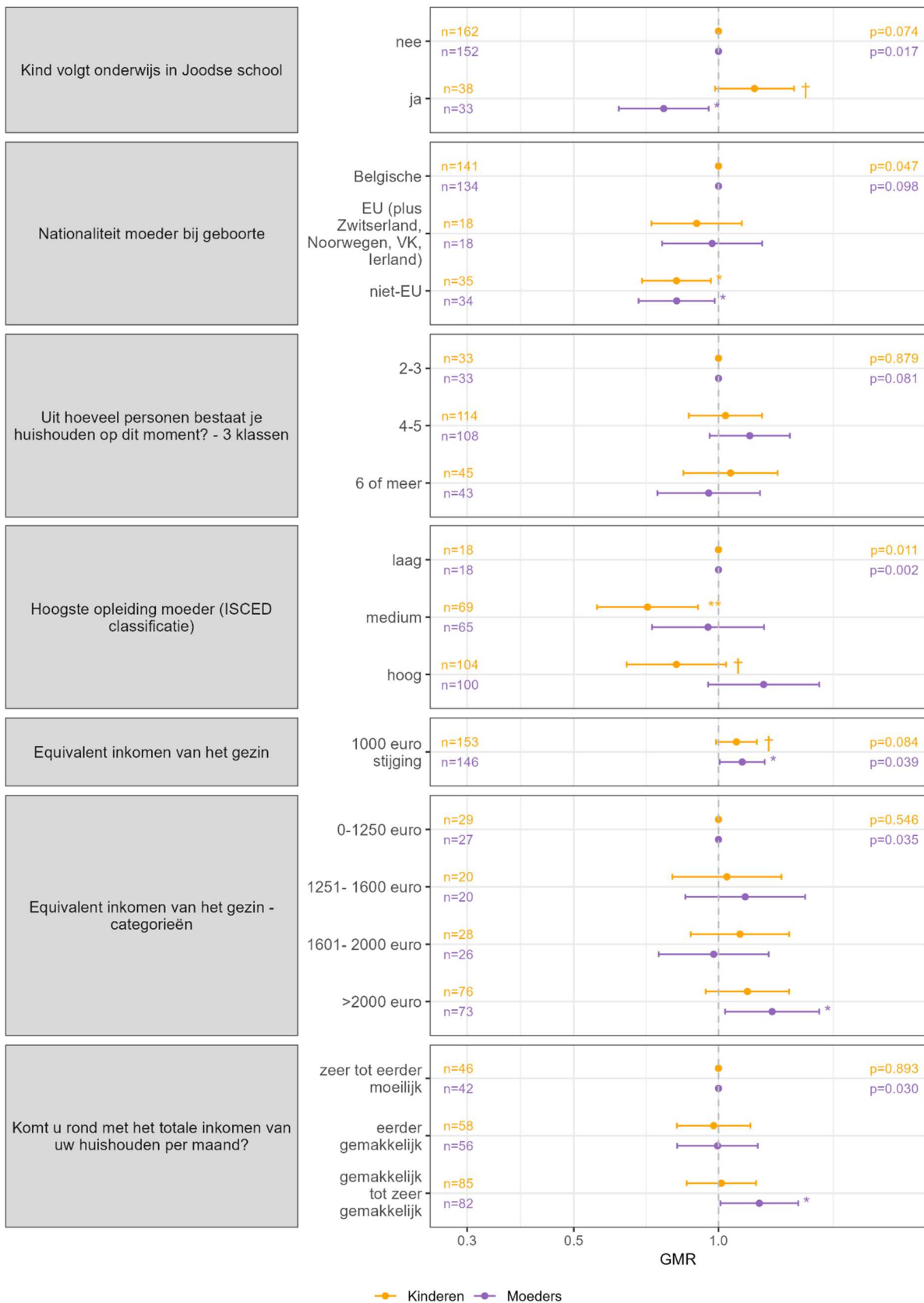
De gemiddelde lood-in-bloedwaarde bij kinderen die **onderwijs volgen in een Joodse school** was 19% hoger dan bij kinderen die onderwijs volgen in een andere school ($p<0,1$). Het lood-in-bloedgehalte van moeders waarvan het kind onderwijs volgt in een Joodse school daarentegen was gemiddeld 23% lager in vergelijking met dat van moeders waarvan het kind onderwijs volgt in een andere school ($p<0,05$).

Het lood-in-bloedgehalte bij kinderen waarvan de **moeder** een niet-Europese **geboortenationaliteit** heeft, was gemiddeld 18% lager in vergelijking met het gehalte bij kinderen waarvan de moeder een Belgische geboortenationaliteit heeft ($p<0,05$). Consistent hiermee hadden moeders met een niet-Europese geboortenationaliteit gemiddeld een 18% lager lood-in-bloedgehalte in vergelijking met moeders met een Belgische geboortenationaliteit ($p<0,05$).

Er was een indicatie voor een verband tussen loodconcentraties bij moeders en het **aantal gezinsleden** ($p=0,081$), namelijk een trend van hogere loodconcentraties bij moeders met 4-5 personen in het huishouden in vergelijking met 2-3 personen in het huishouden. De categorie-specifieke schattingen waren echter niet significant.

Kinderen waarvan de **moeder** gemiddeld tot hoog **opgeleid** is, hadden lagere loodconcentraties in vergelijking met kinderen waarvan de moeder laag opgeleid is (respectievelijk -29%, $p<0,01$ en -19%, $p<0,1$). Voor de moeders was het verband met opleiding ($p=0,002$) in de omgekeerde richting, namelijk hogere loodconcentraties bij een hoge opleiding in vergelijking met een lage opleiding. De categorie-specifieke schattingen waren echter niet significant.

Lood-in-bloedwaarden bij kinderen waren hoger bij een hoger **equivalent inkomen** van het gezin, namelijk een kleine 10% hoger voor een 1000 euro hoger inkomen ($p=0,084$). Consistent hiermee was er gemiddeld een 12% hogere lood-in-bloedwaarde bij moeders met een 1000 euro hoger equivalent inkomen van het gezin ($p=0,039$). Bij de categorische indeling van het equivalent inkomen van het gezin, toonde de hoogste categorie (>2000 euro/maand) gemiddeld 29% hogere lood-in-bloedwaarden bij moeders in vergelijking met de laagste categorie (0 – 1250 euro/maand) ($p<0,05$). Bij kinderen was dit verband niet significant. Moeders die aangaven dat ze gemakkelijk tot zeer gemakkelijk **rondkomen** met het totale inkomen van het gezin per maand, hadden gemiddeld 22% hogere lood-in-bloedwaarden in vergelijking met moeders die aangaven dat ze zeer tot eerder moeilijk rondkomen ($p<0,05$). Dit verband was niet waar te nemen bij de kinderen.



Figuur 11: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens algemene kenmerken en socio-economische factoren, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders. De overall p-waarde van de determinant is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.

4.4.4.4 Leef- en eet-/drinkgewoonten

Er werden verschillende leef- en eet-/drinkgewoonten bestudeerd als mogelijke determinanten van lood-in-bloed bij kinderen en moeders (Figuur 12, Bijlage 5 en Bijlage 6).

Kinderen die hun **kleding** 1x per dag of meer **verversen** hadden gemiddeld 16% lagere lood-in-bloedgehalten dan kinderen die minder dan 1x per dag hun kleding versen ($p<0,01$). Voor moeders was deze informatie niet beschikbaar.

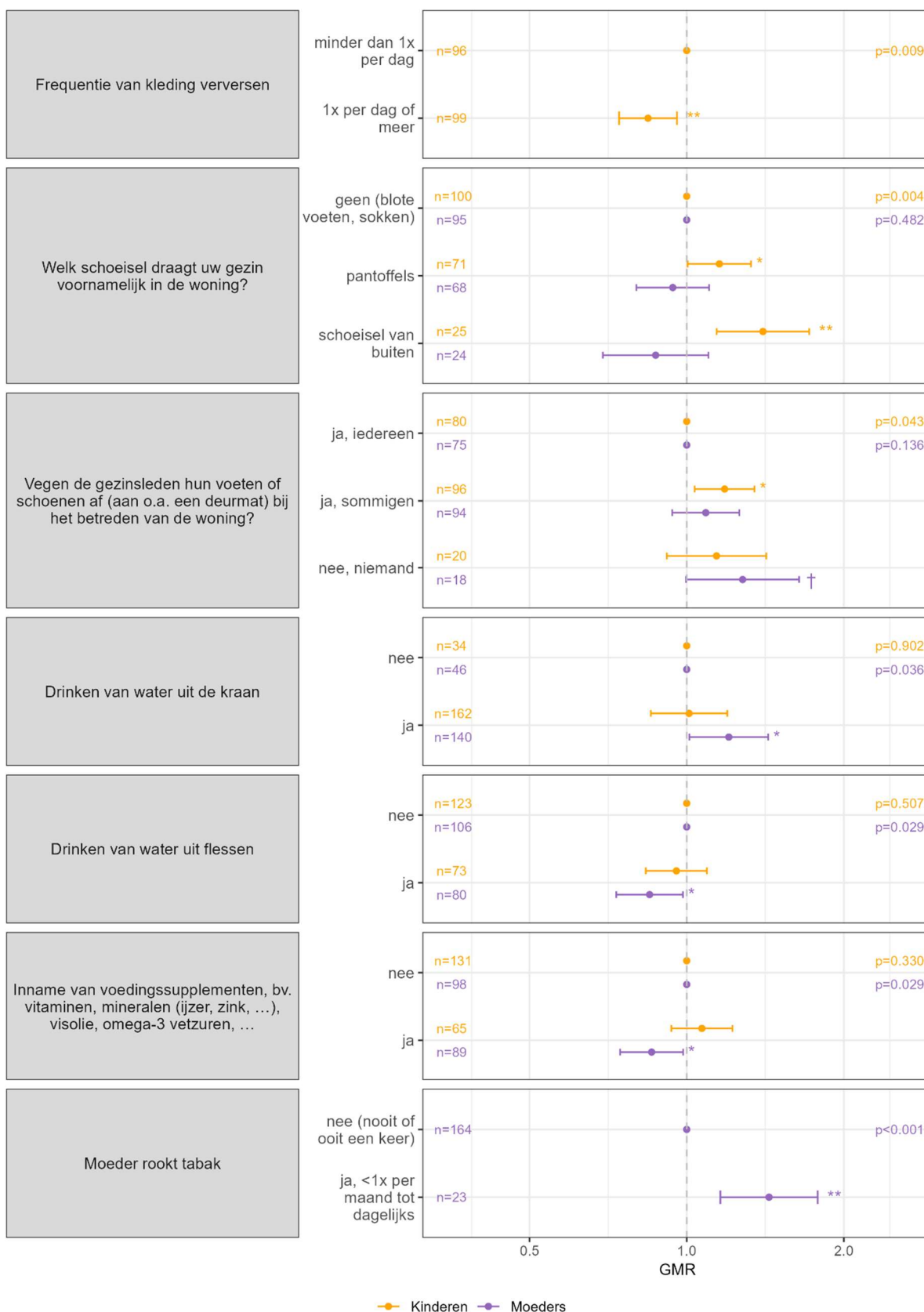
Vergeleken met kinderen waarvan de gezinsleden voornamelijk geen **schoeisel** dragen in de woning, hadden kinderen waarvan de gezinsleden voornamelijk pantoffels of schoeisel van buiten dragen in de woning respectievelijk 16% ($p<0,05$) en 40% ($p<0,01$) hogere lood-in-bloedgehalten. Bij de moeders werd dit verband niet waargenomen.

Vergeleken met kinderen waarvan alle gezinsleden hun **voeten/schoenen afvegen** bij het betreden van de woning, hadden kinderen waarvan slechts sommige gezinsleden dit doen hogere loodconcentraties (+18%, $p<0,05$). Bij de moeders werd ook een indicatie voor een verband waargenomen, namelijk hogere lood-in-bloed-waarden bij moeders waarvan niemand van de gezinsleden hun voeten/schoenen afveegt bij het betreden van de woning in vergelijking met moeders waarvan alle gezinsleden hun voeten/schoenen afvegen, hoewel de overall p -waarde niet significant was ($p=0,136$).

Moeders die **water drinken uit de kraan** hadden gemiddeld 20% hogere loodconcentraties in vergelijking met moeders die geen kraantjeswater drinken ($p<0,05$), terwijl moeders die water uit flessen drinken gemiddeld 15% lagere lood-in-bloedgehalten hadden in vergelijking met moeders die geen water uit flessen drinken ($p<0,05$). Bij de kinderen werd dit verband niet waargenomen. Het drinken van water uit een grondwaterput werd niet geanalyseerd wegens <10 deelnemers in deze categorie.

Moeders die **voedingssupplementen** (bv. vitaminen, mineralen, visolie, ...) nemen hadden gemiddeld 14% lagere lood-in-bloedwaarden dan moeders die geen voedingssupplementen nemen ($p<0,05$). Bij de kinderen werd dit verband niet waargenomen.

Moeders die **roken** hadden gemiddeld 44% hogere loodconcentraties in vergelijking met moeders die niet roken ($p<0,01$). Voor kinderen werd enkel passief roken bevraagd, maar dit werd niet geanalyseerd wegens <10 deelnemers die wekelijks of vaker werden blootgesteld aan passief roken.



Figuur 12: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens bepaalde leef- en eet-/drinkgewoonten, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.

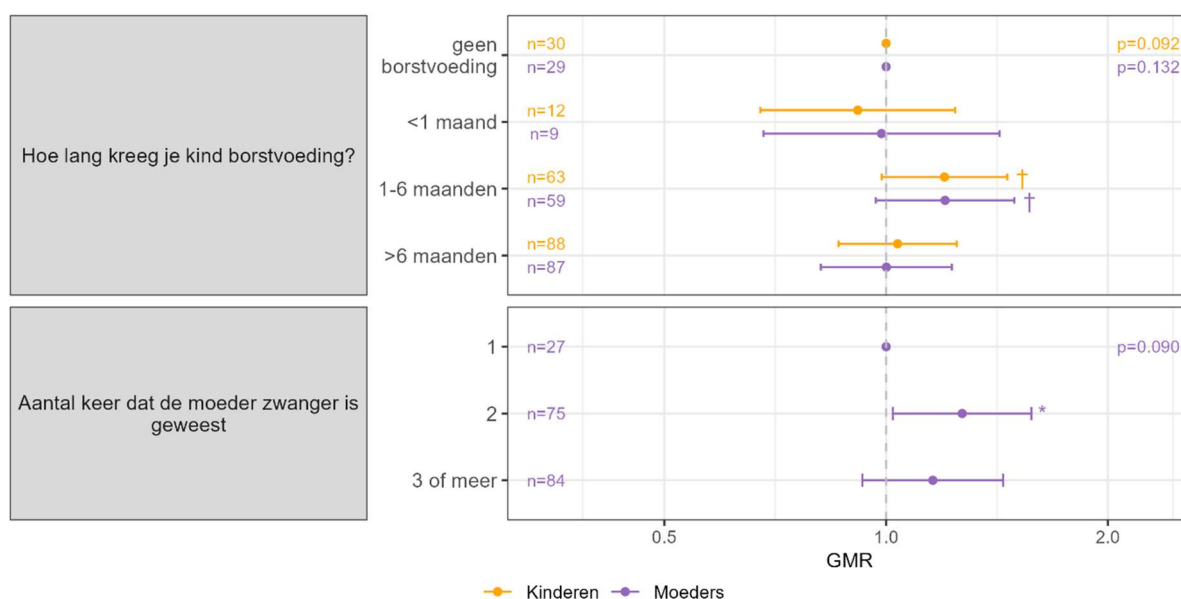
De overall *p*-waarde van de determinant is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke *p*-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.

4.4.4.5 Borstvoeding en pariteit

Hoelang het kind borstvoeding gekregen heeft en hoeveel zwangerschappen (tot minstens 22 weken; pariteit) de moeder gehad heeft werden beken als mogelijke determinanten van lood-in-bloed bij kinderen en moeders (Figuur 13, Bijlage 5 en Bijlage 6).

Bij de kinderen was er een verband te zien van hogere loodconcentraties wanneer ze 1-6 maanden **borstvoeding** kregen in vergelijking met kinderen die geen borstvoeding kregen ($p<0,1$). Bij de moeders werd ook een indicatie voor een verband waargenomen, namelijk hogere lood-in-bloedwaarden bij moeders die 1-6 maanden borstvoeding gaven in vergelijking met moeders die geen borstvoeding gaven ($p<0,1$), hoewel de overall *p*-waarde niet significant was ($p=0,132$).

Moeders die 2 keer **zwanger geweest** zijn hadden hogere lood-in-bloedgehalten in vergelijking met moeders die 1 keer zwanger geweest zijn (+27%, $p<0,05$). Ook bij moeders die 3 of meer keer zwanger zijn geweest was eenzelfde trend waar te nemen (+16%, $p=0,2$).



Figuur 13: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen volgens de duur van borstvoeding, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname, en de GMRs voor lood-in-bloed bij moeders volgens de duur van borstvoeding en het aantal zwangerschappen (tot minstens 22 weken; pariteit), na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname.

De overall *p*-waarde van de determinant is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke *p*-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.

4.4.4.6 Binnen- en buitenhuisfactoren

Binnen- en buitenhuisfactoren, zoals verluchting van de woning, poetsgedrag en verbouwingen, werden ook bestudeerd als mogelijke determinanten van lood-in-bloed bij kinderen (Figuur 14, Figuur 15, Figuur 16, Figuur 17 en Bijlage 5) en hun moeders (Figuur 14, Figuur 15, Figuur 16, Figuur 17 en Bijlage 6).

De loodconcentraties bij kinderen waren gemiddeld 24% lager wanneer de **woning gebouwd** is tussen 1960 en 1980 in vergelijking met wanneer de woning gebouwd is vóór 1960 ($p < 0,01$). Consistent hiermee waren de loodconcentraties bij moeders gemiddeld 25% lager voor woningen gebouwd tussen 1960 en 1980 dan voor woningen gebouwd vóór 1960 ($p < 0,05$) (Figuur 14).

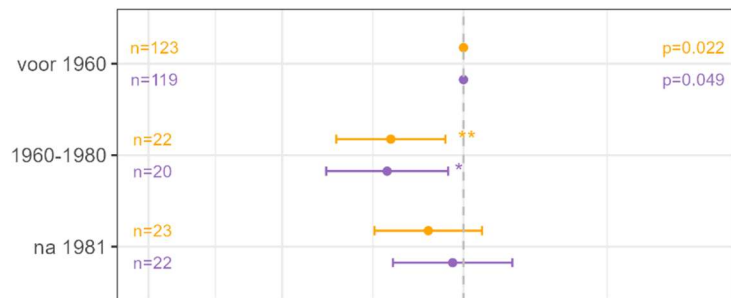
Moeders met een **los tapijt** in de woonkamer en/of keuken hadden gemiddeld 23% hogere lood-in-bloedgehalten ($p < 0,05$) dan moeders zonder los tapijt in de woonkamer en/of keuken. Bij de kinderen werd dit verband niet waargenomen. Ook het hebben van een vast tapijt in één van de kamers van de woning toonde geen significante associatie met lood-in-bloed van kinderen of moeders.

Zowel bij kinderen als bij moeders werden er significant hogere loodconcentraties waargenomen bij het hebben van **planken als vloerbedekking** in één of meer kamers van de woning (woonkamer, keuken, slaapkamer kind, slaapkamer moeder). Voor **andere vloerbedekking** in de slaapkamer van de moeder (bv. laminaat, vinyl, ...) werden gemiddeld 18% lagere loodconcentraties bij moeders gevonden ($p < 0,01$), wat bij kinderen niet als significant waargenomen werd.

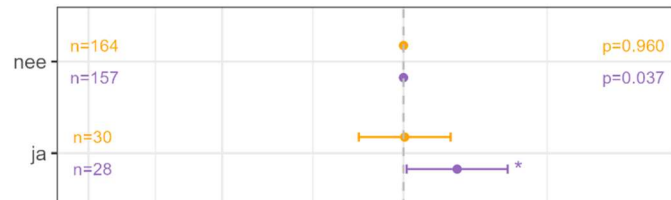
Kinderen hadden gemiddeld 15% lagere lood-in-bloedwaarden wanneer de **luchtverversing** in de woning **mechanisch** gebeurt ($p < 0,1$). Bij moeders werd dit verband niet gevonden. Manuele luchtverversing door het frequent openen van ramen en/of deuren, of luchtverversing via roosters, toonden geen significant verband met lood-in-bloed bij kinderen en moeders.

Lood-in-bloedgehalten van kinderen en moeders met **koperen waterleidingen** in de woning waren respectievelijk gemiddeld 20% en 21% hoger dan die van kinderen en moeders die niet aangaven koperen waterleidingen te hebben ($p < 0,05$). Andere antwoordmogelijkheden voor het materiaal van de waterleidingen waren “kunststof (bv. PVC)”, “lood”, “andere namelijk...”, en “ik weet het niet”. Waterleidingen uit kunststof of “andere” (aluminium, Alpex...) toonden geen verband met lood-in-bloed bij kinderen en moeders. De optie “lood” werd slechts drie keer aangeduid, en werd daardoor niet geanalyseerd. Merk op dat de referentiecategorie in de waterleiding analyses telkens “nee of onbekend” is en o.a. 96 moeders omvat die aangaven niet te weten uit welk materiaal de waterleidingen in de woning bestaan.

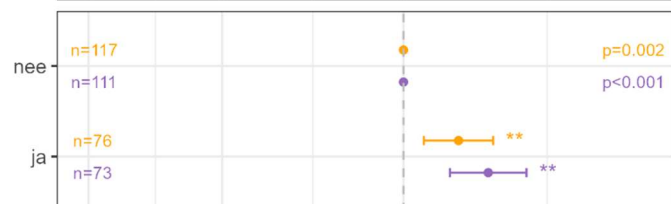
Bouwjaar woning



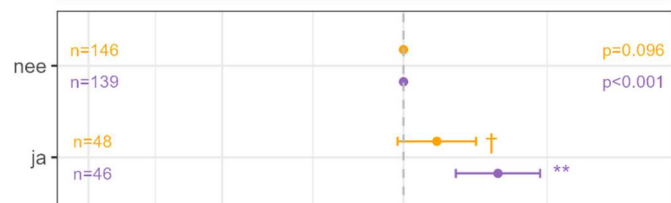
Vloerbedekking los tapijt woonkamer / keuken



Vloerbedekking planken woonkamer / keuken / slaapkamer moeder / slaapkamer kind



Vloerbedekking planken woonkamer / keuken



Vloerbedekkng planken slaapkamer



Vloerbedekkng andere (bv. laminaat, vinyl, ...) slaapkamer



Luchtverversing woning - mechanisch



Materiaal waterleidingen - koper

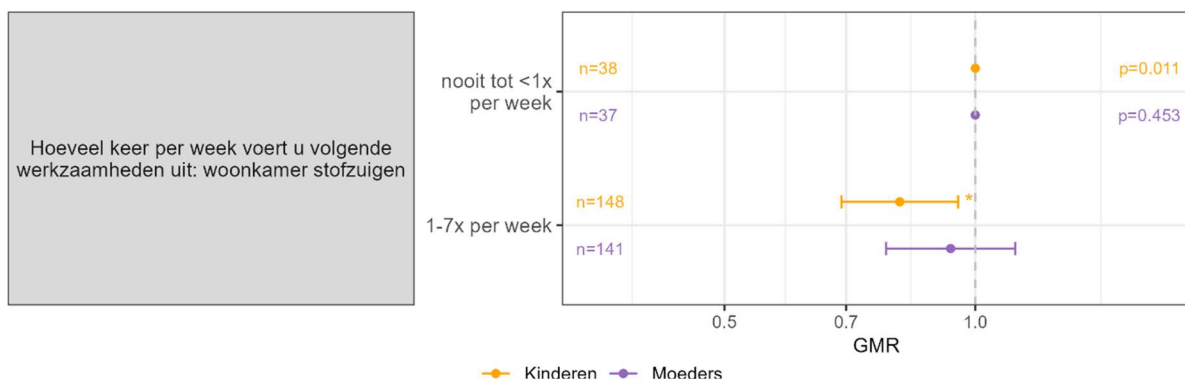


— Kinderen — Moeders

Figuur 14: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens binnenhuisfactoren, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.

*De overall p-waarde van de determinant is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.*

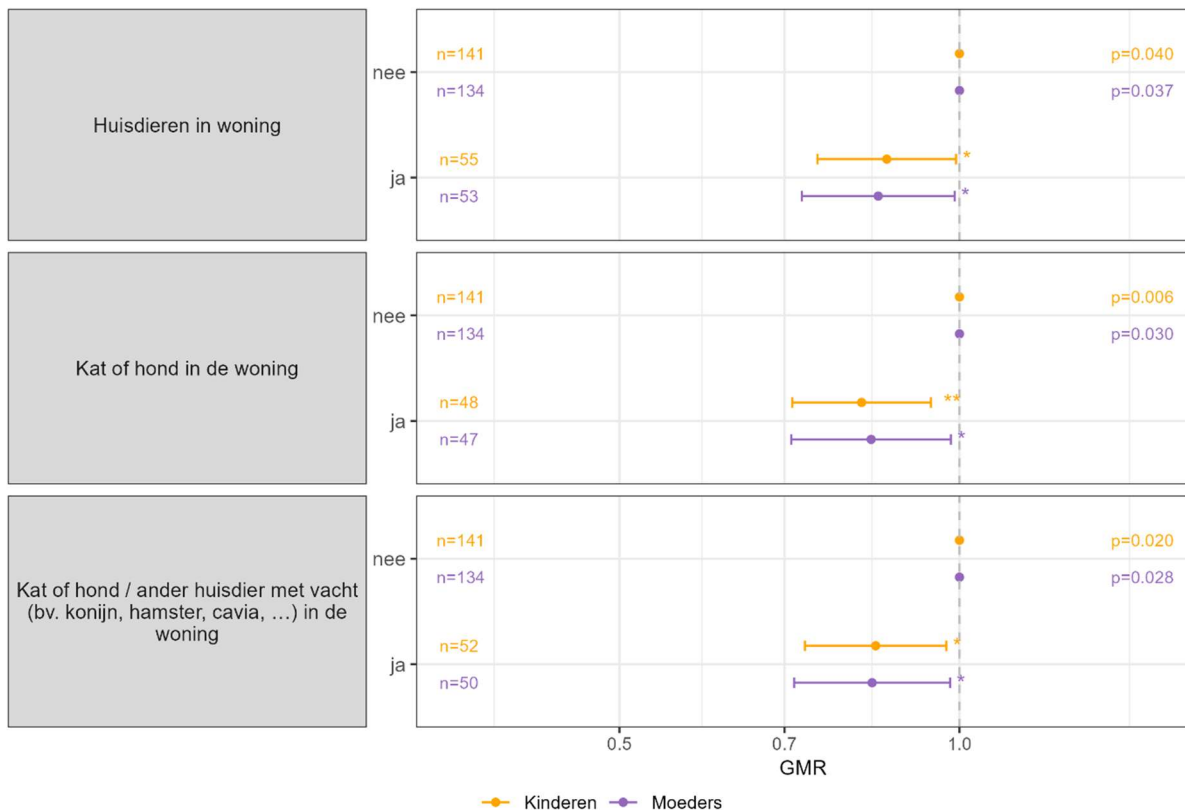
De lood-in-bloedwaarden bij kinderen waren gemiddeld 19% lager wanneer de woonkamer 1-7x per week gestofzuigd werd in vergelijking met nooit tot <1x per week stofzuigen ($p<0,05$) (Figuur 15). Dit verband werd niet waargenomen bij de moeders. Andere variabelen voor poetsgedrag zoals stof afnemen met een droge of vochtige doek, dweilen, enzovoort toonden geen verband met lood-in-bloedgehalten bij kinderen en moeders.



Figuur 15: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens de frequentie van stofzuigen van de woonkamer, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.

*De overall p-waarde van de determinant is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.*

Er werden lagere lood-in-bloedwaarden voor zowel kinderen als moeders met **huisdieren in de woning** waargenomen dan voor kinderen en moeders zonder huisdieren (respectievelijk -14% en -15%, $p<0,05$) (Figuur 16). Dit verband was ook aanwezig wanneer enkel huisdieren met een vacht in beschouwing werden genomen, en eveneens wanneer specifiek gekeken werd naar kat(ten) en hond(en).

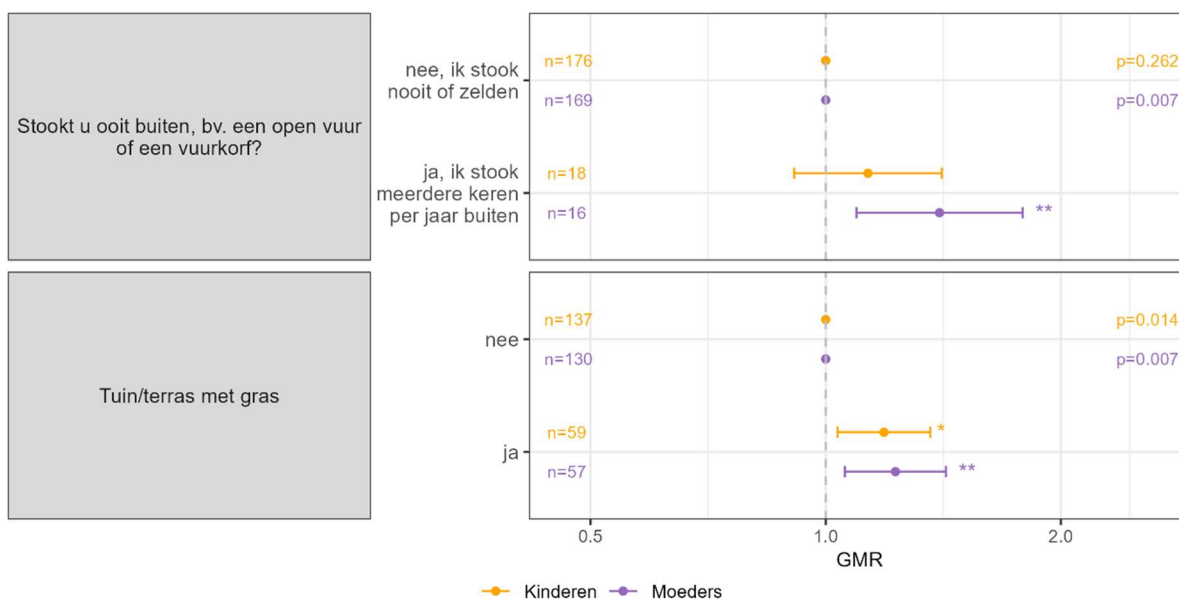


Figuur 16: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens de aanwezigheid van huisdieren (kat(ten), hond(en) en/of andere dieren met vacht), na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.

De overall p-waarde van de determinant is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.

Gemiddelde loodconcentraties waren 40% hoger bij moeders die meerdere keren per jaar **buiten stoken** (bv. een open vuur, een vuurkorf) ($p<0,01$) (Figuur 17). Bij kinderen werd dit verband niet waargenomen. Andere variabelen die bevestigd werden voor het nagaan van stofproductie en opwaaiend stof, zoals gebruik van een kachel of (open) haard in de woning, verbouwingen in de woning en wegenwerken in de straat in de afgelopen 3 maanden, toonden geen significante associatie met lood-in-bloed bij kinderen en moeders.

Bij kinderen en moeders met een **tuin en/of terras met gras** werden respectievelijk gemiddeld 19% en 23% hogere loodconcentraties waargenomen dan bij kinderen en moeders zonder tuin en/of terras met gras (respectievelijk $p<0,05$ en $p<0,01$).



Figuur 17: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen (oranje) en moeders (paars) volgens buitenhuisfactoren, na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname voor kinderen en na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname voor moeders.

De overall p-waarde van de determinant is rechts bovenaan weergegeven, de categorie-specifieke p-waarden zijn naast de schattingen weergegeven als: †<0,1; *<0,05; **<0,01.

4.4.5 Vergelijking met gezondheidkundige toetsingswaarden

In methodesectie 3.5.6 werden zowel voor kinderen als moeders verschillende gezondheidkundige toetsings- of streefwaarden opgenomen om het gezondheidsrisico in kaart te brengen.

In de totale groep had 85,5% van de kinderen een lood-in-bloedwaarde boven de strengste gezondheidkundige toetsingswaarde van 12 µg/l; 48,0% een loodwaarde boven de streefwaarde van 20 µg/l, en 10,0% een waarde boven de streefwaarde van 40 µg/l (Tabel 11).

Tabel 11: Percentage kinderen boven de toetsingswaarde.

Toetsingswaarde	Percentage (%) boven toetsingswaarde
12 µg/l (BMDL01-waarde IQ-score kinderen)	85,5
20 µg/l (streefwaarde middellange termijn in bevolkingsonderzoek Hoboken, 95 ^{ste} percentiel van kinderen/jongeren in Europese bevolking)	48,0
40 µg/l (streefwaarde korte termijn in bevolkingsonderzoek Hoboken, 95 ^{ste} percentiel van controlegroep in bevolkingsonderzoek Hoboken)	10,0

Van de moeders had 68,6% een waarde boven de gezondheidkundige toetsingswaarde van 12 µg/l; ongeveer de helft had een waarde boven de toetsingswaarde voor chronische nierproblemen van 15 µg/l (50,3%); en 3,7% had een waarde boven de toetsingswaarde voor een verhoging in systolische bloeddruk van 36 µg/l (Tabel 12).

Tabel 12: Percentage moeders boven de toetsingswaarde.

Toetsingswaarde	Percentage (%) boven toetsingswaarde
12 µg/l (BMDL01-waarde IQ-score kinderen)	68,6
15 µg/l (BDML10-waarde chronische nierproblemen)	50,3
36 µg/l (BDML01-waarde verhoging systolische bloeddruk)	3,7

HOOFDSTUK 5: DISCUSSIE

5.1 VERGELIJKING MET DE LITERATUUR

De lood-in-bloedwaarden van deze studie worden vergeleken met waarden uit andere recente studies in gelijkaardige leeftijdsgroepen.

De gemiddelde lood-in-bloedwaarde van alle kinderen in de HBM Stationsbuurt Antwerpen (studiegebied + controlegebied) bedraagt 20,6 µg/l (Tabel 13). In vergelijking met het bevolkingsonderzoek van Hoboken ('Vingerprik Hoboken' (8)), ligt deze waarde lager dan de gemiddelde waarde van kinderen die wonen in de omgeving van de fabriek Umicore in Hoboken (onderzoeksgebied; 24,0 µg/l), maar wel dicht in de buurt van de gemiddelde waarde van kinderen uit het stedelijke controlegebied (18,9 µg/l)(8). De gemiddelde waarde bij de kinderen in de HBM Stationsbuurt Antwerpen ligt 2 tot 4 keer hoger in vergelijking met internationale gegevens van lagereschoolkinderen gerekruteerd uit algemene populaties in de periode 2014 tot 2019. In Europese studies, nl. in Duitsland (GerES (9)) en Frankrijk (Esteban (10)), worden gemiddelde lood-in-bloedwaarden gerapporteerd in de buurt van 10 µg/l. In Noord-Amerikaanse studies, nl. in de Verenigde Staten (NHANES (11)) en Canada (CHMS (12)) ligt het gemiddelde in de buurt van 5 µg/l.

De gemiddelde lood-in-bloedwaarde van alle moeders in de HBM Stationsbuurt Antwerpen (studiegebied + controlegebied) bedraagt 15,4 µg/l (Tabel 14). Deze waarde is vergelijkbaar met de gemiddelde waarde bij volwassenen van de algemene populatie in Frankrijk (16,3 µg/l; Esteban (10)), en hoger dan de gemiddelde waarde uit algemene populatiestudies in Noord-Amerika (8,55 µg/l in NHANES (11) of 7,1 µg/l in de categorie 20-39 jaar en 9,2 µg/l in de categorie 40-59 jaar in CHMS (12)). Wanneer ingezoomd wordt op vrouwen van vruchtbare leeftijd (data enkel beschikbaar voor de algemene studiestudiepopulatie in Frankrijk (11,7 µg/l; Esteban (10))), ligt de gemiddelde waarde van moeders in de huidige studie hoger.

Zowel bij de kinderen als bij de moeders ligt de gemiddelde lood-in-bloedconcentratie dus hoger dan de achtergrondconcentraties in de algemene bevolking, behalve voor de vergelijking met volwassenen van Esteban (10). De studies in de literatuur dateren uit een periode van 5 tot 10 jaar geleden. Rekening houdend met de dalende tijdstrend van lood-in-bloedwaarden wereldwijd (13), is het aannemelijk dat de verschillen nog groter zouden zijn bij een vergelijking met meer recente studies. Een mogelijke verklaring voor de hogere waarden in de huidige studie is dat de loodblootstelling hoger is in een grootstedelijke omgeving. Factoren die hier een rol kunnen spelen zijn druk autoverkeer (zowel in de binnenstad als in de omgeving van grote verkeersaders rond de stad) met vervuiling door loodhoudende benzine in het verleden; de aanwezigheid van treinstations en spoorlijnen (trein en tram); historische en/of recente vervuiling door ambachten en industrie; gebruik van bodemvreemde materialen op terreinen (o.m. puin, baksteen, koolassen); nog aanwezige contaminatie in oude woningen (o.m. loodhoudende verf of loden drinkwaterleidingen). Een andere factor die verschilt tussen de huidige studie en de algemene populatiestudies is het gebruik van capillair bloed (vingerprik) vs. veneus bloed (intraveneuze armprik). Op basis van de literatuur blijkt echter dat loodmetingen beide matrices sterk gecorreleerd zijn (correlatiecoëfficiënt=0,98) en dat het gemiddelde verschil in metingen tussen capillair en veneus bloed slechts 0.4 µg/L (95% CI: 0.2; 0.9 µg/L) bedraagt, wat wijst op een relatief goede overeenkomst tussen metingen in beide matrices (14).

Besluit: De gemiddelde lood-in-bloedwaarde in het huidig onderzoek sluit nauw aan bij deze van een stedelijke controlegroep in Hoboken. Noemenswaardig is dat in beide onderzoeken een identieke meetmethode werd gebruikt. De lood-in-bloedwaarden in een stedelijke omgeving, zowel

in de studiegroep als in de controlegroep, zijn duidelijk hoger dan achtergrondconcentraties in de algemene bevolking, zowel in Europa als in Noord-Amerika.

Tabel 13: Overzicht lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) van studies bij kinderen.

Naam studie	Regio	Periode bloedafname	Type matrix	Aantal deelnemers	Leeftijd deelnemers	GM (95% CI)
HBM Stationsbuurt Antwerpen, deze studie	Stad Antwerpen	2024	capillair volbloed	200	6-8 jaar	20,6 (19,2; 22,1)
Vingerprik Hoboken (8)	Hoboken	Voorjaar 2024	capillair volbloed	299 (onderzoeksgebied)	1-12 jaar	24,0 (22,7; 25,3)
				56 (controlegebied)	1-12 jaar	18,9 (16,3; 21,9)
GerES V (9)	Duitsland	2014-2017	veneus volbloed	231	6-10 jaar	10,63 (10,04; 11,26)
Esteban (10)	Frankrijk	2014-2016	veneus volbloed	387	6-10 jaar	10,8 (10,1; 11,6)
NHANES (11)	Verenigde Staten	2017-2018	veneus volbloed	833	6-11 jaar	4,75 (4,56; 4,94)
CHMS (Cycle 6) (12)	Canada	2018-2019	veneus volbloed	500	6-11 jaar	4,9 (4,4; 5,5)

GM: geometrisch gemiddeld; 95% CI: confidentie-interval; HBM: humane biomonitoring; GerES: German Environmental Survey; NHANES: National Health and Nutrition Examination Survey; CHMS: Canadian Health Measures Survey

Tabel 14: Overzicht lood-in-bloedwaarden ($\mu\text{g/l}$) van studies bij volwassenen.

Naam studie	Regio	Periode bloedafname	Type matrix	Geslacht	Leeftijd (jaar)	Aantal deelnemers	GM (95% CI)
HBM Stationsbuurt Antwerpen, deze studie	Stad Antwerpen	2024	capillair volbloed	vrouwen	28-54	191	15,4 (14,2; 16,6)
Esteban (10)	Frankrijk	2014-2016	veneus volbloed	mannen en vrouwen	18-59	671	16,3 (15,3; 17,5)
				vrouwen	18-49	270	11,7 (10,7; 12,9)
NHANES (11)	Verenigde Staten	2017-2018	veneus volbloed	mannen en vrouwen	>20	5.021	8,55 (8,16; 8,95)
CHMS (Cycle 6) (12)	Canada	2018-2019	veneus volbloed	mannen en vrouwen	20-39	1.053	7,1 (6,6; 7,6)
				mannen en vrouwen	40-59	1.083	9,2 (8,6; 10,0)

GM: geometrisch gemiddeld; 95% CI: confidentie-interval; HBM: humane biomonitoring; NHANES: National Health and Nutrition Examination Survey; CHMS: Canadian Health Measures Survey

5.2 GEBIEDSVERGELIJKING

De eerste onderzoeksvraag luidde als volgt: **“Is er een verhoogde blootstelling aan lood-in-bloed (metalen) die specifiek gelinkt kan worden aan de omgeving van de stationsbuurt in Antwerpen, en verschilt deze blootstelling van een algemene stedelijke omgeving?”**.

Initieel was de onderzoeksofzet om een statistische vergelijking te doen van de gemiddelde lood-in-bloedwaarde in het studiegebied vs. een controlegebied met 200 deelnemers per gebied. Het studiegebied bestaat uit vijf statistische sectoren die grenzen aan het centraal station in Antwerpen; het controlegebied bestaat uit het gebied binnen de Singel van Antwerpen, zonder deze vijf statistische sectoren.

De gemiddelde lood-in-bloedconcentraties waren niet significant verschillend tussen studiegebied en controlegebied: de gemiddelde concentratie bij kinderen in het studiegebied was 1% hoger dan bij kinderen in het controlegebied (na correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname); voor de moeders bedroeg dit verschil 2% (na correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname). Omwille van moeilijkheden bij de rekrutering was de onderzoeksgroep kleiner dan vooropgesteld in het onderzoeksplan. De vergelijking gebeurde op 44 moeder-kind koppels uit het onderzoeksgebied en 156 moeder-kind koppels uit het controlegebied, terwijl de doelstelling was om 200 moeder-kind koppels te onderzoeken in elk van de gebieden. Daardoor is de power van de studie lager dan geanticipeerd. Powerberekeningen met het huidige deelnemersaantal in het studie- en controlegebied gaven aan dat er minstens een verschil in lood-in-bloedconcentratie van 20% aanwezig moet zijn tussen het studie- en controlegebied om een significant verschil te kunnen detecteren.

Omwille van de lage power in de studie, werden extra analyses uitgevoerd om de geografische component te onderzoeken, en op die manier toch een uitspraak te kunnen doen over de blootstelling aan lood in de stationsbuurt. Bij kinderen werden lagere lood-in-bloedwaarden waargenomen bij toenemende afstand van hun woonadres t.o.v. Value Trading - zowel voor de continue als voor de categorische afstandsvariabele - in het hoofdmodel (met correctie voor leeftijd, geslacht, maand van staalafname). Bij moeders daarentegen zagen we geen afstandsgradiënt in het hoofdmodel (met correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname). In de veronderstelling dat Value Trading een belangrijke bron van lood is en aangezien het zuidwesten de meest voorkomende windrichting is in Vlaanderen, is de verwachting dat lood-in-bloedwaarden hoger zijn bij deelnemers die ten noordoosten van Value Trading wonen, of dat de afstandsgradiënt sterker is bij deze deelnemers. Noch bij kinderen, noch bij moeders werd echter een duidelijk effect van windrichting vastgesteld. Het feit dat enkel een afstandsgradiënt bij kinderen en niet bij moeders werd geobserveerd, maakt dit resultaat minder overtuigend. Alhoewel dit mogelijk verklaard kan worden doordat kinderen meer blootgesteld worden dan moeders, bijv. omdat ze meer tijd buiten spelen/spenderen.

Besluit: De gemiddelde lood-in-bloedconcentraties van kinderen en moeders waren vergelijkbaar en niet significant verschillend tussen het studiegebied en het controlegebied. Wel werden lagere lood-in-bloedwaarden waargenomen bij toenemende afstand van het woonadres t.o.v. Value Trading bij kinderen, maar dit werd niet bevestigd bij de moeders. Hoewel het aannemelijk is dat deelnemers ten noordoosten van Value Trading – gezien de overheersende zuidwestenwind – hogere lood-in-bloedwaarden zouden vertonen, werd dit effect noch bij kinderen, noch bij moeders vastgesteld. Op basis van deze resultaten kan worden geconcludeerd dat er geen sterke aanwijzingen zijn voor een verhoogde loodblootstelling die specifiek gelinkt is aan de omgeving van de stationsbuurt in Antwerpen. De blootstelling lijkt veeleer te wijzen op een algemene stedelijke achtergrondblootstelling, die zich uitstrekt over het volledige gebied binnen de Antwerpse Singel.

5.3 DETERMINANTEN VOOR LOOD-IN-BLOED

De tweede onderzoeksvraag luidde: “**Wat zijn de determinanten van de blootstelling aan lood?**”. Determinanten zijn variabelen uit de vragenlijsten of variabelen aangemaakt op basis van externe data, die mogelijks de lood-in-bloedgehalten kunnen beïnvloeden. De determinanten voor lood-in-bloed die significant waren bij kinderen en/of moeders worden samengevat in Tabel 15.

Tabel 15: Samenvatting van de significante determinanten voor lood-in-bloed bij kinderen en/of moeders (overall $p < 0,1$ in minstens één van de twee groepen).

Determinant	Kinderen ^a	Moeders ^b
Nationaliteit geboorte moeder: niet-EU <i>versus</i> Belgisch	↓	↓
Onderwijs in Joodse school	↑	↓
Opleiding moeder – medium <i>versus</i> laag	↓	/
Opleiding moeder – hoog <i>versus</i> laag	↓	(↑)
Aantal gezinsleden: 4-5 <i>versus</i> 2-3	/	(↑)
Equivalent inkomen van het gezin: 1000 euro stijging	↑	↑
Equivalent inkomen van het gezin: hoogste categorie (>2000 euro/maand) <i>versus</i> laagste categorie (0-1250 euro/maand)	/	↑
Rondkomen totale inkomen per maand: gemakkelijk tot zeer gemakkelijk <i>versus</i> zeer tot eerder moeilijk	/	↑
Gezinsleden dragen pantoffels of schoeisel van buiten in huis	↑	/
Gezinsleden vegen voeten bij betreden van woning: sommigen <i>versus</i> iedereen	↑	/
Kleding ververset: 1x per dag of meer <i>versus</i> minder dan 1x per dag	↓	n.v.t.
Roken	n.v.t.	↑
Drinken van water uit de kraan	/	↑
Drinken van water uit flessen	/	↓
Gebruik van voedingssupplementen (bv. vitaminen, ...)	/	↓
Borstvoeding: 1-6 maanden <i>versus</i> geen borstvoeding	↑	/
Aantal zwangerschappen moeder: 2 <i>versus</i> 1	n.v.t.	↑
Aantal zwangerschappen moeder: 3 of meer <i>versus</i> 1	n.v.t.	(↑)
Bouwjaar woning: 1960-1980 <i>versus</i> vóór 1960	↓	↓
Vloerbedekking: planken in één of meer kamers van de woning (woonkamer, keuken, slaapkamer kind, slaapkamer moeder)	↑	↑
Vloerbedekking: los tapijt in de woonkamer en/of keuken	/	↑
Vloerbedekking: andere (bv. laminaat, vinyl, ...) in de slaapkamer	/	↓
Luchtverversing woning: mechanisch	↓	/
Materiaal waterleidingen: koper	↑	↑
Stofzuigen woonkamer: 1-7x per week <i>versus</i> nooit tot <1 keer per week	↓	/
Huisdieren met vacht in de woning	↓	↓
Tuin/terras met gras	↑	↑
Buiten stoken (bv. een open vuur, vuurkorf): ja, meerdere keren per jaar <i>versus</i> nee, zelden of nooit	/	↑

^a Regressiemodel met correctie voor leeftijd, geslacht en maand van staalafname; ^b Regressiemodel met correctie voor leeftijd, roken en maand van staalafname.

↑ of ↓ = significant hogere of lagere lood-in-bloedwaarden (overall en categorie-specifieke $p < 0,1$)

(↑) of (↓) = hogere of lagere lood-in-bloedwaarden met een overall $p < 0,1$, maar een categorie-specifieke $p > 0,1$
/ = overall $p > 0,1$

n.v.t.: niet van toepassing (determinant niet beschikbaar voor de doelgroep)

Een kanttekening bij deze resultaten is de kleine steekproefgrootte, die de kans op toevallige bevindingen verhoogt (zeker bij categorische variabelen). Daarnaast beperkte de kleine steekproefgrootte ook de mogelijkheid om vele variabelen tegelijk in een regressiemodel op te nemen. Daarom werden de determinanten telkens in **aparte modellen** bekeken, waardoor confounding door andere determinanten niet uitgesloten kan worden. Tenslotte **beperkt** een kleine steekproefgrootte de **statistische power**, waardoor mogelijk niet alle determinanten opgepikt werden. Ook resulteerde de kleine steekproefgrootte in een aanzienlijk aantal variabelen met < 10 deelnemers in een bepaalde antwoordcategorie (bijv. huidige en geboortenationaliteit van het kind en het eten van lokaal geteelde groenten en/of fruit), die om deze reden **niet geanalyseerd** werden.

Afstand van het woonadres tot de dichtstbijzijnde spoorlijn werd als mogelijke determinant geanalyseerd omdat treinverkeer kan zorgen voor uitstoot van (zware) metalen zoals lood. Dit kan plaatsvinden via slijtage van het materiaal aan de spoorlijnen/treinen, via het verbrandingsproces in de locomotieven, bij lekkage van lading op goederentreinen, enzovoort. Lood kan zo via depositie ook afzetten op de bodem en planten (15). Lood-in-bloed gehalten van kinderen en moeders toonden echter geen verband met de afstand van de woning tot de spoorlijn. Meteorologische factoren kunnen ook een invloed hebben op lood-in-bloedwaarden. Bij droog weer met veel wind wordt een hogere blootstelling aan lood verwacht (16). Wind kan namelijk stofdeeltjes met lood doen opwaaien, waardoor de verspreiding en blootstelling verhoogd wordt. Deze studie toonde geen significante verbanden tussen meteorologische factoren en lood-in-bloed van kinderen en moeders. Voor kinderen was er wel een trend van hogere lood-in-bloedwaarden in associatie met hogere windsnelheid in de 30 dagen voor staalafname ($p = 0,128$), wat overeenkomt met de verwachting. **Lood-in-bloed bij kinderen en moeders toonden geen significant verband met de geografische factor afstand van woonadres tot dichtstbijzijnde spoorlijn en de meteorologische factoren neerslag, windsnelheid en temperatuur.**

Zowel bij de kinderen als moeders werden lagere lood-in-bloedwaarden geobserveerd bij een niet-Europese geboortenationaliteit van de moeder in vergelijking met een Belgische geboortenationaliteit van de moeder. Dit resultaat kan te wijten zijn aan een andere levensstijl wegens culturele verschillen, die de blootstelling aan lood kunnen beïnvloeden. Er werden ook hogere lood-in-bloedwaarden waargenomen bij kinderen die onderwijs volgen in een Joodse school. Bij de moeders van deze kinderen daarentegen waren de lood-in-bloedwaarden lager. Dit zou kunnen wijzen op een factor in Joodse scholen, die thuis of in andere scholen niet aanwezig is. Verder onderzoek kan nuttig zijn om dit uit te klaren. Voor opleiding van de moeder was de richting van het verband niet consistent tussen kinderen en moeders: kinderen van medium tot hoogopgeleide moeders hadden lagere loodconcentraties dan kinderen van laag opgeleide moeders, terwijl er bij de hoogopgeleide moeders zelf een trend was voor hogere loodconcentraties ($p = 0,11$). Hier is geen directe verklaring voor. De resultaten suggereerden ook een verband tussen loodconcentraties bij moeders en het aantal gezinsleden ($p < 0,1$), maar de categorie-specifieke p -waarden toonden enkel een trend van hogere loodwaarden bij 4-5 personen in het huishouden ($p = 0,13$) en niet bij 6 of meer personen. Ook deze bevinding is moeilijk te verklaren en waarschijnlijk niet relevant. Zowel bij de kinderen als moeders

werden hogere lood-in-bloedgehalten waargenomen bij een hoger equivalent inkomen van het gezin. Er werden ook hogere gemiddelde lood-in-bloedconcentraties gevonden bij moeders die aangaven gemakkelijk tot zeer gemakkelijk rond te komen met het totale inkomen van het gezin per maand in vergelijking met moeders die aangaven zeer tot eerder moeilijk rond te komen. Als conclusie kunnen we stellen dat de socio-economische (SES) variabelen soms tegenstrijdige signalen geven. Het verband tussen lood-in-bloed en SES-indicatoren, zoals nationaliteit, opleiding, inkomen of gezinssamenstelling, is niet altijd consistent tussen moeders en kinderen of verbanden zijn onderling niet consistent (bijv. opleiding en inkomen geven een tegengesteld beeld). Mogelijk is het beeld van de SES onvolledig in deze studie door het ontbreken van bepaalde informatie (bv. opleidingsniveau van de (stief-)vader). De bevindingen voor de SES-variabelen zijn waarschijnlijk een reflectie van andere factoren die de blootstelling aan lood bepalen, bijv. verschillen in voedingsgewoonten, roken of binnenhuiskenmerken tussen verschillende sociale klassen. Omwille van de kleine aantallen in de studiegroep is het niet mogelijk om interacties tussen de SES-variabelen onderling te bestuderen om beter inzicht te krijgen in de inconsistenties. **We kunnen dus besluiten dat er op basis van de huidige studie geen duidelijke uitspraken kunnen worden gedaan over de invloed van SES-variabelen op de lood-in-bloedwaarden.**

Zoals aangetoond in eerdere studies (5,17,18), kunnen bepaalde leef- en eet-/drinkgewoonten ook bijdragen tot de blootstelling aan lood. Het dragen van pantoffels en schoeisel van buiten door gezinsleden in de woning was geassocieerd met gemiddeld hogere lood-in-bloedwaarden bij kinderen in vergelijking met blote voeten of sokken in de woning. Bij de moeders werd dit verband niet waargenomen. Wanneer slechts sommige gezinsleden hun voeten/schoenen afvegen bij het betreden van de woning, werden hogere lood-in-bloedgehalten waargenomen bij kinderen. Bij de moeders werd ook een indicatie voor een verband waargenomen (maar geen significante overall p -waarde ($p=0,136$)), namelijk hogere lood-in-bloed waarden bij moeders waarvan niemand van de gezinsleden hun voeten/schoenen afveegt in vergelijking met moeders waarvan alle gezinsleden hun voeten/schoenen afvegen bij het betreden van de woning. **Een mogelijke verklaring voor de hogere loodwaarden bij het dragen van schoenen binnen of het minder goed voeten vegen is dat lood-bevattend stof of zand via de schoenen van buiten naar binnen gebracht wordt.**

Wanneer het kind regelmatig de kleding ververst, werden lagere loodconcentraties waargenomen. Voor moeders was deze informatie niet beschikbaar. **Dit resultaat komt overeen met een conclusie uit de HBM-studie in Hoboken dat een goede algemene lichaamshygiëne kan helpen om de blootstelling aan looddeeltjes uit de omgeving te verminderen (5).**

Moeders die roken hadden gemiddeld hogere lood-in-bloedwaarden. **Dit komt overeen met de verwachting, aangezien in tabaksrook veel schadelijke stoffen voorkomen, waaronder lood (19–21).** Passief roken (onvrijwillig meerooken) voor kinderen werd niet geanalyseerd wegens <10 deelnemers die wekelijks of vaker werden blootgesteld aan passief roken. Moeders die voedingssupplementen nemen zoals vitamines, mineralen, enzovoort hadden lagere loodconcentraties. **Dit komt overeen met de verwachting, aangezien tekorten aan mineralen (bijv. ijzer, calcium en zink) ertoe kunnen leiden dat lood uit voeding meer wordt opgenomen in de darm (22).** Een ijzertekort vastgesteld door de dokter in de laatste 2 en laatste 4 jaar werd ook nagegaan als mogelijke determinant voor lood-in-bloed bij moeders, maar er werd geen verband waargenomen.

Via moedermelk kan lood worden overgedragen van de moeder naar het kind (23). Het zou kunnen dat kinderen van moeders met een hoge loodbelasting die lang borstvoeding krijgen, in de prenatale fase een hogere loodbelasting in het lichaam opbouwen (24,25). Hoewel er in de huidige studie geen significant verschil in lood-in-bloedwaarden was tussen kinderen die meer dan 6 maanden borstvoeding kregen en kinderen die geen borstvoeding kregen, werden er gemiddeld wel hogere lood-in-bloedwaarden waargenomen voor kinderen die 1-6 maanden borstvoeding kregen. Aangezien

lood-in-bloedwaarden een weerspiegeling zijn van blootstelling in de voorbije 1-3 maanden is het onwaarschijnlijk dat de waarden op 6-7-jarige leeftijd rechtstreeks het gevolg zijn van doorgave van lood via de moedermelk. Bovendien wordt er bij de moeders een gelijkaardig verband waargenomen als bij de kinderen, namelijk hogere lood-in-bloed-waarden bij 1-6 maanden borstvoeding in vergelijking met geen borstvoeding, terwijl men bij doorgave van lood via de moedermelk eerdere lagere concentraties zou verwachten voor moeders die borstvoeding gaven(26). Deze resultaten suggereren dat de waargenomen verbanden voor borstvoeding eerder een reflectie zijn van andere factoren.

Het aantal zwangerschappen (tot minstens 22 weken; pariteit) werd nagegaan als mogelijke determinant voor lood-in-bloed bij moeders, aangezien tijdens een zwangerschap lood wordt vrijgezet vanuit het bot naar het bloed en doorgegeven aan de foetus. Zwangerschap is dus een manier van excretie van lood voor de moeder. Er wordt dus een negatief verband verwacht tussen pariteit en lood-in-bloed. De lood-in-bloedwaarden waren hoger bij moeders die 2 keer ($p < 0,1$) of 3 keer ($p > 0,1$) zwanger zijn geweest dan bij moeders die 1 keer zwanger zijn geweest, maar dit valt moeilijk te verklaren.

Bij kinderen was er geen effect waarneembaar voor het drinken van kraanwater of flessenwater en lood-in-bloed, bij moeders daarentegen wel: moeders die kraanwater drinken, hadden gemiddeld hogere lood-in-bloedgehalten, terwijl moeders die water uit flessen drinken, gemiddeld lagere loodconcentraties hadden. **Een verklaring kan zijn dat in sommige huizen nog loodhoudende leidingen aanwezig zijn (17).** Vooral in een binnenstad zoals Antwerpen met veel oudere huizen, is dit een aannemelijke verklaring. Ook is dit consistent met volgende bevinding: wanneer de woning tussen 1960-1980 gebouwd is in vergelijking met vóór 1960, werden zowel bij kinderen als moeders lagere lood-in-bloedconcentraties gevonden. Dit komt overeen met de verwachtingen en werd ook aangetoond in andere studies zoals FLEHS-4 (27), aangezien vanaf 1970 het gebruik van loden waterleidingen werd uitgefaseerd (28). De aanwezigheid van loden waterleidingen werd ook bevraagd, maar niet geanalyseerd aangezien er slechts drie moeders “ja” geantwoord hebben. Zoals verwacht gaf een aanzienlijk aantal moeders ($n=96$) aan niet te weten uit welk materiaal de waterleidingen van hun woning bestaat. Voor de 37 moeders die aangaven koperen waterleidingen te hebben werden hogere loodconcentraties waargenomen, ook bij hun kinderen. Mogelijk is er bij bewoners verwarring tussen koperen en loden leidingen of kunnen koperen leidingen ook aansluitstukken of soldeerverbindingen met lood bevatten. **Op basis van deze resultaten kunnen we geen algemeen advies geven over het gebruik van leidingwater. Het is wel aan te raden om in oude huizen het water te laten testen op aanwezigheid van lood vooraleer het te gebruiken voor consumptie.**

Ook andere binnen- en buitenhuisfactoren kunnen bijdragen tot de blootstelling aan lood of de blootstelling aan lood verminderen (5,17,27). Bij de aanwezigheid van planken als vloerbekleding in één of meer kamers in de woning (woonkamer, keuken, slaapkamer kind, slaapkamer moeder) werden zowel bij kinderen als moeders hogere lood-in-bloedgehalten waargenomen. Een verklaring hiervoor kan zijn dat planken minder vaak met water gepoetst worden in vergelijking met bijvoorbeeld tegels of dat stof in spleten van planken vloeren wordt vastgehouden. Moeders met een andere vloerdekking zoals laminaat of vinyl in de slaapkamer hadden significant lagere loodconcentraties. Het hebben van een los tapijt in de woonkamer en/of keuken stond in verband met hogere loodconcentraties bij moeders. Een los tapijt kan meer stofdeeltjes met lood vasthouden, wat een hogere blootstelling kan verklaren. Vast tapijt in één of meer kamers in de woning (woonkamer, keuken, slaapkamer kind, slaapkamer moeder) toonde echter geen significant verband met lood-in-bloedwaarden in kinderen en moeders. Wanneer de luchtverversing in de woning mechanisch

gebeurt, werden lagere lood-in-bloedgehalten bij kinderen waargenomen. Dit komt overeen met de verwachting want dit werd ook waargenomen in andere studies zoals FLEHS-4 (27): **goede verluchting zorgt ervoor dat stofdeeltjes met lood beter verwijderd worden uit de woning met mindere blootstelling tot gevolg.** Bij moeders werd dit verband niet waargenomen. Manuele luchtverversing door het frequent openen van ramen en/of deuren, of luchtverversing via roosters, toonden geen significant verband met lood-in-bloed bij kinderen en moeders. Poetsgedrag werd ook nagegaan als mogelijke determinant voor lood-in-bloed. **Het verwijderen van lood bevattend stof kan de blootstelling verminderen.** De lood-in-bloedwaarden bij kinderen waren lager wanneer de woonkamer 1-7x per week gestofzuigd werd in vergelijking met nooit tot <1x per week. Dit verband werd niet waargenomen voor de loodconcentraties bij moeders. Andere variabelen voor poetsgedrag zoals stof afnemen met een droge of vochtige doek, dweilen, enzovoort toonden geen verband met lood-in-bloedgehalten bij kinderen en moeders. Deelnemers met huisdieren in de woning en specifiek met huisdieren met een vacht zoals kat(ten), hond(en), cavia('s), hadden gemiddeld lagere lood-in-bloedgehalten. Dit is tegengesteld aan de verwachting dat huisdieren meer zand/stof van buiten naar binnen brengen, maar een verklaring kan zijn dat mensen die huisdieren hebben, de woning meer poetsen waardoor de blootstelling aan lood algemeen verlaagd wordt (zoals gesuggereerd door het gevonden verband tussen lood-in-bloed en stofzuigen). Van de moeders zonder huisdier gaf 27% aan minder dan 1 keer per week de woonkamer te stofzuigen, terwijl dit bij de moeders met huisdier slechts 6% was (Fisher exact test $p < 0,01$). Het percentage moeders dat aangaf minder dan 1 keer per week de woonkamer te dweilen was gelijkaardig tussen beide groepen (37% van de moeders zonder huisdier en 44% van de moeders met huisdier, Fisher exact test $p = 0,4$). Er was ook geen verband tussen het hebben van een huisdier en de frequentie van handen wassen bij kinderen (80,1% van de kinderen zonder huisdier en 76,4% van de kinderen met huisdier gaf aan >1/dag de handen te wassen, Fisher exact test $p = 0,56$).

Zowel kinderen als moeders met een tuin/terras met gras hadden gemiddeld hogere lood-in-bloedgehalten dan deelnemers zonder tuin/terras met gras. **Een mogelijke verklaring is hier dat kinderen met een tuin vaker buiten spelen en/of meer in contact komen met zand.** Tot slot hadden moeders die meerdere keren per jaar buiten stoken hogere lood-in-bloedwaarden dan moeders die dit nooit of zelden doen. Dit verband werd niet waargenomen bij de kinderen, maar wel in de HBM-studie in Hoboken. **Activiteiten die stofdeeltjes produceren of laten opwaaien, zoals stoken, kunnen bijdragen aan blootstelling aan lood waarbij de stofdeeltjes als drager functioneren (5).** Wegenwerken in de straat in de voorbije 3 maanden of verbouwingswerken aan de woning toonden geen significant verband met lood-in-bloedwaarden in kinderen en moeders.

Besluit: De analyse van determinanten toonde dat lood-in-bloedconcentraties in een groep van kinderen en moeders uit een stedelijk milieu worden beïnvloed door persoonlijke factoren, levensstijlfactoren en omgevingsfactoren. De resultaten waren meestal in overeenstemming met de literatuur.

De voornaamste bevindingen zijn:

- Roken bleek een bron van lood te zijn bij de moeders.
- De resultaten voor het dragen van schoenen in de woning, het hebben van een tuin/terras met gras, buiten stoken, ... suggereren dat contact met bodem- en stofdeeltjes het risico op blootstelling aan lood verhoogt.
- Een goede hygiëne, bijv. frequent verversen van kleding, kan beschermen tegen loodblootstelling.
- Het drinken van flessenwater was geassocieerd met lagere lood-in-bloedgehalten, het drinken van kraanwater met hogere lood-in-bloedgehalten bij moeders. Mogelijk is dit

vooral relevant in een stedelijke context met oudere huizen door de aanwezigheid van loden drinkwaterleidingen. Het is aangeraden om in oude huizen het water te laten testen op aanwezigheid van lood vooraleer het te gebruiken voor consumptie.

- Binnenhuisfactoren zijn van belang; potentiële risicofactoren zijn oude woningen, metalen waterleidingen, losse tapijten en planken vloeren als vloerbedekking; potentiële beschermende factoren zijn een goede ventilatie en regelmatig poetsen van de woning.
- Tekorten aan mineralen (bijv. ijzer, calcium en zink) kunnen ertoe leiden dat lood uit de voeding meer wordt opgenomen in de darm. Het nemen van voedingssupplementen zou dit kunnen verhinderen.

De resultaten ondersteunen de gekende preventieve adviezen van overheden om blootstelling aan metalen te vermijden.

5.4 GEZONDHEIDSKUNDIGE INTERPRETATIE

De derde onderzoeksvraag luidde: “Is er een gezondheidkundig risico verbonden aan de blootstelling die geobserveerd wordt in de stedelijke omgeving van Antwerpen?”. Dit werd bestudeerd door de lood-in-bloedwaarden te vergelijken met gezondheidkundige toetsingswaarden.

Meer dan 85% van de kinderen had een lood-in-bloedwaarde boven de strengste gezondheidkundige toetsingswaarde van 12 µg/l. Dit betekent dat er een mogelijk gezondheidsrisico is voor een zeer grote groep kinderen. Bij kinderen zijn de hersenen nog in volle ontwikkeling en dergelijke hoge loodwaarden kunnen blijvende negatieve gevolgen voor cognitieve vaardigheden en gedrag veroorzaken.

De helft (50,3%) van de moeders had een waarde boven de toetsingswaarde (15 µg/l) waarbij chronische nierproblemen kunnen optreden.

Besluit: De vergelijking met toetsingswaarden suggereert een gezondheidsrisico voor zowel kinderen als moeders in deze studie, en dit zowel in het studiegebied als het controlegebied. De blootstellingsniveaus overschrijden de gezondheidkundige toetsingswaarden in een groot deel van de deelnemers, wat wijst op potentiële schadelijke effecten, zoals een negatieve impact op de cognitieve ontwikkeling bij de kinderen en een verhoogd risico op chronische nierschade bij de moeders. Maatregelen om de blootstelling aan lood te verlagen zijn dus belangrijk in een algemene grootstedelijke omgeving.

5.5 BEPERKINGEN VAN HET ONDERZOEK

In dit onderzoek bleef de responsgraad in het studiegebied ver onder wat aanvankelijk werd vastgelegd, nl. 11,1% versus de vooropgestelde responsgraad van 44%. In het controlegebied was de responsgraad 9,3% ten opzichte van een vooropgestelde responsgraad van 10-15%. In referentiecampaagnes van de Vlaamse HBM is 10% een te verwachten responsgraad; in milieugezondheidkundige aandachtsgebieden kan dit oplopen tot 30% (29,30). Aangezien het onderzoek op vraag van de bevolking van de omgeving Antwerpen-Centraal zelf kwam, werd er een grotere respons verwacht dan de uiteindelijke 11,1%.

Het vooropgestelde deelnemersaantal dat nodig was om de originele onderzoeksvragen te beantwoorden, werd dus niet behaald. Slechts voor één vijfde van de geambieerde steekproef in het

studiegebied waren er lood-in-bloedwaarden beschikbaar (44 kinderen en 43 moeders van de geschatte 200-250 deelnemers); in het controlegebied waren er lood-in-bloedwaarden voor bijna drie vierde van de vooropgestelde 200-250 deelnemers (156 kinderen en 148 moeders). Niet alleen werden de vooropgestelde aantallen niet behaald, de verdeling tussen studiegebied en controlegebied was ook niet gelijk. Er waren ongeveer drie keer zoveel deelnemers in het controlegebied als in het studiegebied. Het zou mogelijk geweest zijn om het aantal deelnemers in het controlegebied nog te verhogen door bijkomende statistische sectoren te selecteren, en daar de kinderen en moeders uit te nodigen voor het onderzoek. Echter, omdat dit tot bijkomende kosten zou leiden, en omdat het de ratio studiegebied/controlegebied nog meer zou verstoren, werd in overleg met de opdrachtgever beslist om dit niet te doen.

De bereidheid in het studiegebied om deel te nemen aan het onderzoek bleek eerder beperkt. Ondanks herhaalde en aanhoudende inspanningen om vragen te beantwoorden en verdere uitleg te geven om bezorgdheden weg te nemen, was er binnen de Joodse gemeenschap - de grootste gemeenschap in het studiegebied - merkbare terughoudendheid om deel te nemen. Daarnaast is het mogelijk dat andere bevolkingsgroepen zich minder aangesproken voelden door het onderwerp van het onderzoek of onvoldoende zicht hadden op de persoonlijke meerwaarde van deelname. Dit kan hebben bijgedragen aan een lagere betrokkenheid en bereidheid om deel te nemen. Ook de taalbarrière heeft hier vermoedelijk een rol gespeeld.

Bovendien raakte gedurende de onderzoeksperiode (eind augustus 2024) bekend dat de goudraffinaderij Value Trading definitief de deuren zou sluiten, wat ertoe kan hebben bijgedragen dat leden van de lokale gemeenschap minder motivatie voelden om deel te nemen, mogelijk omdat zij de aanleiding voor hun betrokkenheid als niet langer relevant beschouwden.

Een andere beperking van de studie was de ongelijke verdeling van periode van staalafname tussen het studiegebied en het controlegebied in combinatie met: 1) het verband tussen lood-in-bloedwaarden en maand van staalafname, en 2) het verband tussen een aantal determinanten en maand van staalafname. Dit bemoeilijkte de interpretatie van waargenomen verschillen tussen studie- en controlegebied en waargenomen effecten van determinanten. Aangezien het aannemelijk was dat bepaalde verbanden verstoord ("confounded") werden door seizoensfactoren, werd er besloten om alle analyses te corrigeren voor maand van staalafname. Dit zou er echter toe geleid kunnen hebben dat determinanten met een reële seizoensvariatiecomponent weggecorrigeerd werden.

In ons onderzoek werd om praktische redenen enkel lood als blootstellingsparameter onderzocht. Nochtans tonen de milieumetingen aan dat ook andere milieuvervuilende stoffen (bv. zink) in verhoogde concentraties aanwezig zijn. De blootstelling in de stationsbuurt is complexer dan wat er in dit onderzoek werd bestudeerd. De aanwezigheid van een mengsel van pollutanten, die mogelijk gelijktijdig inwerken op dezelfde organen, onderstreept de noodzaak om in toekomstig onderzoek pollutantenmengsels en hun gezondheidseffecten te evalueren.

HOOFDSTUK 6: MILIEUMETINGEN

6.1 STOFMETINGEN VITO

Op vraag van het Departement Zorg, en gefinancierd door de stad Antwerpen, werden er in een bijkomend project ook milieumetingen uitgevoerd in de stationsbuurt Antwerpen-Centraal (2).

VITO-LKM nam in oktober 2024 stofstalen binnen en buiten, van recent stof enerzijds en historisch stof anderzijds, en dit in 3 scholen, 3 kinderdagverblijven en 3 privéwoningen in het studiegebied en in 1 privéwoning in het controlegebied. De privéwoningen waren woningen van deelnemers uit het HBM-onderzoek.

Omdat er slechts 5 kinderen en 4 moeders waren met zowel lood-in-bloedwaarden als stofmetingen, werd er niet gekeken naar het verband tussen beide metingen.

Er waren 62 analyseresultaten beschikbaar (40 veegmonsters, 21 stofzuigmonsters, en 1 stofzuigerzak). Dit omvat metingen op verschillende type locaties, metingen van binnen en buiten, metingen van recent en historisch stof, en metingen van twee verschillende bemonsteringsmethoden (veegmonsters en stofzuigmonsters). Omdat het aantal metingen per specifieke configuratie beperkt was, werd de analyse van afstand tot Value Trading niet uitgevoerd.

De conclusies van het rapport van de milieumetingen waren als volgt: *de belangrijkste bevinding van het onderzoek is dat de concentraties van een aantal metalen (waaronder lood) hoog liggen zowel in de stationsbuurt als in de controlewoning. In vergelijking met andere (internationale) studies liggen de gemiddelde concentraties in de stationsbuurt in het hoge bereik van de meetwaarden die in de literatuur gerapporteerd worden.* Deze bevindingen liggen volledig in lijn met de conclusies uit het HBM-onderzoek, nl. dat er geen verschil geobserveerd wordt tussen het studiegebied en het controlegebied, maar dat de gemiddelde lood-in-bloedwaarden in de totale groep wel hoog ligt in vergelijking met de literatuur. Dit wordt toegeschreven aan het algemene grootstedelijke milieu.

6.2 BODEMMETINGEN OVAM

Naast de stofmetingen uitgevoerd door VITO-LKM, werden er in het najaar 2022 in de stationsbuurt Antwerpen-Centraal verkennende bodemmetingen uitgevoerd door OVAM. Het ging hier over 20 bodemmetingen in de ruime omgeving rond de Jacob Jacobsstraat (locatie van Value Trading) (Figuur 18).

Er werden verhoogde concentraties aan metalen, waaronder ook lood, in de bodem aangetroffen. Deze varieerden op verschillende boorpunten en de verhoogde concentraties werden zowel in de toplaag als in de diepere bodemlagen vastgesteld. De concentratieverhogingen in de diepere bodemlagen zijn historisch. De verontreiniging zou voornamelijk zijn ontstaan toen het terrein werd opgehoogd met bodemvreemde materialen (zoals puin, baksteen en koolassen). Voor de toplaag kunnen meerdere bronnen een invloed hebben gehad. Het aandeel van eventuele andere bronnen kon niet eenduidig bepaald worden (1).

Ook deze resultaten onderbouwen de conclusies van het HBM-onderzoek, nl. dat er in de stedelijke omgeving verhoogde waarden van o.m. lood voorkomen, zonder een duidelijke geografische component.



Figuur 18: Ligging meetplaatsen OVAM.

6.3 DEPOSITIEMETINGEN VMM

In 2023 voerde de VMM gedurende 3 maanden metingen uit van metalen in totale depositie in de omgeving van Value Trading (31). Er werden op vier plaatsen in de stationsbuurt metingen van metalen, waaronder lood, in lucht uitgevoerd (Figuur 19). Het doel van deze metingen was nagaan of de concentraties van metalen verhoogd waren in de omgevingslucht, wat zou wijzen op een actuele vervuiling.

Er waren geen significante verschillen tussen de verschillende meetplaatsen en de gemeten deposities waren laag. De meetresultaten voor lood waren hoger dan in Koksijde (achtergrondlocatie), maar lager dan op de meetplaatsen nabij industriële activiteiten in Hoboken en Beerse (met gekende bronnen van uitstoot van metalen). Er waren geen verhoogde concentraties van metalen in fijn stof die konden wijzen op een invloed van een actuele bron van vervuiling.

Ook hier kan gesteld worden dat de HBM-resultaten in lijn liggen met de depositiemetingen. Ook in de HBM ligt de gemiddelde lood-in-bloedwaarde hoger dan achtergrondwaarden uit de algemene bevolking, in de buurt van de stedelijke achtergrondpopulatie en lager dan nabij de industriële site in Hoboken. Verder werden in de HBM geen indicaties gevonden voor een huidige link met Value Trading.



Figuur 19: Ligging meetplaatsen VMM.

AT88 – Lange Kievitstraat 92, Antwerpen; AT89 – Zoo, Antwerpen; AT90 – Stadspark, Antwerpen; AT91 – Pelikaanstraat 108, Antwerpen

Besluit milieumetingen: Op basis van luchtmetingen van VITO, bodemmetingen van OVAM en depositiemetingen van VMM kan worden besloten dat er in de buurt van het centraal station in Antwerpen verhoogde concentraties van metalen worden geobserveerd, zonder een duidelijke geografische component of een link met Value Trading. Deze hogere stedelijke achtergrondwaarden ondersteunen de observatie uit de HBM, nl. dat er in het grootstedelijk milieu een hogere blootstelling is aan lood, vermoedelijk door historische vervuiling.

HOOFDSTUK 7: CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

7.1 CONCLUSIE

Dit onderzoek toont aan dat de lood-in-bloedwaarden bij kinderen en moeders in de Antwerpse binnenstad gemiddeld hoger liggen dan die in grote internationale referentiestudies. De gemeten waarden zijn vergelijkbaar met die uit de stedelijke controlepopulatie in het bevolkingsonderzoek in Hoboken, maar liggen lager dan waarden van kinderen die vlak naast de industrie wonen.

Het feit dat de meerderheid van de deelnemers, zowel kinderen als moeders, in ons onderzoek een lood-in-bloedwaarde heeft die de gezondheidkundige toetsingswaarde overschrijdt, wijst op een wijdverspreide en structurele blootstelling aan lood in deze stedelijke omgeving. Deze overschrijdingen komen niet voort uit individuele uitzonderingen, maar suggereren een algemeen verhoogd blootstellingsniveau in het hele gebied.

Er wordt geen verschil gedetecteerd tussen de bewoners van de stationsbuurt ten opzichte van inwoners van de rest van Antwerpen (binnen de Singel). Ook kan er geen duidelijke link worden gelegd met de aanwezigheid van Value Trading.

De milieumetingen van VITO, OVAM en VMM, hoewel eerder fragmentarisch, ondersteunen de hypothese van een historische vervuilingsproblematiek van een grootstedelijke regio, eerder dan een acute blootstelling door een specifieke bron.

De analyse van de determinanten bevestigen conclusies uit eerder onderzoek uit Vlaanderen en publicaties uit de internationale literatuur. In deze studie werden verbanden geobserveerd tussen lood-in-bloedwaarden met persoonsfactoren, leefstijlfactoren en omgevingsfactoren, o.m. roken, het materiaal van de drinkwaterleidingen, consumptie van kraanwater, vloerbedekking in de woning, frequentie van kleding verversen, luchtverversing in de woning en buiten stoken. Deze resultaten bieden interessante handvaten voor preventieve acties naar de bevolking toe.

Samenvattend onderstreept dit onderzoek de noodzaak tot blijvende opvolging van loodblootstelling in de verstedelijkte omgeving, met specifieke aandacht voor historische vervuiling, kwetsbare bevolkingsgroepen zoals kinderen, en binnenmilieufactoren.

7.2 AANBEVELINGEN

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kunnen een aantal beleidsaanbevelingen worden geformuleerd. In een volgende stap kunnen de lokale en regionale overheden dan beoordelen of deze adviezen nuttig, haalbaar en betaalbaar zijn, en kan beslist worden of de aanbevelingen worden omgezet in concrete acties.

Aangezien ons onderzoek aantoont dat er eerder sprake is van diffuse loodverontreiniging in een uitgestrekt gebied in de Antwerpse binnenstad, lijkt het wegnemen van een duidelijke bron in dit geval niet relevant, en ligt de nadruk op risicobeperking via gedragsadviezen, preventieve maatregelen bij infrastructuurwerken en opvolging van de blootstelling.

Gezien de loodverontreiniging voornamelijk afkomstig lijkt te zijn van een diffuse achtergrond, is het cruciaal om in te zetten op sensibilisering van de bevolking. Er wordt aangeraden om campagnes op te zetten rond persoonlijke hygiëne en het belang van stofpreventie binnen.

In oude woningen, vooral in stedelijke buurten, komen nog vaak loden drinkwaterleidingen voor. Lood uit deze leidingen kan in het kraanwater terechtkomen, wat gezondheidsrisico's met zich meebrengt. We raden aan om bewoners van oudere huizen actief te informeren over dit risico en hen aan te moedigen hun drinkwater te laten testen op lood.

Aangezien er een aanzienlijke groep deelnemers in de binnenstad woont die mogelijk een verhoogd gezondheidsrisico loopt, is het wenselijk om de situatie actief op te volgen bijvoorbeeld via een meer grootschalig humaan biomonitoringsonderzoek. Er dient overwogen te worden in hoeverre de stad of andere overheden hierin een rol moeten opnemen, gezien het gaat om een complex grootstedelijk milieuprobleem.

BIBLIOGRAFIE

1. Onderzoeksverslag bodemverontreiniging met zware metalen in omgeving Jacob Jacobsstraat in Antwerpen [Internet]. Beschikbaar op: <https://ovam.vlaanderen.be/nl/w/onderzoeksverslag-bodemverontreiniging-met-zware-metalen-in-omgeving-jacob-jacobsstraat-in-antwerpen>
2. Zorg D. Departement Zorg. [geciteerd 3 april 2025]. Milieugezondheidskundige aandachtsgebieden - Stationsbuurt Antwerpen-Centraal. Beschikbaar op: <https://www.departementzorg.be/nl/mgag-stationsbuurt-antwerpen-centraal>
3. KMI [Internet]. [geciteerd 1 april 2025]. KMI - Parameters. Beschikbaar op: <https://www.meteo.be/nl/unpublish/algemeen-klimaat-belgie/parameters>
4. Research Data Centres of the Federal Statistical Office and the Statistical Offices of the Federal States. Regulations on the analysis of microdata [Internet]. [geciteerd 25 maart 2025]. Beschikbaar op: https://www.forschungsdatenzentrum.de/sites/default/files/RDC_regulations-microdata.pdf
5. Humane biomonitoring omgeving Hoboken - Resultatenrapport [Internet]. [geciteerd 1 april 2025]. Beschikbaar op: https://www.provincieantwerpen.be/content/dam/provant/dlm/pih/HBM%20omgeving%20Hoboken_Resultatenrapport_finaal.pdf
6. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA J [Internet]. april 2010;8(4). Beschikbaar op: <https://data.europa.eu/doi/10.2903/j.efsa.2010.1570>
7. van Holderbeke, Mirja, Den Hond, Elly, De Brouwere, Katleen, Nelen, Vera. Vraagbaak 'Pb in bloed Hoboken – referentiewaarden' [Internet]. [geciteerd 25 maart 2025]. Beschikbaar op: <https://zorg-en-gezondheid.be/sites/default/files/2023-03/Lood-in-bloed%20referentiewaarden-%20PO-MGZ%20-%20april%202021.pdf>
8. Franken DC, Thys DG, Maldoy MI, Genard DL, Werkbrouck DH, Verrept ME, e.a. Bevolkingsonderzoek lood-in-bloed in Hoboken - Rapport voorjaar 2024.
9. Vogel N, Murawski A, Schmied-Tobies MIH, Rucic E, Doyle U, Kämpfe A, e.a. Lead, cadmium, mercury, and chromium in urine and blood of children and adolescents in Germany – Human biomonitoring results of the German Environmental Survey 2014–2017 (GerES V). Int J Hyg Environ Health [Internet]. augustus 2021 [geciteerd 27 maart 2025];237:113822. Beschikbaar op: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1438463921001371>
10. Oleko A, Pecheux M, Saoudi A, Zeghnoun A, Hulin M, Le Barbier M, e.a. Estimation of blood lead levels in the French population using two complementary approaches: Esteban (2014–2016) as part of the human biomonitoring program and the national surveillance system for childhood lead poisoning (2015–2018). Environ Res [Internet]. oktober 2022 [geciteerd 27 maart 2025];213:113630. Beschikbaar op: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935122009574>
11. CDC. National Health and Nutrition Examination Survey. 2024 [geciteerd 27 maart 2025]. NHANES Results and Publications. Beschikbaar op: <https://www.cdc.gov/nchs/nhanes/about-data/index.html>

12. Sixth report on human biomonitoring of environmental chemicals in Canada [Internet]. [geciteerd 27 maart 2025]. Beschikbaar op: <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/environmental-workplace-health/reports-publications/environmental-contaminants/sixth-report-human-biomonitoring/pub1-eng.pdf>
13. Lacerda D, Pestana IA, Santos Vergilio CD, De Rezende CE. Global decrease in blood lead concentrations due to the removal of leaded gasoline. *Chemosphere* [Internet]. mei 2023 [geciteerd 3 april 2025];324:138207. Beschikbaar op: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653523004745>
14. Rodríguez-Saldaña V, Basu N. Comparison and Agreement of Toxic and Essential Elements Between Venous and Capillary Whole Blood. *Biol Trace Elem Res* [Internet]. juli 2022 [geciteerd 9 mei 2025];200(7):3088-96. Beschikbaar op: <https://link.springer.com/10.1007/s12011-021-02931-8>
15. Wiłkomirski B, Sudnik-Wójcikowska B, Galera H, Wierzbicka M, Malawska M. Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. *Water Air Soil Pollut* [Internet]. 2011;218(1):333-45. Beschikbaar op: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3096763/>
16. Onderzoek verhoogde lood-in-bloedwaarden in Moretusburg-Hertogvelden te Hoboken - voorjaar 2020 [Internet]. [geciteerd 3 april 2025]. Beschikbaar op: <https://vmm.vlaanderen.be/publicaties/onderzoek-verhoogde-lood-in-bloedwaarden-in-de-wijk-moretusburg-hertogvelden-te-hoboken-voorjaar-2020>
17. Achtergrondinformatie bij de gemeten stoffen en tips om blootstelling te verminderen (FLEHS-4) [Internet]. [geciteerd 1 april 2025]. Beschikbaar op: <https://www.omgeving-en-gezondheid.be/sites/default/files/2022-04/Brochure%20voor%20deelnemers.pdf>
18. Milieu en Gezondheid in Dessel, Mol en Retie (3xG) - Eindrapport [Internet]. [geciteerd 1 april 2025]. Beschikbaar op: https://studie3xg.be/sites/3xg/files/Eindrapport%20Resultaten_0.pdf
19. Zware metalen in tabak schadelijk voor gezondheid | RIVM [Internet]. [geciteerd 1 april 2025]. Beschikbaar op: <https://www.rivm.nl/nieuws/zware-metalen-in-tabak-schadelijk-voor-gezondheid>
20. Chiba M, Masironi R. Toxic and trace elements in tobacco and tobacco smoke. *Bull World Health Organ* [Internet]. 1992 [geciteerd 1 april 2025];70(2):269-75. Beschikbaar op: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2393306/>
21. Richter PA, Bishop EE, Wang J, Kaufmann R. Trends in Tobacco Smoke Exposure and Blood Lead Levels Among Youths and Adults in the United States: The National Health and Nutrition Examination Survey, 1999–2008. *Prev Chronic Dis* [Internet]. 19 december 2013 [geciteerd 1 april 2025];10:E213. Beschikbaar op: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3869531/>
22. Wani AL, Ara A, Usmani JA. Lead toxicity: a review. *Interdiscip Toxicol* [Internet]. juni 2015 [geciteerd 28 april 2025];8(2):55-64. Beschikbaar op: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4961898/>
23. Cherkani-Hassani A, Ghanname I, Benitez-Rexach AM, Mouane N. Systematic Review of the Literature of Factors Affecting the Exposure and the Levels of Lead in Human Breast Milk. *Rev Environ Contam Toxicol*. 2020;252:97-129.

24. Ettinger AS, Roy A, Amarasiriwardena CJ, Smith D, Lupoli N, Mercado-García A, e.a. Maternal Blood, Plasma, and Breast Milk Lead: Lactational Transfer and Contribution to Infant Exposure. *Environ Health Perspect* [Internet]. januari 2014 [geciteerd 29 april 2025];122(1):87-92. Beschikbaar op: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.1307187>
25. Farhat A, Mohammadzadeh A, Balali-Mood M, et al. ResearchGate. [geciteerd 29 april 2025]. Correlation of Blood Lead Level in Mothers and Exclusively Breastfed Infants: A Study on Infants Aged Less Than Six Months. Beschikbaar op: https://www.researchgate.net/publication/308207703_Correlation_of_Blood_Lead_Level_in_Mothers_and_Exclusively_Breastfed_Infants_A_Study_on_Infants_Aged_Less_Than_Six_Months
26. Konkel L. Mother's Milk and the Environment: Might Chemical Exposures Impair Lactation? *Environ Health Perspect* [Internet]. januari 2017 [geciteerd 13 mei 2025];125(1). Beschikbaar op: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.125-A17>
27. Vlaams humane-biomonitoringsprogramma 2016-2020 - Resultatenrapport jongerencampagne Deel II - Samenvatting (FLEHS 4) [Internet]. [geciteerd 1 april 2025]. Beschikbaar op: https://www.omgeving-en-gezondheid.be/sites/default/files/2022-04/Samenvatting_Resultatenrapport%20Vlaams%20HBM-programma_Deel%202.pdf
28. Vlaanderen.be [Internet]. [geciteerd 1 april 2025]. Loden waterleidingen. Beschikbaar op: <https://www.vlaanderen.be/bouwen-wonen-en-energie/water/leidingen-en-afvoer/loden-waterleidingen>
29. Zorg D. Departement Zorg. [geciteerd 3 april 2025]. Milieugezondheidkundige aandachtsgebieden - Genk-Zuid. Beschikbaar op: <https://www.departementzorg.be/nl/mgag-genk-zuid>
30. Vlaams humane-biomonitoringsprogramma 2007-2011 - Regio Menen (FLEHS 2) [Internet]. [geciteerd 3 april 2025]. Beschikbaar op: <https://www.omgeving-en-gezondheid.be/nl/resultaten-en-publicaties/onderzoeksresultaten/regio-menen>
31. Luchtkwaliteit in de omgeving van Value Trading in Antwerpen tussen 27 juni 2023 en 19 september 2023 | VMM [Internet]. [geciteerd 1 april 2025]. Beschikbaar op: https://vmm.vlaanderen.be/feiten-cijfers/lucht/luchtkwaliteit-in-jouw-buurt/antwerpen-haven/samenvatting_metingen-antwerpen.pdf/@@download/file

BIJLAGEN

Bijlage 1: Oorspronkelijke powerberekening zoals uitgeschreven in het projectplan van 28 september 2023, sectie 3.4.

Bijlage 2: Nieuwe powerberekening uitgevoerd ten gevolge van de moeilijkheden in de rekrutering.

Bijlage 3: Kenmerken van de deelnemende kinderen, weergegeven als gemiddelde (standaarddeviatie [SD]) voor continue variabelen en aantal (percentage) voor categorische variabelen.

Bijlage 4: Kenmerken van de deelnemende moeders, weergegeven als gemiddelde (standaarddeviatie [SD]) voor continue variabelen en aantal (percentage) voor categorische variabelen.

Bijlage 5: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij kinderen volgens mogelijke determinanten.

Bijlage 6: Geometric mean ratio's (GMRs) voor lood-in-bloed bij moeders volgens mogelijke determinanten.